



MÜHENDİSLİK ALANINDA YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

Kitap Adı	: Mühendislik Alanında Yenilikçi Yaklaşımlar
İmtiyaz Sahibi/Publisher	: Gece Kitaplığı
Genel Yayın Yönetmeni/Editor in Chief	: Doç. Dr. Atilla ATİK
Proje Koordinatörü/Project Coordinator	: Ethem BİLİCİ
Kapak&İç Tasarım/Cover&Interior Design	: Özge ERGENEL
Sosyal Medya/Social Media	: Arzu ÇUHACIOĞLU
Yayına Hazırlama	: Gece Akademi  Dizgi Birimi
Sertifika/Certificate No	: 34559
ISBN	: 978-605-288-795-0

Editör/Editors

Prof. Dr. Tayyar GÜNGÖR
Doç. Dr. Gülden BAŞYİĞİT KILIÇ
Doç. Dr. Ahmet UYUMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Sertaç GÖRGÜLÜ

The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission. Gece Akademi is a subsidiary of Gece Kitaplığı.

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. Gece Akademi, Gece Kitaplığı'nın yan kuruluşudur.
Birinci Basım/First Edition ©Aralık 2018/ Ankara/TURKEY ©copyright



Gece Publishing
ABD Adres/ USA Address: 387 Park Avenue South, 5th Floor, New York, 10016, USA
Telefon/Phone: +1 347 355 10 70

Gece Kitaplığı
Türkiye Adres/Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt. No: 22/A
Çankaya/Ankara/TR
Telefon/Phone: +90 312 431 34 84 - +90 555 888 24 26

web: www.gecekitapligi.com — www.gecekitap.com
e-mail: geceakademi@gmail.com



MÜHENDİSLİK ALANINDA YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

İÇİNDEKİLER

CHAPTER 1

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDA MPPT UYGULAMALARI <i>Süleyman NEŞELİ, Gökhan YALÇIN</i>	7
---	---

CHAPTER 2

KONJUGE LİNOLEİK ASİTLERİ VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ <i>Binnur KAPTAN</i>	23
---	----

CHAPTER 3

KARBON FİBER (CFRP) İLE DESTEKLENMİŞ LAMİNE AĞAÇ MALZEMENİN EĞİLME VE YAPIŞMA DİRENCİ <i>Çağlar ALTAY</i>	43
--	----

CHAPTER 4

HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN GELECEK ÇALIŞMA ALANLARI <i>Onur DERSE, Ebru YILMAZ</i>	61
--	----

CHAPTER 5

MAKİNE HALISI ÜRETİMİNDE TUTKALLAMA AŞAMALARI <i>Öznur ÖZDİNÇ, Eylem EROL, Tuğba TÖLEK</i>	67
---	----

CHAPTER 6

MAKİNE HALISI ÜRETİMİNDE LARK MAKİNESİ BÖLÜMLERİNİN İNCELENMESİ <i>Tuğba TÖLEK, Öznur ÖZDİNÇ, Eylem EROL</i>	79
---	----

CHAPTER 7

DENTAL MİKROMOTOR KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN DIŞ TEDAVİSİNDE DIŞ YÜZEY SICAKLIĞININ TAHMİNİNE YENİ BİR BAKIŞ <i>Murat SELEK, Hakan TERZİOĞLU</i>	87
--	----

CHAPTER 8

BİR İNSANSIZ HAVA ARACININ SEZGİSEL OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ KULLANILARAK KONTROLÜ VE SİMÜLASYONU <i>Hamdi ERCAN, Muharrem Selim CAN</i>	109
--	-----

CHAPTER 9

KANSER EPİDEMİYOLOJİSİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANIMI <i>Hatice Canan GÜNGÖR, Gülgün ÖZKAN</i>	119
--	-----

CHAPTER 10

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE KONTROL YÖNTEMLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME <i>Murat SELEK, Hayri İNCEKARA</i>	129
---	-----

CHAPTER 11

BORLAMANIN TİTANYUM ALAŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ <i>İbrahim AYDIN</i>	149
--	-----

CHAPTER 12

PEKLEŞME KURALLARI <i>İlyas KACAR, Süleyman KILIÇ</i>	159
--	-----

CHAPTER 13

ÖRNEK BİR UYGULAMA İLE GERİ ESNEME İŞLEMİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

İlyas KACAR, Süleyman KILIÇ 179

CHAPTER 14

ALKALİ SİLİKA REAKSİYONUNA MARUZ HARÇ VE BETONLARDA MİNERAL KATKILARIN ROLÜ

Korkmaz YILDIRIM 199

CHAPTER 15

PARALEL HESAPLAMA KULLANILARAK HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI İLE EN KISA YOL PROBLEMİNİN OPTİMİZASYONU

Muhammer İLKUÇAR, Ahmet ÇİFCİ 221

CHAPTER 16

SABİT KANATLI HAVA ARAÇLARINDA UÇUŞ KONTROL SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Mustafa AKIN, Hamdi ERCAN, Muharrem Selim CAN 229

CHAPTER 17

RÜZGÂR ENERJİSİ KURULUŞ YERİ SEÇİMİ İÇİN GELECEK ÇALIŞMA ALANLARI

Onur DERSE, Ebru YILMAZ 243

CHAPTER 18

TÜRKİYE MANYEZİTLERİNİN ÖNEMİ VE ZENGİNLEŞTİRİLME YÖNTEMLERİ

Öykü BİLGİN 249

CHAPTER 19

HAVA KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE UZAKTAN ALGILAMA: PARTİKÜL MADDELERİN MODIS AEROSOL ÜRÜNLERİ İLE TESPİTİ

Özgür ZEYDAN 257

CHAPTER 20

HİDROJEL MEMBRAN SİSTEMLERİN KULLANIM ALANLARI

Safiye Meriç AÇIKEL 271

CHAPTER 21

ZEOLİT VE TiO_2 / ZEOLİT KOMPOZİT KATALİZÖRLERİN İNCELENMESİ

Selda Topçu ŞENDOĞDULAR, Levent ŞENDOĞDULAR 281

CHAPTER 22

HİZMET SEKTÖRÜNDE DANIŞMANLIK FİRMASI SEÇİMİ PROBLEMİNE YÖNELİK KRİTER ARAŞTIRMASI

Ufuk AYDOĞMUŞ, Melih CAN, M. Talha SEVAL 309

CHAPTER 23

KARAYOLU ULAŞIM AĞLARI PLANLAMASINDA COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİNİN YERİ VE ÖNEMİ

Hatice Canan GÜNGÖR 327

CHAPTER 24

BUCK/BOOST KONVERTÖRÜN TEG'DE UYGULANMASI

Abdullah Cem AĞAÇAYAK 333

**CHAPTER
1****YENİLENEBİLİR ENERJİ
KAYNAKLARINDA MPPT
UYGULAMALARI****Süleyman NEŞELİ¹, Gökhan YALÇIN²****1. GİRİŞ**

Dünya nüfusundaki artış ve ülkelerin gün geçtikçe gelişerek sanayileşmesi temel ihtiyaç olan enerjiye olan talebin hızla artmasına sebep olmaktadır. Enerji üretim yöntemlerini çeşitlendirerek ihtiyacı olan enerjiyi kendi öz kaynaklarından saylayarak enerji üretiminde önemli bir yere sahip bilen ülkeler, ekonomik ve sosyal alanda da dünya ya öncülük etmektedirler. Bu yüzden dünyada ülkelerin sahip olduğu enerji ve enerji dönüştürme sistemleri gelişmişliğin bir ölçütü olarak kabul edilmektedir. Enerji ihtiyacının bu kadar çok olması, üretiminin gün geçtikçe artması nedeniyle ihtiyacın %90 kömür, petrol, doğalgaz, LPG, odun gibi kısa bir gelecekte tükenebileceği öngörülen enerji kaynakları olan yenilemez enerji kaynaklarından sağlanması hem çevre kirliliğine neden olmakta hem de tükenme tehlikesine karşı sürdürülebilir bir politika olmadığı görülmektedir. Bu durum ülkelerin yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmalarına neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise; biyogaz, hidrolik, rüzgâr, güneş, gel-git dalga enerjileri, termal (ısı), jeotermal gibi gelecekte uzun süre tükenmeden kalabilecek, kendisini yenileyebilen kaynakları ifade etmektedir. Dünyada ve ülkemizde en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynakları çevre ve enerji sorunlarının günümüzde artmasıyla, son yıllarda dünya genelinde enerji üretimi ve çevreye etkileri konusunda yapılan çalışmalarda da artış görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında karşımıza çıkan en büyük sorunsu verimlerinin düşük olması ve yılın her anında sabit enerji alınamamasıdır.

Her geçen gün güç ihtiyacı daha da büyümesi elbette ki sürekli devam eden araştırmaların, çalışmaların, yatırımların neticesinde öz kaynaklarımızı ve enerji dönüşümü esnasında açığa çıkarak faydalanılamayan enerjiden tekrar faydalanarak giderilebileceği ortaya çıkmaktadır. Geriye baktığımızda enerji kaynaklarının aşırı derecede verimsiz şekilde tüketildiğini görürüz. Bunun önüne geçebilmek için birçok alanda enerji kullanımı sırasında açığa çıkarak boşa giden enerjiyi tekrar kullanma ve MPPT(Maksimum Güç Noktası Takibi) gibi devrelerle verimlerin artırılması önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyi maksimum verimde faydalanabilmek için kullanılan dönüştürücü ve MPPT yönteminden bahsedilmiştir.

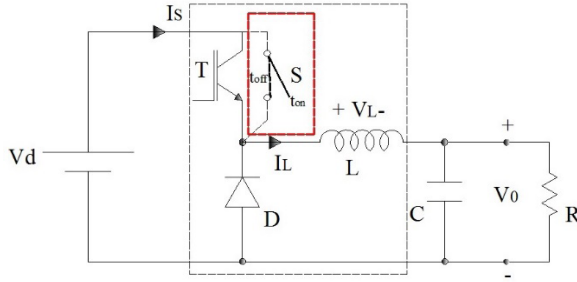
2. DC-DC KONVERTÖRLER

Yenilenebilen enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ve enerji üretiminin hızla gelişmesiyle kontrol edilebilen elektrik gücüne olan ihtiyaçta hızla artmıştır. Yenile-

nenabilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi günün değişik zamanlarında farklı gerilim değerleri vermektedir. Oluşturulacak sistemin, yükün türüne bağlı olarak sürekli sabit çıkış gerilimi vermesi istenir. Bunu sağlamak için devreye bir adet dönüştürücü bağlanmaktadır. DC gerilimini belirli bir aralıkta düşürebildikleri ve yükseltebildikleri için bu konvertörlere DC transformatörler olarak da kabul edilmektedirler. Bu konvertörler, Anahtarlama ve Rezonanslı DC-DC konvertörler olarak iki ana gruba ayrılır. Fakat DC-DC konvertörler denildiğinde, genellikle anahtarlama konvertörler anlaşılmaktadır[14].

Yenilenebilir enerji sisteminde kullanılacak olan dönüştürücünün yapısı, güneş paneli, rüzgar türbini veya termoelektrik jeneratör gibi devre elemanlarından elde edilen giriş gerilimi (V_i) ile dönüştürücünün çıkış gerilimi (V_o) arasındaki fark belirlemektedir.

Eğer sistem çıkış gerilimi istenen gerilimden yüksek veya eşit olduğu durumlarda sistem çıkışında alçaltıcı dönüştürücü (buck converter) kullanılır. Şekil 2.1'de alçaltıcı dönüştürücünün yapısı verilmektedir. Devrede anahtarlama elemanı olarak kullanılan devre elemanı (S) yüksek frekansta anahtarlama yaparak sistemin güç akışı sağlanır.



Şekil 2.1 Alçaltan dönüştürücünün (Buck Converter) yapısı

Buck devresini analiz etmek için IGBT (T) iletimde olduğu t_{on} ve IGBT kesimde olduğu t_{off} iki durumu göz önüne almak gerekir.

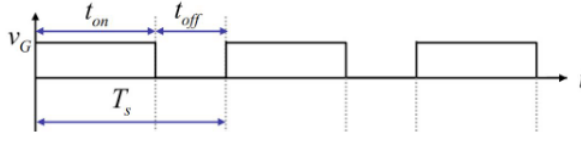
$$\text{Anahtarın görev periyodu } d \text{ ise; } d = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (2.1)$$

Burada t_{on} ve t_{off} sırasıyla IGBT iletimde ve kesimde kalma süresidir. T_s anahtarlama periyodudur.

$$\text{İdeal koşullarda konvertörün çıkış gerilimi; } V_o = d * V_g \quad (2.2)$$

olarak değişir. Burada D görev periyodu 0-1 aralığında değişir. Yani çıkışta görülen gerilim değeri giriş geriliminin D doluluk oranı miktarınca belirlenecektir.

Devrede L bobinin görevi akımı sürekli hale getirmek ve başlangıç anında kalkınma akımını sınırlamaktır. L ne kadar büyük seçilirse akım değerinin sıfıra inmesi o kadar engellenmiş olunur. Akımının sıfıra inmemesi durumuna sürekli bobin akımı denir.

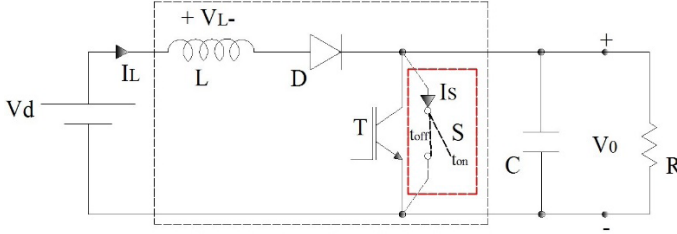


Şekil 2.2 S anahtarının uçları arasında ki gerilim farkı[10].

S anahtarının açılıp kapanması ve tekrar açılması anına kadar geçen süreye periyot denir ve bu periyot T_s ile gösterilir.

Yukarıda ki Şekil 2.2’de S anahtarının uçları arasında ki gerilim farkı görülmektedir. t_{on} ile gösterilen sürede S anahtarı açık konumda, t_{off} ile gösterilen sürede ise anahtar kapalı konumdadır.

Şekil 2.3’de yükselten dönüştürücünün yapısı verilmiştir. Devrede S anahtarı kapalı olduğu zaman akım endüktans üzerinden geçmektedir. Bu durumda bobin gerilimi giriş gerilimine eşit ($V_L=V_i$) olmaktadır. S anahtarının açık olduğu zaman ise, endüktans üzerindeki gerilim giriş ve çıkış gerilimlerinin farkına ($V_L=V_i-V_o$) eşit olmaktadır[10].

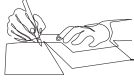


Şekil 2.3 Yükselten dönüştürücünün (Boost Converter) yapısı

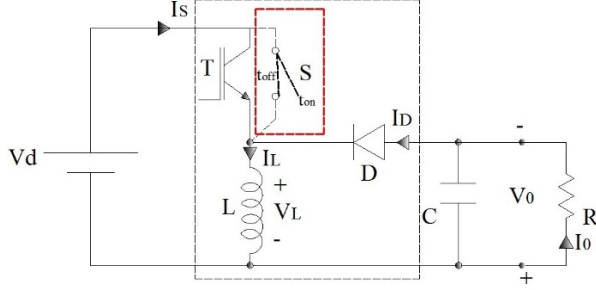
Sonuçta çıkış gerilimi bobin gerilimi ile giriş geriliminin toplamına eşit olmaktadır. Bu tür dönüştürücüler çıkış geriliminin yenilenebilir devre elemanlarından elde edilen gerilimden daha büyük olması istenilen durumlarda kullanılırlar. Yükselten dönüştürücülerde ortalama çıkış gerilimi ile anahtarlama oranı arasındaki ilişki denklem 2.3’de verilmiştir[10].

$$V_o = \frac{1}{1-d} * V_g \quad (2.3)$$

Şekil 2.4’te alçaltan-yükselten dönüştürücünün yapısı verilmiştir. Alçaltan-yükselten dönüştürücüler, DC güç kaynaklarının regülasyonun da, giriş voltajının ortak terminaline göre çıkışın negatif kutuplu olması istenildiğinde ve çıkış voltajının, giriş voltajından daha az veya daha fazla olabileceği yerlerde yaygın bir biçimde kullanılır. Bu tip bir konvertör, azaltan (Buck) ve artıran (Boost) tip iki konvertörün ard arda bağlanmasıyla elde edilebilir. Kararlı halde çıkış-giriş voltaj dönüşüm oranı; ard arda bağlanan konvertörlerin dönüşüm oranlarının çarpımıdır. Şekil 2.1’de güç anahtarının iletim süresi kısa tutulduğunda bobinin üzerinde tuttuğu enerji düşük olduğundan devre alçaltıcı olarak çalışacak-



tır anahtarların iletim süresi uzun tutulduğunda bobin daha çok yüklenecek ve kondansatör üzerindeki gerilim V_d giriş gerilimine eşitlenerek anahtarlamayla bobin üzerindeki sıçrama gerilimleri kondansatör V_c geriliminden daha yüksek değerlere ulaşacaktır. Böylece giriş gerilimi bir bant aralığında değişken darbeli olsa dahi buck-boost DC-DC konvertör ile V_o çıkış gerilimi sabit darbesiz bir değerde olacaktır[2].



Şekil 2.1 Buck-Boost Konvertör Elektrik Devre Şeması.

Anahtarın görev periyodu d ise;
$$d = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (2.4)$$

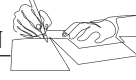
Burada t_{on} ve t_{off} sırasıyla IGBT iletimde ve kesimde kalma süresidir. T_s anahtarlama periyodudur.

İdeal koşullarda konvertörün çıkış gerilimi;
$$V_o = \frac{d}{1-d} * V_g \quad (2.5)$$

olarak değişir. Burada d görev periyodu 0-1 aralığında değişir. Farklı d değerleri için farklı çıkış gerilim değerleri elde edilir. $d < 0.5$ ise buck (düşürücü), $d > 0.5$ olursa boost (yükseltici) olur[14].

3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ (MPPT)

Dönüştürücünün çalışması sırasında elde edilen çıkış gücünün sistemin maksimum verimle çalışabilmesi için sürekli olarak en yüksek seviyede olması gerekmektedir. Sistemin çıkış gücünün sürekli olarak en yüksek seviyede tutulması işlemine "maksimum güç noktası takip işlemi" (MPPT) adı verilmektedir. MPPT yöntemleri ile alakalı çalışmalar, özellikle son yıllarda teknolojinin gelişimine bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ilginin artmasından dolayı artış göstermiştir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen enerjinin en verimli şekilde kullanılmasının amaçlanması birçok farklı MPPT yönteminin ortaya çıkmasına ve daha önce yapılan MPPT çalışmalarının da geliştirilmesine yol açmıştır. En yaygın olarak kullanılan MPPT yöntemlerine değinilecek olursak; Değiştir gözle yöntemi, maksimum güç noktasının gerçekleştiği noktayı bulmak için sistem çıkışının gerilimini (akımını) değiştirip gerçekleşen değişikliğin gözlenmesi esasına dayanır. Eğer değişikliğin yapıldığı yönde güç ve verim artıyorsa değişiklik o yönde devam ettirilir. Tersisi oluyorsa diğer yönde gerilim (akım) değişim gerçekleştirilir. Sistem çıkışının gerilimi veya akımındaki değişim sistem maksimum noktaya ulaşana kadar gerçekleştirilir. Maksimum güç noktasına yaklaşıldığında bu nokta çevresinde osilasyon yapmaya başlayacaktır. Bu osilasyonu azaltmak için gerilim veya akımdaki değişim adımlarını azaltmak gerekir ama



buda sistemin maksimum güç noktasına ulaşma süresini uzatacaktır. Bu yüzden gerilimdeki (akımdaki) değişimlerin değişken olması sağlanır. Başlangıçta bu değişkenler yüksek tutularak sistemin hızla maksimum güç noktasına ulaşması sağlanırken maksimum güç noktasına yaklaşıncaya değişimler azaltılarak osilasyon önlenmiş olunur[20].

Bir diğer MPPT yöntemi olan artan iletkenlik yönteminde güç-gerilim(P-V) eğrisinin eğimi incelenmektedir. Bu eğimin durumuna göre sistemin maksimum güç noktasının neresinde olduğuna karar verilerek sistemin çalışma gerilimindeki değişim ona göre ayarlanmaktadır. Artan iletkenlik yönteminin çalışma prensibi ile değiştir gözle yönteminin çalışma prensi birbirine benzerdir. Fakat artan iletkenlik yönteminde maksimum güç noktasının bulunması eğim üzerinden gerçekleştirildiğinden ani giriş değişimlerinde değiştir gözle yöntemine göre daha iyi sonuç vermektedir.

Kısmi açık devre gerilim yönteminde ise, sistemin açık devre gerilimi V_{oc} ile maksimum güç noktası arasında denklem 3.1'deki gibi bir lineer ilişki vardır[20].

$$V_{MPP} \approx k_1 V_{OC} \quad (3.1)$$

k_1 (oransal sabit) değeri, kullanılan sistem devre elemanının karakteristiklerine bağlıdır ve bu yöntemde her şeyden önce, sistemde kullanılacak devre elemanından deneysel olarak test edilip elde edilmektedir. Bu yöntemde sistemde enerji kaybına yol açacağı için dezavantaja sahiptir.

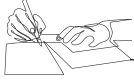
Kısmi kısa devre akımı yönteminde ise, sistemin kısa devre akımı I_{sc} ile maksimum güç noktası arasında denklem 3.2'deki gibi bir lineer ilişki vardır[20].

$$I_{MPP} \approx k_2 I_{SC} \quad (3.2)$$

k_2 (oransal sabit) değeri, kullanılan sistem devre elemanının karakteristiklerine bağlıdır. Fakat bu yöntemde I_{sc} kısa devre akımını ölçmekteki zorluklar nedeniyle dezavantaja sahiptir.

Özellikle son yıllarda dayanıklı ve diğer kontrol yöntemlerine göre sistem modelinin tam bilinmesine gerek olmaması yenilenebilir enerji uygulamalarına bulanık mantık kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bulanık mantık MPPT kontrolörler genellikle hata E ve hatanın değişimi ΔE olan iki girişle tasarlanır. Yapılan uygulamalarda bulanık mantık MPPT kontrolörlerin değişen atmosferik koşullar altında iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bulanık kontrol yapısının performansı kullanıcı bilgisine veya tasarımı gerçekleştiren kişinin hata ve kural tabanlarını uygun bir şekilde oluşturmasına bağlıdır[20].

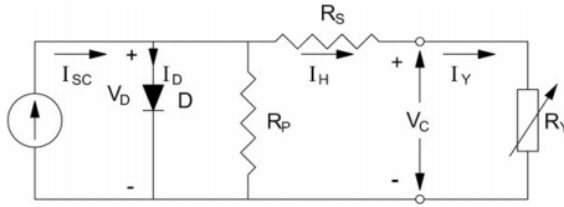
Yenilenebilir enerji kaynaklarının çıkışları rüzgar, güneş, ısı vb. faktörlere bağlı olarak maksimum güç noktası değişmektedir. MPPT işlemini daha iyi uygulayabilmek için yenilenebilir enerji sistemlerinin matematiksel denklemleri ve elektriksel eşdeğer devresi incelenmelidir. Bu devredeki değerlere bağlı olarak elde edilen formüller incelenirse, sistemlerdeki enerji üretimi ve verimi ile ilgili daha fazla bilgi sahibi olunabilir.



3.1 Fotovoltaik Enerji Dönüşüm Sisteminin Modellenmesi

Güneş panelleri güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren elemanlardır. Güneş panelleri enerjiyi doğrudan dönüştürebilir. PV (Fotovoltaik) hücreler yarı iletken yapılardan oluşur. Güneş ışını bu malzeme ile absorbe edilir ve elektronlar sınırlandıkları atomlardan yayılırlar. Fotovoltaik, emilen ışın ile indüklenen elektrik arasındaki işlem olarak bilinir. Ortak bir prensip ve bireysel bileşenler ile güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür. Güneş piller, p-n yarı iletkenler tarafından üretilmektedir. PV'nin karanlığın güncel bir karakteristiği, diyotunkine çok benzer. Kiriş altında, elektron akışı ve akımı oluşur. Kapalı döngüde, PV akımı harici yükten geçer. Açık döngüde, akım p-n diyot yapısı boyunca devreyi tamamlar. Güneş pilleri eşdeğer bir devre ile temsil edilebilir[21].

Güneş pilleri, Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, bir akım kaynağının eşdeğer devresi, bir diyot ve ona paralel ve seri dirençlerle birlikte bir harici yük direnci ile temsil edilebilir.



Şekil 3.1 Eşdeğer güneş pili devresi[21].

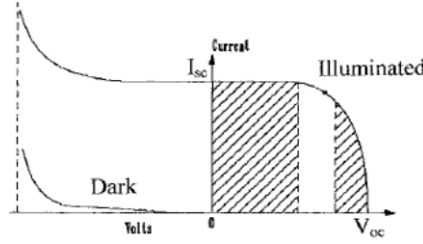
Güneş enerjisi sağlayan tertibat veya panel gerekli akım ve voltaj üretmek için seri-paralel kombinasyonu elektriksel olarak bağlı birkaç modülden oluşan bir gruptur. PV modülünün elektriksel özellikleri genellikle akım vs ile temsil edilir. PV modülünün elektriksel özellikleri genellikle akım ve gerilim (I-V) ve Güç-Gerilim (P-V) eğrileriyle temsil edilir. Şekil 3.1'de gösterilen güneş pilleri eşdeğer devresi, N_s serisi hücrenin ve N_p paralel modüllerin radyasyon bağımlı V-I karakteristiği ile temsil edilebilir[21]:

$$I_Y = nI_{SC} - N_p I_0 \left(\exp \left[\frac{V_A - I_A R_S}{n N_S V_T} \right] - 1 \right) \quad (3.3)$$

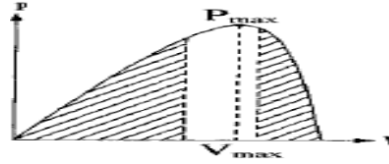
$$V_C = N_S \left(\frac{AKT}{q} \right) \left[\frac{N_p I_{SC} - I + N_p I_D}{N_p I_D} \right] - \frac{N_S}{N_p} I R_S \quad (3.4)$$

I_{sc} PV modülünün kısa devre akımı (A), I_0 diyot doyma akımı (A), V_A PV dizisinin terminal gerilimi (V), R_S seri direnç (Ω), n ideal diyot'un sabiti, V_T PV modülünün termal potansiyeli (V), q elektron yükü (C), k Boltzmann sabiti (J/O_K), A , p-n birleşim malzemesi faktörüdür ve T , sıcaklıktır (O_K).

Şekil 3.2 ve 3.3'te PV panellerin akım-gerilim ile güç-gerilim eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.2 PV panelin I-V karakteristik eğrisi[21].



Şekil 3.3 PV panelin P-V karakteristik eğrisi[19].

Şekil 3.3’de görüldüğü üzere PV dizisi, altındaki maksimum güç noktasına karşılık gelen belirli bir voltajda elektriksel olarak çalışmalıdır. PV dizisi, belirli çalışma koşullarında, yani sıcaklık ve ışınım altında maksimum güç noktasına karşılık gelen belirli bir voltajda elektriksel olarak çalışmalıdır. Bunu yapmak için maksimum güç noktası izleme (MPPT) tekniği uygulanmalıdır.

3.2 Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sisteminin Modellenmesi

Bir rüzgar türbini tarafından üretilen aerodinamik tork (T_m) ve mekanik güç (P_m) sırasıyla denklem (3.5) ve denklem (3.6) ile verilir[21].

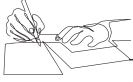
$$T_m = \frac{1}{2} C_t(\lambda, \beta) \rho \pi R_r^3 V_w^2 \quad (3.5)$$

$$P_m = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \beta) \rho \pi R_r^2 V_w^3 \quad (3.6)$$

P_m , watt cinsinden güç olduğunda, ρ (g / m^3) cinsinden hava yoğunluğudur, C_p güç katsayısı olarak adlandırılan boyutsuz bir faktördür, A_r türbin rotor alanını m^2 olarak gösterir ($A_r = \pi R_r^2$, burada R_r rotor kanadı yarıçapıdır), η_{gear} ve V_w (m / s) cinsinden rüzgar hızıdır. Güç katsayısı denklemine göre uç hız oranı (λ) ve rotor kanat eğim açısı β ile ilgilidir[21].

$$C_t(\lambda, \beta) = \frac{C_p}{\lambda} \quad (3.7)$$

$$\lambda = \frac{\omega_r R_r}{V_w} \quad (3.6)$$



$$C_p(\lambda, \beta) = 0.73 \left(\frac{151}{\lambda_i} - 0.58\beta - 0.002\beta^{2.14} - 13.2 \right) e^{-\frac{18.4}{\lambda_i}} \quad (3.8)$$

$$\lambda_i = \frac{1}{\frac{1}{\lambda - 0.02\beta} - \frac{0.005}{\beta^3 + 1}} \quad (3.9)$$

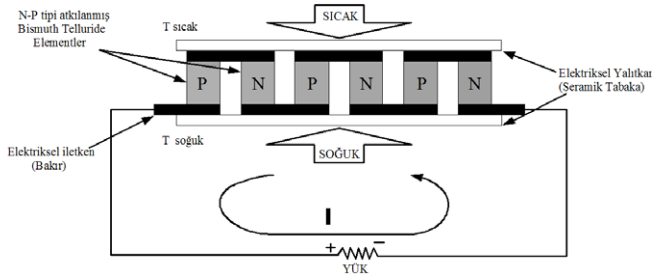
ω_r türbin şaftının açısal hızıdır; C_p 'nin teorik sınırı Betz Yasasına göre 0,59'dur. Ancak pratik değer aralığı 0.2-0.4'tür.

Rüzgar türbinden gelen güç, gerçek ve reaktif güç, temel olarak rüzgar tarafından dönüştürücü tarafından kontrol edilir ve rüzgar kanadı tarafından durdurulur. Nominal rüzgar hızlarının altında, rüzgar üreticisinden gelen gerçek güç, değişen rüzgar hızından maksimum rüzgar enerjisini yakalamak için düzenlenir. Reaktif güç üretimi, jeneratörün ve konvertörün termal derecesini en aza indirmek için sıfırda tutulur. Nominal rüzgar hızlarının üzerinde, maksimum güç kontrolü, sabit güç için durma düzenlemesi ile geçersiz kılınır[21].

3.3 Isı Enerjisi Dönüşüm Sisteminin Modellenmesi

Enerji dönüşüm sistemlerde açığa atık enerji olarak çıkan ısı enerjisinden yararlanma, PV panellerin güneş enerjisinin elektrik enerjisine çevirirken etrafına yaydığı ısıdan faydalanma veya yer altı termal suların ısısından yararlanarak elektrik enerjisi üretmek için termoelektrik generatörler (TEG) kullanılır.

Termoelektrik modül uçlarına bir yük bağlanır ve seramik iki yüzeyine ısı farkı uygulanırsa P ve N tipi yarı iletken malzemelerden elektron akışı oluşacaktır. Bu elektron akışı akım meydana getirerek iki uçtan DC gerilim alınmaktadır. Termoelektrik modülün bu çalışması Termoelektrik Generatörler (TEG) olarak adlandırılır. Şekil 3.4'de bu durum görülmektedir.

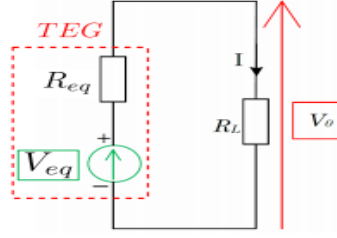


Şekil 3.4 Generatör modunda termoelektrik mod. [4].

Sonuç olarak termoelektrik modüller bir yüzeyi ısı kaynağıyla ısıtılarak, diğer yüzeyi ortam sıcaklığında veya herhangi bir yöntemle daha soğuk tutulması sayesinde gerilim kaynağı olarak kullanılabilirler.

Literatürde, mTEG'ler çoğunlukla sabit sıcaklık gradyan koşullarında düşünülmektedir. İç temas termal direncinin θ_c etkisi genellikle ihmal edilir. Bu koşullar altında, bir TEG, eşdeğer bir iç direnç ile seri olarak eşdeğer bir sabit voltaj

kaynağı ile analitik olarak modellenebilir[10,5]. Sabit sıcaklık gradyan koşullarında bir TEG'nin tam elektrik modeli Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5 Sabit sıcaklık gradyan koşullarında bir TEG'in tam elektrik modeli[23].

Bu devrede T_H' sabit θ_c etkisi '0' alınır;sa;

$$V_{eq} = \alpha \Delta T' = \alpha \Delta T \quad (3.10)$$

$$R_{eq} = R_E \quad (3.11)$$

T_H', T_C' , bir TEG modülünün sıcak ve soğuk taraflarının dış sıcaklıkları olan, $\Delta T' = T_H' - T_C'$, $\Delta T = T_H - T_C$ ile, T_H ve T_C TEG tarafından görülen "sıcak ve soğuk sıcaklıklardır. Bununla birlikte, daha doğru bir modelde, p ve n yarıiletken elemanları ile bunların metal kontaktarı arasındaki gerçek iç temas direnci $\theta_c \neq 0$ dikkate alınmalıdır.

$$V_{eq} = \alpha \Delta T' \frac{\theta_m}{\theta_m + 2\theta_c} \quad (3.12)$$

$$R_{eq} \approx R_E + \frac{\alpha^2 \theta_c \theta_m (T_H' + T_C')}{\theta_m + 2\theta_c} \quad (3.13)$$

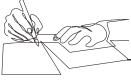
- p-n yarı iletkenlerin üretiminde kullanılan termoelektrik malzemelere bağlı olan Seebeck katsayısı $\alpha = \alpha_p - \alpha_n$.

- P-n yarı iletkenlerin ve TEG'nin bir elektrik yüküne bağlanması için kullanılan kontaktarın elektrik direncini içeren elektrik direnci R_E .

- TEG'yi bir termal enerji kaynağına bağlamak için kullanılan dahili termal direnç ' θ_m ' ve temas termal direnci θ_c .

Denklemler (3.12) ve (3.13), TEG elektrik modelinin V_{eq} ve R_{eq} parametrelerinin sadece TEG'nin α , θ_c , θ_m ve R_E termal parametrelerine bağlı olmadığını, aynı zamanda TEG'lerin terminallerine uygulanan sıcaklık değişimiyle de geliştiğini göstermektedir. Bu, özellikle, TEG'nin ısı parametrelerinin $\Delta T'$ sıcaklık değişimi ile T_H' varyasyonundan dolayı artık sabit olarak kabul edilemeyen R_{eq} örneğidir.

Bazı pratik uygulamalarda, otomobil egzoz gazı termal enerji geri kazanım sistemlerinde olduğu gibi, TEG'ler sabit bir sıcaklık eğimi yerine sabit bir termal



giriş ısı akışına (Q_H') maruz kalırlar. Sabit ısı akışı koşulları altında, temas termik direnci ihmal edildiğinde, TEG analitik ifadesi denklem (3.14) tarafından verilen, eşdeğer bir iç elektrik direncine sahip olan ve denklem (3.15) ile verilen bir eşdeğer sabit voltajla eşdeğer bir sabit gerilimle modellenebilir. Q_H' sabit θ_c etkisi '0' alınır;

$$V_{sq} = \alpha \theta_m Q_H \quad (3.14)$$

$$R_{sq} \approx R_E + \alpha^2 \theta_m^2 Q_H + \theta_m T_C' - \left[\frac{\alpha \theta_m R_E}{2} + \alpha^3 \theta_m^2 T_C' + \alpha^3 \theta_m^3 Q_H \right] I + \left[\frac{\alpha^2 \theta_m^2 R_E}{2} + \alpha^4 \theta_m^3 T_C' + \alpha^4 \theta_m^4 Q_H \right] I^2 \quad (3.15)$$

Denklemler (3.14) ve (3.15), $\theta_c = 0$ durumunda bile, TEG Req'in dahili eşdeğer direncinin, TEG'nin α , θ_m ve R_E ve I yük akımı parametrelerine bağlı olduğunu göstermektedir. Denklem (3.15) 'te sunulan sabit ısı akışı koşulları altında mevcut Req koşulları, mevcut bağımlılığın daha yüksek talep nedeniyle ihmal edilemez. Diğer taraftan, kontak termal direnci $\theta_c \neq 0$ göz önüne alındığında, sabit ısı akışı koşulları altında TEG, ifadeleri verilen bir iç elektrik direnci ile aynı eşdeğer sabit voltaj kaynağı ile modellenebilir[23].

$$V_{sq} = \alpha \theta_m Q_H \quad (3.16)$$

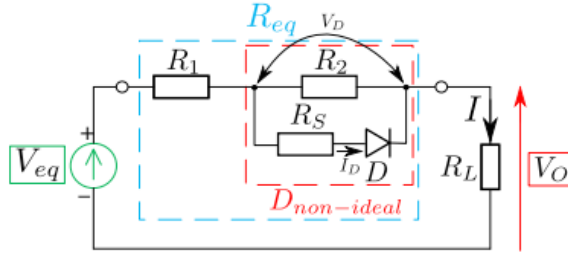
$$R_{sq} \approx R_E + \alpha^2 \theta_m \theta_c Q_H + \alpha^2 \theta_m T_C' + \alpha^2 \theta_m^2 Q_H - \left[\frac{\alpha \theta_m R_E}{2} + \alpha^3 \theta_m^2 T_C' + \alpha^3 \theta_m^3 Q_H + 2\alpha^3 \theta_m^2 \theta_c Q_H \right] I + \left[\frac{\alpha^2 \theta_m^2 R_E}{2} + \alpha^4 \theta_m^3 T_C' + \alpha^4 \theta_m^4 Q_H + \alpha^2 \theta_m \theta_c R_E + \alpha^4 \theta_m^2 \theta_c Q_H (\theta_c + 3\theta_m) + \alpha^4 \theta_m^3 \theta_c^2 T_C' \right] I^2 \quad (3.17)$$

$$P = V_O I \quad (3.18)$$

$$V_O = V_{sq} - R_{sq} I \quad (3.19)$$

Denklem (3.17) 'te verilen Req ifadesi, temas termal direncinin θ_c akımdan bağımsız (Denklem (3.17)' in ilk 4 koşulu) ve akım bağımlı koşullarını etkilediğini göstermektedir. Yük akımı yokken bile (açık devre koşulları), TEG modülünün $\theta_c = 0$ durumunda (Denklem (3.17)) sabit ısı akışı koşulları altında eşdeğer direnci $v = 0$ (Denklem (3.16)). Sabit sıcaklık eğim koşullarında durumun böyle olmadığına dikkat edin, burada açık devre durumunda eşdeğer direnç θ_c değeri ne olursa olsun aynıdır (Denklemler (3.10) ve (3.11)).

TEG modülün simülasyonunu gerçekleştirmek için Req direnci için bir benzetim kullanmamız gerekmektedir. Gerçek TEG fiziksel yapısında olmayan ideal olmayan bir diyottan oluşan benzetim devresi Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 Req'in sabit ısı akışı koşulundaki eşdeğer elektrik devresi[23].

Kullanılan diyot modeli ideal olmayan bir modeldir (Şekil 3.6'da kırmızı renkte): direnç R_2 , diyotun çevresinde paralel kayıplarını temsil eden bir parazitik paralel dirençtir, R_s bir parazitik seri direncidir ve D Shockley ideal diyottur. Bu nedenle, diyot denklemi $I_D = f(V_D)$ aşağıdaki gibi temsil edilebilir. Q_H ' sabit, $\theta_c \neq 0$ ve $I=0$ yani R_L yükü yok iken;

$$V_{eq} = \alpha \theta_m Q_H \quad (3.20)$$

$$R_{eqmax} = R_1 + R_2 = R_E + \alpha^2 \theta_c \theta_m Q_H + \alpha^2 \theta_m T_C' + \alpha^2 \theta_m^2 Q_H \quad (3.21)$$

Önerilen eşdeğer elektrik devresinin ilk iki parametresi, R_1 ve R_2 dirençleridir. Bu iki direnci belirlemek için, başlangıçta bazı rasgele değerler varsayılmalıdır. Eğer TEG kısa devre edildiğinde, diyotun voltaj değeri V_D diyot gerilim düşümü 0.6 V olarak alınırsa, R_1 direnci aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$R_1 = R_E + \frac{V_{eq} - 0.6}{I_{sc}} \quad (3.22)$$

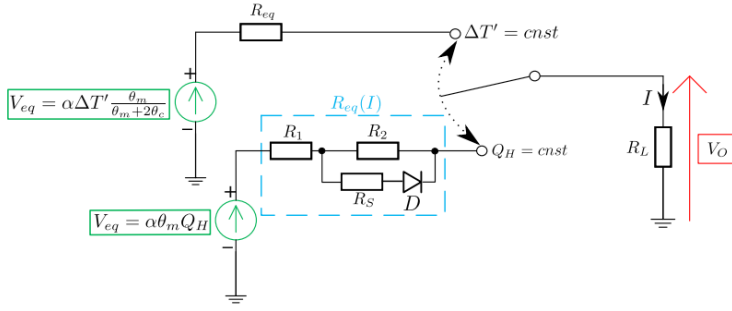
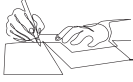
V_{eq} açık devre gerilimi, I_{sc} ise kısa devre akımıdır. R_L yük üzerinden akan akım;

$$I = I_D + \frac{V_D}{R_2} \quad (3.23)$$

Maksimum güç, Denklem'in (3.18) I ile ilgili olarak ve onun gerçek sıfırlarını bularak elde edilir. I_{MPP} noktası olan iki karmaşık değerli sıfır ve bir gerçek değerli sıfır vardır. V_{MPP} değeri, Denklem (3.19) kullanılarak I_{MPP} değerindeki voltaj hesaplanarak elde edilir.

$$V_D = V_{eq} - R_1 * I_{MPP} - V_{MPP} \quad (3.24)$$

$$I = I_{MPP} \quad (3.25)$$



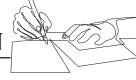
Şekil 3.3 TEG'yi farklı çalışma koşulları altında temsil eden elektrik devresi[23].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin zaman içinde değişken olması ve ısı, ışık, rüzgar vs. çevresel etkiler sonucu çıkış gerilimlerinde anlık değişiklikler olmaktadır. Bu kaynakları zamanın her anında en verimli şekilde kullanabilmek için DC-DC konvertörle birlikte maksimum güç noktası takibi (MPPT) yöntemleri ile desteklemek gerekmektedir. Bu yazıda, yenilenebilir enerji kaynaklarında MPPT uygulamalarından bahsedilmiştir. Uygulamaların anlaşılabilmesi için sıkça kullanılan MPPT çeşitleri anlatılarak, avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Birçok MPPT yöntemi olmasına rağmen son yıllarda bulanık mantık yönteminin avantajlarından dolayı kullanım alanının genişlediği belirtilmektedir. Yenilenebilir enerji ile elektrik üretiminde en çok kullanılan PV panellerin, rüzgar türbinlerinin ve kullanım alanı son zamanlarda oldukça artan TEG elemanlarında MPPT uygulaması yapılabilmesi için eşdeğer elektrik bağlantıları ve matematiksel modelleri gösterilmiştir. MPPT işlemini daha iyi uygulayabilmek için yenilenebilir enerji sistemlerinin matematiksel denklemleri ve elektriksel eşdeğer devresi incelenmelidir. Bu devredeki değerlere bağlı olarak elde edilen formüller incelenirse, sistemlerdeki enerji üretimi ve verimi ile ilgili daha fazla bilgi sahibi olunabilir. Ayrıca yenilenebilir enerjide kullanılan bu sistemler hibrit sistemler şeklinde tasarlandığında çıkışlarındaki güç dalgalanması, bireysel olarak güneş paneli (PV), rüzgar generatörü (WG) ve termoelektrik generatör (TEG) sistemlerinin oluşturduğu güçle dalgalanmaları karşılaştırıldığında çevre koşullarına daha az bağımlı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan araştırmaların bir çoğu PV ile WG hibrit sistemlerinden bahsetmektedir. Bu güç dalgalanması, oldukça azaltmak için hibrit sistemin TEG gibi başka kaynaklardaki tasarlanması gerektiği düşünülerek gelecekteki çalışmanın konusu olacaktır.

REFERANSLAR

1. AĞAÇAYAK, A.C., TERZİOĞLU, H., NEŞELİ, S., YALÇIN G., (2018). "Small Power Wind Turbine Design," *Acad. Studies in Eng., Gece Publishing*, pp. 121-130.
2. AĞAÇAYAK, A.C., TERZİOĞLU, H., ÇİMEN, H., NEŞELİ, S., YALÇIN G., (2018). "The Effects

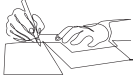


of Speed and Flow Rate on Power in Thermoelectric Generators", *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, Vol.6, pp.65-71.

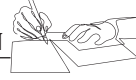
3. AĞAÇAYAK, A.C., TERZİOĞLU, H., NEŞELİ, S., YALÇIN G., (2018). "Mathematical Modeling of Thermoelectric Generator by Regression Analysis," *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'18)*, pp. 523-527.
4. AĞAÇAYAK, A.C., ÇİMEN, H., NEŞELİ, S., YALÇIN G., (2017). "Termoelektrik Jeneratör ile Elektrik Üretimi", *In UMYOS 6th International Vocational School Symp.*, Vol:2, pp.541-49. Saray Bosna.
5. AĞAÇAYAK, A.C., NEŞELİ, S., YALÇIN G., TERZİOĞLU, H., (2017). "The Impact of Different Electric Connection Types in Thermoelectric Generator Modules on Power", *International Journal of Engineering Research & Science (IJOER)*, Vol.3, pp.2395-6992.
6. BAŞOĞLU, M. E., & ÇAKIR, (2014). "B. DA-DA Dönüştürücülerin Maksimum Güç Noktası İzleme Sistemlerinde Kullanımı Operation of DC-DC Converters in Maximum Power Point Tracking Systems", *Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa .
7. COŞKUN, İ., TERZİOĞLU, H., (2009). "Gerçek Zamanda Değişken Parametrelili PID Hız Kontrolü", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye.
8. ÇALIŞKAN, A., ÜNAL, S., ORHAN, A., (2017). "Buck-Boost Dönüştürücü Tasarımı, Modellemesi ve Kontrolü", *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*. 29 (2), 265-268.
9. ÇİMEN, H., AĞAÇAYAK, A. C., NEŞELİ, S., YALÇIN G., (2017). "Comparison of Two Different Peltiers Running as Thermoelectric Generator at Different Temperatures", *In 2017 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*. pp. 1-6. IEEE.

Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8477309>

10. DEMİRTAŞ, M., SEFA, İ., IRMAK, E., ÇOLAK, İ., (2008). "Güneş Enerjili Sistemler için Mikrodenetleyici Tabanlı DA/DA Yükselten Dönüştürücü", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 23, No 3, 719-728.
11. DINNIYAH, F.S., WAHAB, W., ALIF, M., (2017). "Simulation of Buck-Boost Converter for Solar Panel Using PID Control", *International Conference Alternative and Renewable Energy Quest, AREQ 2017*, Spain
12. FESLİ, U., BAYIR, R., ÖZER, M., (2009). "Design and Implementation of a Domestic Solar-Wind Hybrid Energy System", Zonguldak Karaelmas University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100 Zonguldak, TURKEY
13. GUPTA, A., CHAUHAN, Y.K., PACHAURI, R.K., (2016). "A comparative investigation of maximum power point tracking methods for solar PV system" Department of Electrical Engineering, School of Engineering, Gautam Buddha University, Greater Noida 201312, Uttar Pradesh, India.
14. GÜRDAL, O., (2000). "Güç Elektroniği" *Nobel Yayın Dağ.*, Vol.2 Ankara
15. KIM, T.Y., NEGASH, A., CHO, G., (2017a). "Direct contact thermoelectric generator (DCTEG): A concept for removing the contact resistance between thermoelectric modules and heat source", *Energy Conversion and Management*, Vol.142, pp.20-27.
16. KIRAN, C.H.U., MAHESH, (2016). "INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES WIND AND SOLAR POWER GRID CONNECTED USING MPPT AND FLYWHEEL /SIM-



- ULINK" International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 03 Issue: 10.
17. LA ROCCA, V., MORALE, M., PERI, G., SCACCIANOCE, G., (2017). "A solar pond for feeding a thermoelectric generator or an organic Rankine cycle system", *Paper presented at the 2nd AIGE/IHETA 2017 International Conference and 11th AIGE 2017 National Conference on "Energy Conv., Manag., Rec., Saving, Storage and Renew. Syst."*, Vol.11.
 18. NESARAJAH, M., FREY, G., (2016). "Thermoelectric power generation: Peltier element versus thermoelectric generator", *Paper presented at the Industrial Electronics Society, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE*, Vol.42, pp.4252-57.
 19. NEŞELİ, S., TERZİOĞLU, H., AĞAÇAYAK, A.C., YALÇIN, G., (2017). "Jeotermal Enerji Kullanılarak Termoelektrik Jeneratör ile Elektrik Enerjisi Üretimi ve Düşük Güçlü DC-DC Buck/Boost Konvertör Uygulaması", Yüksek Öğretim Kurumları Tarafından Destekli Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Selçuk University.
 20. Ort, M. İ., (2016). "Fv Sistemlerde Güneşi Takip Eden Sistem Tasarımı Ve Mppt Kontrolü İle Enerjinin Yüke Maksimum Olarak Aktarılması", *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
 21. RAO, G.S., NARESH,C.H., NARRA, N.R., (2013). "A MPPT Algorithm For Hybrid Photo-Voltaic And Wind Energy Conversion System" *IJLTEMAS*, ISSN 2278 - 2540, Volume II, Issue IX.
 22. SHAH, K., GAUR, V., JOSHI, S., & PATEL, N. (2015). Maximum Power Point Tracking Methods for Wind and Solar Conversion Systems for Standalone Generation PSIM based Perturb and Observe Method. *International Journal of Engineering Research and Development (IJERD)*, 46-54.22.
 23. SIOUANE, S., JOVANOVI, S., POURE, P., (2017). "Equivalent Electrical Circuits of Thermoelectric Generators under Different Operating Conditions", *In Proceedings of the 2016 IEEE 16th International Conf. on Env. and Elec. Eng. (EEEIC 2016)*, Cilt 10, No 386, Florence,Italy.
 24. SUBIYANTO, Azah M.,and HANNAH , M.A. (2013). "Intelligent Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Controller for Energy Enhancement in Renewable Energy System", Hindawi Publishing Corporation, *Journal of Renewable Energy*, Volume 2013, Article ID 901962,9pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/901962>.
 25. SUN, D., SHEN, L., YAO, Y., CHEN, H., JIN, S., HE, H., (2017). "The real-time study of solar thermoelectric generator", *Applied Thermal Engineering*, Vol.119, pp.347-59.
 26. SUNGUR, C., TERZİOĞLU, H., ANADOLU, M.A., (2008). "PV Beslemeli PIC Kontrollü Trafik Sinyalizasyonu", *IV. Ege Enerji Sempozyumu*, pp. 239-246, İZMİR.
 27. TERZİOĞLU, H., SERVİ, S., AĞAÇAYAK, A.C., (2018). "Termoelektrik Jeneratörler ve Matematiksel Modellemesine Genel Bir Bakış", *Müh. Alanında Akad. Çalışmalar, Gece Kitaplığı*, pp. 133-148.
 28. TERZİOĞLU, H., AĞAÇAYAK, A.C., (2018). "Analysis of Thermoelectric Cooler Used to Produce Electrical Energy in terms of Efficiency," *Acad. Studies in Eng., Gece Publishing*, pp. 111-120.
 29. TERZİOĞLU, H., KAZAN, F.A., SUNGUR, C.,(2015). "The Irrigation System Fed from Bi-axial PV Panels", *2nd International Conference on Information Science and Control Engineering*, pp. 981-987.



30. TERZİOĞLU, H., KAZAN, F.A., SELEK, M., (2015). "The Designing of an Educational Solar Panel That Can Be Controlled in Different Ways", *2nd Inter. Conf. on Infor. Science and Control Engineering*, pp. 961-964.
31. TERZİOĞLU, H., KAZAN, F.A., ARSLAN, M., (2015). "A New Approach to The Installation of Solar Panels", *2nd International Conf. on Information Science and Control Engineering*, pp. 573-577.
32. VASANT, L.G., Pawar V. R., (2017). "Optimization of Solar-Wind Energy System Power for Battery Charging using MPPT" International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS-2017).

CHAPTER

2

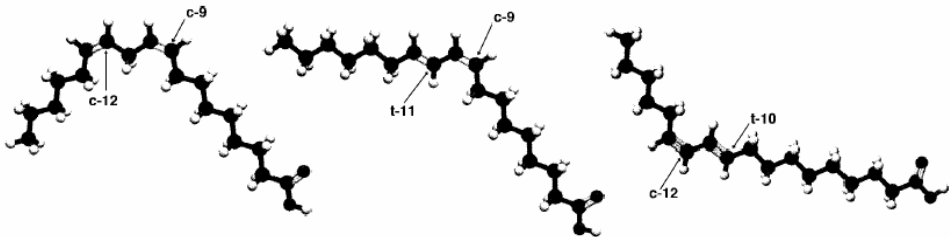
KONJUGE LİNOLEİK ASİTLERİ VE
İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİBinnur KAPTAN¹

GİRİŞ

Son yıllarda fonksiyonel bazı besinlerin doğal yollardan hastalıkların önlenmesi ve tedavisindeki etkinliğinin bilimsel olarak ortaya konulması sağlığımızın korunmasında beslenmemizdeki önemini artırmıştır. Bu nedenle fonksiyonel bileşikler içeren besinler ve doğal sağlık ürünleri daha fazla tüketilmeye başlanmıştır.

Bu fonksiyonel bileşiklerden birisi de, son 20 yıldır büyük ilgi gören ve gerek deney hayvanları gerekse insanlar üzerinde yürütülen çalışmalar sonucu, insan sağlığı üzerine çok önemli etkileri bulunan ve özellikle ruminant hayvanlardan elde edilen ürünlerde bulunan konjuge linoleik asit (KLA) izomerleridir (Steinhart ve ark. 2003:370; Wang & Jones 2004:941; Chen ve ark. 2012:559) KLA, esansiyel bir omega-6 yağ asidi olan ve 18 karbon atomu ile iki çift bağ içeren linoleik asidin (C18:2 *cis*-9,*cis*-12) konjuge olmuş çok sayıdaki pozisyonel ve geometrik izomerlerinin karışımı için kullanılan ortak bir terimdir (Tvrzicka ve ark. 2011:117). Yapılan çalışmalar yirmi sekiz kadar KLA izomerinin varlığını ortaya çıkarmıştır (Kramer ve ark. 2004:1137).

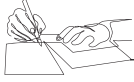
Geometrik ve pozisyonel izomerizasyon, bileşiklere farklı biyolojik özellikler kazandırır. Araştırmalarda tespit edilen 28 izomerden sadece rumenik asit olarak adlandırılan ve gıdalarda %80 ile en yüksek miktarda bulunan *cis*-9, *trans*-11 oktadekadienoik asit (18:2) (*c9-t11* KLA) izomeri (Schmid ve ark. 2006:29) ile %3-5 oranında bulunan *trans*-10, *cis*-12 oktadekadienoik asit (18:2) (*t10-c12* KLA) izomeridir (Parodi 2003:114, Choi ve ark. 2004: 1008; Huang ve ark. 2008:12). Fizyolojik olarak en önemli *c9-t11* KLA izomeri, hücre zarındaki fosfolipidlerle kolaylıkla birleşebilme özelliğine sahip olması nedeniyle biyolojik önemliliğe sahip en aktif izomerdir (Kelly ve Cashman 2004:295; Benjamin ve ark. 2005:706; Bhattacharya ve ark. 2006:789). (Şekil 1).



Linoleik asit (*c*-9, *c*-12), KLA (*c*-9, *t*-11) izomeri, KLA (*t*-10, *c*-12) izomeri octadecadienoic acid

Şekil 1. Linoleik asit ve KLA'nın iki izomerinin kimyasal yapısı (Steinhart, 1996)

1 Dr. Öğr. Üyesi, Namık Kemal Üniversitesi

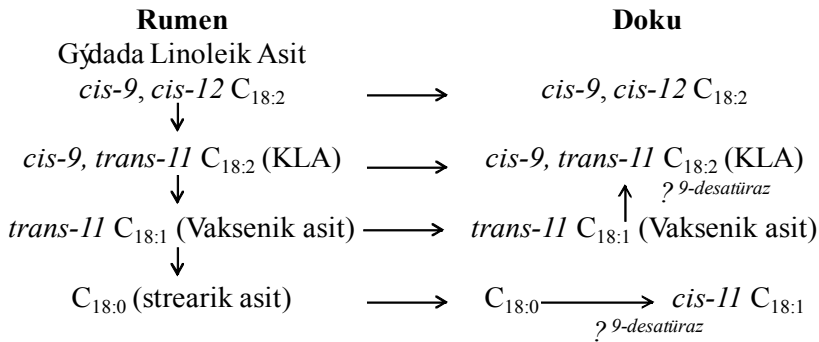


LİNOLEİK ASİT BİYOSENTEZİ

Diyet lipitleri rumende ilk olarak mikrobiyal lipaz tarafından katalize edilerek ester bağlarının hidrolizi ile lipoliz oluşumu, ikinci olarak da doymamış yağ asidi biyohidrojenizasyonu olmak üzere iki önemli dönüşüme uğrarlar (Devillard ve ark. 2004:60). Rumende doymamış yağ asitlerinin biyohidrojenasyonundan birinci derecede bakteriler sorumludurlar. KLA (*c9-t11* KLA izomeri), *butyrivibrio fibrisolvens* bakterisi tarafından rumende, linoleik asitin biyohidrojenasyonu ile oluşturulmaktadır (Bauman ve ark 2000:1; Sebedio ve ark. 2003:325). Ancak KLA izomerleri linoleik asidin (*c9- c12*) biohidrojenasyonu ile *cis* iki çift bağın izomerizasyonu sonucu çift bağın oluşumundan sorumlu enzim linoleat izomeraz enzimi ile rumende ve dokulardaki Δ^9 desaturaz enzimi vasıtasıyla *trans*-vakse-
nik (C18:1, t-11) asitten de sentezlenir

Rumende linoleat *c9-t11* KLA izomeraz enzimi ile

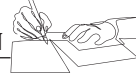
Birinci metabolik yolda, *c9-t11* KLA izomeri ruminant hayvanların rumenle-
rinde linoleik asitten rumen bakterisi *Butyrivibrio fibrosolvens* tarafından üreti-
len stoplazmik bir enzim olan linoleat *c9-t11* KLA izomeraz aracılığıyla mikrobi-
yel biyohidrojenasyon yoluyla sentezlenir. Linoleat *c9-t11* KLA izomeraz enzimi
ortamda bulunan serbest (-COOH) grubu varlığında pH 7.2-8.2 aralığında mak-
simum aktivite göstererek linoleik asidin 12. karbon atomunda bulunan çift bağı
11. karbon atomuna taşıyarak *cis/cis* konfigürasyonunu *cis/trans* konfigürasyo-
nuna dönüştürür. Bu aşamada *c9-t11* KLA izomeri ara ürün olarak sentezlenir ve
bir kısmı dokulara taşınır. Dokulara taşınmayan KLA izomerleri, redüktaz enzi-
mi aracılığıyla redükte edilir ve *trans* vaksenik asit (*trans*-11-oktadesenoik asit
C18:1) oluşturarak bir kısmı dokulara taşınır. Metabolik yolun son basamağında,
taşınamayan *trans*-11-oktadesenoik C18:1 asit bir başka rumen bakterisi tara-
fından hidrojenize edilerek stearik asit oluşturulur (Şekil 2).



Şekil 3 KLA'nın biyosentezi (Bauman ve ark. 1999).

Dokularda Δ^9 desaturaz enzimi ile

İkinci metabolik yol ile KLA izomerlerinin sentezi adipoz dokularda ve me-
meli salgı bezinde gerçekleşir. Linolenik asidin biyohidrojenasyonu esnasında
oluşan *trans*-11-oktadesenoik (C18:1) asitin rumen biyohidrojenasyonuna uğra-
mayan kısmının bağırsaklardan emilerek dokularda endojen Δ^9 -desaturaz enzi-
mi aracılığıyla *c9-t11* KLA ve *trans*-10-oktadesenoik asitten *t10-c12* KLA izomer-



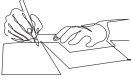
leri desatürasyonla sentezlenir (Griinari ve ark. 2000:2285; Baumgard ve ark. 2001:1764). Metabolik aktiviteleri oldukça farklı olmakla birlikte hem *c9-t11*-(C18: 2) hem de *t10-c12*-(C18: 2) insan sağlığı üzerinde etkili izomerlerdir (Benjamin ve ark. 2005:706; Benjamin ve ark. 2013:115) (Şekil 2).

KONJUGE LİNOLEİK ASİT KAYNAKLARI

Konjuge linoleik ait izomerleri doğal olarak değişik miktarlarda birçok gıda da bulunmakla birlikte, insan diyetleri için ana kaynağı ruminant hayvanlardan elde edilen et ve özellikle, peynir, tereyağı, yoğurt, krema, dondurma ve ayran gibi süt ürünleri oluşturmaktadır (Ip ve ark. 1994:1212; Steinhart ve ark. 2003:307; Van Nieuwenhove ve ark. 2004:353). Et ve süt yağının başlıca izomeri olan *c9, t11* KLA et ve sütte bulunan KLA'nın %90 ını oluşturur (Lock & Bauman 2004:1197; Pariza ve ark. 2001:283). Ancak bu ürünlerde bulunan KLA miktarları hayvanların beslenme durumun, yaşına ve türüne bağlı olarak yağda 3-7 mg/g arasında değişebilmekte (Cordero ve ark. 2011:232; Ferlay ve ark. 2014:169; Khiaosa-Ard ve ark. 2015: 6399; Kim & Liu 2002:1731; Lee ve ark. 2014:1; Resende ve ark. 2015:4785; Schwendel ve ark. 2015:1411). Süt ürünlerindeki KLA konsantrasyonu hayvanın diyetine bağlı olarak 2.9 mg /gr yağ ile 8.92 mg /gr yağ arasında değişiklik göstermekte ve toplam KLA'nın % 73 ile yüzde 93'ü *c9, t11* olacak şekilde dağılım göstermektedir (Lock & Bauman 2004:1197). bitkisel yağlar 0.1-0.7 mg/g düzeyinde KLA içermekte ve bunun % 50'sinden daha azı *c9, t11* izomeridir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Bazı gıdaların toplam KLA ve *c-9,11t-11* 18:2 içerikleri

Gıda	Total KLA (mg/g fat)	<i>c-9,11t-11</i> 18:2 (%)
Et		
Sığır eti	4,3	85
Dana Eti	2,7	84
Koyun eti	5,6	92
Domuz eti	0,6	82
Tavuk	0,9	84
Yumurta sarısını	0,6	-
Somon balığı	0,3	-
Karides	0,6	-
Süt ve Süt Ürünleri		
Süt	5,5	92
Tereyağı	4,7	88
Yoğurt	4,8	84
Dondurma	3,6	86
Krem peynir	3,8	88
Cheddar peynir	3,6	93
Parmesan peyniri	3,0	90
Yağları		
Sığır eti don yağı	2,6	84
Kolza yağı	0,5	44
Mısır yağı	0,2	39
Aspir yağı	0,7	44
Zeytin yağı	0,2	47

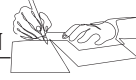


KLA'nın SAĞLIĞA ETKİLERİ

KLA'nın sağlığa yönelik biyolojik etkileri 1980'li yıllardan itibaren yapılan çalışmalarla ortaya konulmaya başlanmış ve günümüze kadar yapılan çalışmalarda vücut yağını azaltıcı (Chen ve ark. 2012:559), bağışıklığı artırıcı (Bassaganya-Riera ve ark. 2012:721), antikanserojenik (Thuillier ve ark. 2013:33), antidiabetik (Malinska ve ark. 2015:1045), antiobezite ve antiaterojenik özellikleri gibi insan sağlığı üzerine faydalı etkileri olduğu bildirilmiştir. Bugüne kadar KLA'nın sağlığa etkileri konusundaki çalışmalar *c9*, *t11*-KLA ve *t10*, *c12*-KLA izomerleri ve bunların eşit miktarda karışımları ile yapılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. KLA izomerleri biyolojik aktiviteleri

KLA İzomerleri	Etki	Referans
<i>c9-t11</i> KLA, <i>t10-c12</i> KLA (1:1)	Tümör gelişimini azaltıcı etki	Ip ve ark.1991, Ip ve ark.1994
	Antioksidan aktivite	Ip ve ark.1991
	Çeşitli kanser türleri üzerindeki önleyici etkileri (göğüs, deri, mide, bağırsak ve yumurtalık)	Ip ve ark.1999, Ochoa ve ark. 2004
	Bağışıklık etkileri	Bassaganya-Riera ve ark. 2012
	Vücut yağ kitlesi vücut yağ kütlelerini azaltıp azalış	Chen ve ark. 2012; Blankson ve ark. 2000; Laso ve ark. 2007; Whigham ve ark. 2007
	Bel bölgesini azaltıcı etkisi	Riserus ve ark. 2001
	İltihaplanma tepkisinin	Belury ve ark. 2002 Pariza ve ark. 2001
	Vücut yağsız kitle indeksini artırıcı etkisi	Gaullier ve ark. 2007
	Glikoz düzeyini azaltıcı etki	Malinska ve ark. 2015
	Belirli bir bölgedeki vücut yağ kitlesini azaltıcı etkisi	Gaullier ve ark. 2007
<i>c9-t11</i> KLA	Bel-kalça oranının azaltılması	Gaullier ve ark. 2007
	Alzheimer hastalığı ile ilişkili biyokimyasal parametreler üzerinde olumlu etkisi	Barbosa ve ark. 2009, Gama ve ark. 2015
<i>t10-c12</i> KLA	Anti-osteoporotik etkiler	De Guire ve ark. 2012
	Anti-aterosklerotik etkileri	Stachowska ve ark. 2012
	Yumurtalık kanseri gelişimi üzerindeki önleyici etkiler	Thuillier ve ark. 2013
	Prostat kanseri üzerinde önleyici etkileri	Ochoa ve ark. 2004



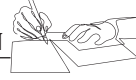
Anti-aterojenik Etkisi (Hipolipidemik Etki)

İnsan ve hayvan modellerinde anti-inflammatory etkileri lipoprotein ve kolesterolde meydana gelen değişimlerin bir sonucu olarak KLA'nın anti-aterojenik etkileri belirlenmiştir (Lock & Bauman 2004:1197; Naumann ve ark. 2006:167; Weldon ve ark. 2004:261). KLA ile ratlar üzerinde yürütülen bir araştırmada KLA'nın plazma toplam kolesterol ve LDL düzeylerini önemli derecede düşürdüğü rapor edilmiştir (de Deckere ve ark. 1999:309). Kritchevsky ve ark. (2004:611) tavşanlarda %0.1-0.2 kolesterol içeren diyetle indüklenen aterosklerozun diyete % 0.1 KLA ilave edilmesi ile inhibe olduğunu göstermişlerdir. Bu etkileri doza bağlı olarak KLA dozu %0.5 gibi daha yüksek bir değere çıkarıldığında inhibe olan aterosklerozun oranı artmıştır. Tavşan diyetlerine KLA ilave ederek yürütülen benzer bir araştırmada, KLA'nın toplam kolestrol ve LDL ve VLDL seviyelerini kayda değer düzeyde düşürdüğünü bildirmişlerdir ([Toomey ve ark. 2006:740](#)). Diyabetik ratlarda da KLA, plazma lipoproteinlerinde azalmaya ve erken aterosklerozu azaltabildiği bildirilmiştir ([Lee ve ark. 2014:1](#)). Kalp ve damar hastalıklarında KLA'nın insanlar üzerindeki etkileri ile çok az sayıda çalışma olmasına rağmen hem KLA hem de her bir izomerleri etkilerinin değerlendirildiği çalışma sonuçları arasında farklılıklar bulunmuştur. Diyetlerdeki KLA'nın kalp damar hastalıkları riskini önemli derecede azalttığını ve bunu plazma toplam kolesterol ve düşük dansiteli lipoproteinleri (LDL) düşürerek sağladığı bildirilmiştir. İnsanlarda yapılan çalışmalarında KLA, obezlerde diyabetiklerde ve normolipidemik bireylerin serumda lipit profilini geliştirdiği, trigliserid (TG) ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) kolesterol LDL, toplam kolestrol ve çok düşük yoğunluklu lipoprotein (VLDL) kolesterol azalma olduğu (Mougios ve ark. 2001:585; Nagao ve ark. 2003:134; Kritchevsky ve ark. 2004:611; Moloney ve ark. 2004:887; Bhattacharya ve ark. 2006:789; Chen ve ark. 2012:559; Blankson ve ark. 2000:2943) belirtilmiştir. Günde 1.7-6.8 g KLA izomer karışım (9- ve 10-KLA 50:50) 12 hafta süresince takviyesinin toplam kolestrol ve LDL seviyelerini düşürmüş, serumda HDL konsantrasyonunu artırmıştır (Blankson ve ark. 2000:2943). KLA ve KLA takviyesi ile zenginleştirilen gıdaların tüketimi sağlıklı yetişkinlerde LDL kolesterol seviyeleri üzerinde olumlu etkileri olduğu gözlenmiştir (Derakhshande-Rishehri ve ark. 2015:2041).

Antiobezite ve Yağ Birikimini Azaltıcı Etkisi

Son yıllarda yapılan çalışmalarda diyetssel KLA izomerlerinin vücutta yağ dokusunu azaltıp, protein, mineral ve su birikimini ve buna bağlı olarak da yağsız kas dokusunu arttırdığı ifade edilmektedir (Syvertsen ve ark. 2006:1148).. Bu mekanizma ile ilgili olarak KLA sağlık üzerinde en önemli etkilerinden biri de vücut yağ birikimini azaltıcı ve obeziteyi önleyici etkisi olarak görülmektedir. Bu etkinin mekanizması net olarak bilinmemekle birlikte, KLA izomerlerinin, vücutta yağların depolanmasını sağlayan lipoprotein-lipaz enziminin (Sterol-CoA desaturaz mRNA) aktivitesini inhibe ederek adipoz dokularda lipogenez oluşumunu yani yağ dokularının sentezini engelleyerek vücutta yağların depolanmasını azalttığı bildirilmektedir ([Pariza ve ark. 2001:283](#)). Ayrıca, KLA kaslarda toplam karnitin palmitol transferaz aktivitesini artırarak, depolanmış yağların yıkımını hızlandırdığı tespit edilmiştir (Pariza ve ark. 2001:283;Rear-

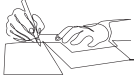
don ve ark. 2012:1043; Ma ve ark. 2014:5001). İlk kez 1997 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada; ratlarda diyetle % 0.05 oranında ilave edilen KLA'nın vücut yağını % 60 oranında azalttığı belirlenmiştir (Park ve ark. 1999:235). Yapılan bir başka çalışma ise KLA geliştirmekte olan rat, sığır ve domuz gibi hayvanlarda denenmiştir. Bu araştırmada; hayvan diyetlerine 0.5 g/100 ile 2 g/100 g düzeyinde KLA eklenmiş ve bu şekildeki bir tüketim ile vücudun yağ içeriğini azalttığı belirtilmiştir. Belirli KLA izomerleri kullanıldığı hayvan çalışmalarında vücut kompozisyonu üzerine etkileri izomere özgü olduğunu göstermiştir. Özellikle *t10*, *c12* izomerinin vücut yağı azaltılmasında sorumlu olarak tespit edilmiştir (de Deckere ve ark.1999:309; Park ve ark. 1999:235;Gavino ve ark. 2000:27). Ayrıca değişik miktar ve uygulama sürelerine bağlı olarak *c9*, *t11* ve *t100*, *c12* -KLA izomerlerin yer aldığı diyetler ile çeşitli hayvan modelleri kullanılarak yapılan son çalışmalarda da vücut yağı azaltıcı etkisi ortaya konulmuştur (Takahashi ve ark. 2002:395; Terpstra ve ark. 2002:940; Wang ve ark. 2015:3200). *t8*, *c10* + *c9*, *t11*-CLA ile beslenen erkek hamsterlarda yağ kitlesinin azaltılmasının mümkün olduğu görülmüştür (Joseph ve ark. 2010:1443). 8 hafta süresince *t10*, *c12*-KLA (% 0.5 w/w) diyet ile beslenen farelerde de vücut yağ içeriğinin azaldığı belirlenmiştir (Marques ve ark. 2015:728). KLA'in insan vücut kompozisyonu üzerine doza bağlı etkileri ile ilgili yapılan ilk çalışmada vücut kitle indeksi 25 ila 35 kg / m² arasında olan 60 obez veya fazla kilolu kadın ve erkek gönüllülerde değişik dozlarda (1.7- 3.4- 5.1 ve 6.8 gr/gün) KLA izomer karışımı diyetle beraber 12 hafta süre ile verilmiştir. 3.4 ve 6.8 gr/gün KLA alan gönüllülerde vücut ağırlığı değişmemekle birlikte vücut yağ kitlesinde anlamlı derecede azalma gözlenmiş ve 3.4 gr/gün KLA'nın 12 hafta süre ile kullanımının obez ve fazla kilolularda vücut yağ kitlesini azaltmakta yeterli olacağı sonucuna varılmıştır (Blankson ve ark. 2000:2943). Obezite üzerine KLA'nın etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada; normal kilolu 10'ar kişilik egzersiz yapan gönüllülerden oluşan deney grubuna günde 1.8 g KLA karışımı, kontrol grubuna ise hidrojel verilmiştir. 12 haftalık araştırma sonucunda her iki grubun vücut ağırlığında herhangi bir fark bulunmamakla birlikte, KLA verilen grubun vücut yağ oranında kontrol grubuna göre % 4 düzeyinde bir azalma tespit edilmiştir (Thom ve ark. 2001:392). KLA takviyesinin sağlıklı bireylerde (Mougios ve ark. 2001:585) obez olmayan sağlıklı kadın ve erkeklerde (Smedman & Vessby 2001:773), kilolu erişkinlerde (Watras ve ark. 2006:481) 6 ay boyunca vücut yağında önemli ölçüde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Başka bir çalışmada 4.2 g/gün 9 ve 10 KLA izomer karışımın 4 hafta süreyle takviye edildiği obez kişilerde sagittal abdominal çapında azalma kaydedilmiş fakat vücut ağırlığı ve vücut kitle indeksi etkilenmemiştir (Basu ve ark. 2000:511; Risérus ve ark. 2002:1516). Steck ve ark. (2007:1188), KLA izomer (9 ve 10 KLA 50:50) karışımı içeren 3.2 ve 6.4 g/gün olmak üzere 2 farklı dozu 12 hafta süresince kronik hastalığı olmayan obez kişilerde vücut kompozisyonuna etkisinin belirlemek amacıyla yaptığı klinik çalışmada 12 hafta sonra yüksek dozda vücut yağsız dokusunun arttığı sonucuna varılmıştır. Aşırı kilolu ve obezitesi düşük (BMI 30-34.9) kişilerde 9-10 KLA 12 hafta süreyle 1.7g/gün olarak takviyesinin düşük obezite indeksi göstermiş bununla birlikte hiçbir yan etkisi görülmemiştir (Chen ve ark. 2012:559). Psikolojik tedavilerde ilaç kullanımının yan etkilerinden biri olan kilo alımının KLA ile psikotrof ilaçlarla ilişkili kilonun azaltılmasında etkili olduğu bulunmuştur. Her hastada toplam



vücut yağ kitlesinde beklenmedik bir düşüş, vücut yağ yüzdesinde bir azalma ve vücut yağsız kütlede bir artış görülmüştür. Yeşil çay ekstresi ile birlikte 3.4 g/gün dozda KLA tüketiminin psikiyatri hastalarında toplam vücut yağını %5.1-8.1 oranında azaltmış fakat vücut yağsız kitlesini %4.4-11 oranında artırmıştır, bu etkinin muhtemelen direkt olarak pankreatik ve gastrik lipazını inhibe eden yeşil çay ekstresinde epigallokateşin-gallat içeriğinin yüksek olması, böylece termogenesinin artırılması ve muhtemelen Kahverengi adipoz doku solunum hızı önemli bir rol oynayan bir enzim olan catechol O-methyltransferazın enzimatik parçalanmayı önlemesi ile açıklanmıştır (Katzman ve ark. 2007:1). 18-44 yaş aralığında vücut kitle indeksi (BMI) 25-30 kg/m² olan 40 sağlıklı yetişkine 6 ay süresince 3.2 g/gün KLA takviyesi bireylerin vücut yağ içeriği (1.0-2.2 kg) azaltmış ve yaz sezonu süresince bireylerin kilo alımını engellemiştir (Watras ve ark. 2006:481). Sadece günde 6 g düzeyinde % 39 *t10,c12* ve 37% *c9,t11* içeren KLA tüketen tip 2 diyabetli hastalarda vücut ağırlığında azalmalar gözlenmiştir; vücut ağırlığı değişikliği ve serumda *t10,c12*-isomer KLA konsantrasyonları arasında korelasyon belirlenmiştir Belury ve ark. 2003:257). KLA izomerlerinin antiobezite etkisi, vücutta yağ depolanmasını sağlayan lipoprotein-lipaz enziminin aktivitesini engellediği ve bunun neticesinde de metabolizmada az yağ depolanması gerçekleştiği ile açıklanmaktadır (Blankson ve ark. 2000:2943; Moloney ve ark. 2004:887). Beklenenin aksine KLA'nın herhangi bir etkisinin olmadığını onaylayan çalışmalarda bulunmaktadır. Sonuç olarak tüm bu çalışmalar ile günde 2-6 g KLA izomerik karışımının tüketilmesinin obez ve aşırı kilolu bireylerin vücut yağ içeriğinin azalması ve yağsız kitlenin üzerine potansiyel yararlı etkileri olduğu önerilmektedir. Bildirilen insan çalışmalarının çoğunda KLA takviyesi ile vücut ağırlığı (BW), vücut yağ kitlesi (BFM) bir azalma yanı sıra yağsız vücut kitlesi (LBM) iyileşme, vücut kitle indeksi (VKİ), bel ölçümü veya sagittal abdominal çapı (SAD) arasında pozitif korelasyon olduğu bildirilmiştir.

Vücut Ağırlığı Üzerine Etkisini

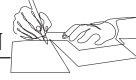
KLA'nın vücut ağırlığına etkisi fare, rat ve domuz gibi çeşitli hayvan modellerinde araştırılmıştır (Ostrowska ve ark. 1999:2037; Park ve ark. 1999:235; Tsuboyama-Kasaoka ve ark. 2000:1534; Terpstra ve ark. 2002:940). Hayvan model çalışmalarının birçoğunda KLA'nın vücut ağırlığında azaltıcı etkisi olduğu (West ve ark. 1998; Ryder ve ark. 2001:1149; Terpstra ve ark. 2002:940), bazı çalışmalarda ise ağırlık kaybında etkisinin olmadığı kaydedilmiştir (Ostrowska ve ark. 1999:2037; Sisk ve ark. 2001:1668; Yamasaki ve ark. 2003:30). Vücut ağırlığı ve bileşimine KLA'nın etkisi konusunda insan klinik çalışma sonuçları ise oldukça tutarsızlık göstermektedir (Basu ve ark. 2000:511; Blankson ve ark. 2000:2943; Mougios ve ark. 2001:585; Belury ve ark. 2003:257). Vücut kompozisyonu ile ilgili kanıtların çoğu KLA takviyesinin insanlarda yağsız kütle %15 oranının artmasında ya da vücut ağırlığı veya vücut yağını azaltmadığı ileri sürülmektedir (Larsen ve ark. 2003:2234). 20 sağlıklı normal ağırlıkta hareketli insanlarda vücut ağırlığında KLA'nın herhangi bir etkisi görülmemiştir (Thom ve ark. 2001:392). 24-48 yaş arasında 24 obez kadın grubunda 1.8gr KLA verilerek 8 hafta yürütülen KLA verilen kadınların vücut ağırlığı, beden kitle indeksi, bel ve kalça çevresi ölçümlerinde diğer gruba göre önemli azalmaların sağlandığı bildirilmiştir (İnanç 2006:37). Blankson ve ark. (2000:2943) ve Thom ve ark.



(2001:392) yaptıkları çalışmada KLA'nın vücut yağı kütlesi azalmasında önemli etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Sadece 6 g / gün düzeyinde %39 *t10,c12* ve 37% *c9,t11* içeren KLA tüketen tip 2 diyabetli hastalarda vücut ağırlığında azalmalar gözlenmiştir; vücut ağırlığı değişikliği ile plazma *t10,c12*-isomer KLA konsantrasyonları arasında korelasyon belirlenmiştir (Belury ve ark. 2003:257). Sağlıklı obez veya obez olmayan kadınlar ve erkekler yapılan klinik çalışmalarda vücut ağırlığına 0.7-6.8 g/gün düzeyinde KLA'nın herhangi bir etkisi bulunmamıştır (Mougios ve ark. 2001:585; Smedman & Vessby 2001:773).

Diyabet vee İnsülin Direncine Etkisi

Yaşam tarzı salgın hastalıklar, diyabet ve obezite tüm dünyada morbidite ve mortalitenin önemli nedenlerinden olarak kabul edilirken, obezite ve kilo artışı diyabet riski ile bağlantılı olduğu bildirilmiştir. İnsülin, kandaki glikoz konsantrasyonunu düzenlenmesinden sorumludur. İnsülin direnci, hücrelerin (kanda yeteri kadar bulunsun bile) insüline düzgün yanıt vermeyen bir durumdur ve hiper-insülinemiye (kanda yüksek insülin) neden olur. KLA'nın glukoz metabolizması üzerine etkisi ile ilgili bir dizi hayvansal çalışmalarda tutarsız sonuçlar bildirilmiştir. Bazı hayvan çalışmaları KLA takviyesinin insülin duyarlılığını artırdığını göstermiştir. Fareler üzerine yapılan çalışmalarda diyet ile kontrol edilen tip 2 diyabetli 32 denek 8 hafta süresince KLA takviyesi (3.0 g/gün; 50:50 *c-9,t-11* ve *t-10,c-12* KLA karışımı) verilerek gözetim altında tutulmuş KLA takviyesi insülin ve glikoz metabolizması üzerinde ters etkide bulunurken HDL metabolizmasını pozitif yönde etkilemiştir (Moloney ve ark. 2004:887). Normal hayvanlarda insülin direncinin attığı görülmüş fakat obez modellerde insülin direnci gelişme göstermiştir (Wargent ve ark. 2005:1). Halade ve ark. (2009:332) ise farelerde, *t10, c12*-KLA izomerinin insülin direncini artırdığı ancak *c9, t11*-KLA izomerinin ise insülin direncini inhibe ettiği bildirmiştir. Tip 2 diyabet mellitus özellikle hiperglisemi, insülin direnci ve bağıl insülin eksikliği gibi çeşitli metabolik bozukluklarla karakterize edilir. Yapılan bir insan çalışmada, tip 2 diyabetli hastalarda, 8 hafta boyunca KLA takviyesinin (6 g / gün) kan şekeri konsantrasyonunu azalttığı tespit edilmiştir (Belury ve ark. 2002:505). 8 hafta boyunca 6.0 g KLA / gün alan insüline bağımlı olmayan diabetes mellituslu (n = 11) bireylerin% 81'inin kontrol grubuna kıyasla kan glikozunda ve açlıkta önemli bir düşüş olduğunu gözlenmiştir (Belury ve ark. 2003:257). İnsanlar üzerinde yapılan bir dizi çalışmada KLA insülin direnci teşvik ettiği (Risérus ve ark. 2002:1516) bununla birlikte insanlarda önceden var olan diyabeti kötüleştirebileceği de belirlenmiştir (Moloney ve ark. 2004:887). Diyabet hastaları ile yapılan araştırmada, özellikle *t-10,c-12* izomerinin hastalarda kan şekeri ve kan trigliserit konsantrasyonunu azaltarak glukozun kullanılabilirliğini artırdığı gözlenmiştir (Ryder ve ark. 2001:1149). *t-10-c12* izomeri insülin direnci ile bağlantılı bulunmuş, *t10- c12, c9- t11* KLA izomer karışımının ise insülin direnci ile bağlantılı olmadığı belirtilmiştir (Moloney ve ark. 2004:887; Risérus ve ark. 2002:1516). 6 aydan daha uzun KLA takviyesi ile yapılan çalışmalarda glukoz ve insülin duyarlılığında herhangi bir değişim rapor edilmemiş (Gaullier ve ark. 2005:778; Gaullier ve ark. 2007:550; Watras ve ark. 2006:481) Fazla kilolu ve şişman kişilerde vücut ağırlığında% 5'lik bir azalmanın, insülin direncini azalttığı gösterilmiştir (Brown & McIntosh 2003:3041; Taylor & Zahradka 2004:1164).

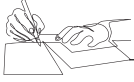


Kemik Dokusuna Etkisi

KLA'nın iskelet sistemi üzerine olan pozitif etkisi yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Hayvan modelleri ile yapılan çalışmalarda KLA'nın kemik yoğunluğu, kemik mineral içerikleri, kemik kuru ağırlıkları, kemik uzunluğu veya kalsiyum, magnezyum, fosfat içeriği arttırdığı bildirilmiştir (Kelly & Cashman 2004:295, Park ve ark. 2013:280; Rahman ve ark. 2014:211). Erkek farelerde %1 kalsiyumlu diyet ile beraber KLA'nın kemik kütlesini artırmak için kullanılacak bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür (Park ve ark. 2011:268). KLA'nın kemik yoğunluğuna etkisi ile ilgili tutarlı olmayan sonuçlarda vardır (Park ve ark. 1999:235; Gaullier ve ark. 2005:135; Doyle ve ark. 2005:432; Gaullier ve ark. 2007:550; Brown ve ark. 2011:33). Bu tutarsızlığın kısmen KLA ve diyetteki kalsiyum arasındaki etkilere bağlı olduğu belirtilmiştir.

Tümör Oluşumunu Önleyici Etkisi

Yapılan çalışmalarda KLA'nın tümör büyümesi veya metastatik potansiyelinin inhibisyonundaki rolünün belirsiz olduğu, buna ek olarak antikarsinogenik etki mekanizması da tam olarak bilinmemektedir. Elde edilen bazı araştırma sonuçları anjiyogenez inhibisyonu ile ilişkili olabileceğini göstermiştir. KLA'nın tümör oluşumuna etkisi lipid peroksidasyonu, eikosanoid metabolizması ve genetik faktörlerin değiştirilmesi olarak belirtilmiştir (Kelley ve ark. 2007:2599). Bütün bunların mekanizması henüz tam olarak tanımlanabilmiş değildir. Son zamanlarda, yapılan çalışmalarda KLA ve n-3 yağlı asitlerinin meme tümörü neden olan kök hücrelere karşı toksik etkiyi artırmış fakat çoğalmayı azaltmamıştır (Erickson ve Hubbard 2010:237). KLA izomerleri, yağların oksidasyonu ile açığa çıkan karsinogenik etkili serbest radikallerin oluşumunu engelleyerek antikarsinogenik özellikleri ile çeşitli hayvan modellerinde çok sayıda çalışmalar yapılmıştır (Bhattacharya ve ark. 2006:789; Kelley ve ark. 2007:2599). Hayvan modelleri üzerindeki çalışmalar da, kimyasal olarak indüklenen meme bezi, deri, kolon tümörleri yanı sıra, insan mide peritoneal metastazı inhibe ettiği, rapor edilmiştir (Kuniyasu ve ark. 2006:571; Stachowska 2008:122; Shiraishi ve ark. 2010:625). KLA'nın ratlarda meme kanseri insidansını azalttığı, koruyucu etkisinin doza bağlı olduğu KLA alımına devam edilmese de tümör gelişimine karşı koruyucu etkisi olduğu (Ip ve ark. 1995:241) fakat aksine *t10*, *c12* KLA izomerinin kolon kanserini geliştirici etki gösterdiği (Rajakangas ve ark. 2003:1943). buna ek olarak, farelerde, *t10*, *c12* KLA takviyesinin metastaz ile birlikte tümör büyümesini ve gelişmesini teşvik ettiğini saptanmıştır (Ip ve ark. 2007:1269). Yapılan bir başka çalışmada *c9-t11* KLA izomerlerinin kimyasal olarak indüklenmiş sıçan meme kanseri üzerinde etkili bir inhibisyon gösterdiği bildirilmektedir (Pariza ve ark. 2001:283). İnsanlarla yapılan çalışmaların sonucu daha az ikna edici bulunmaktadır. Doza ve zamana bağlı olarak insan kolon kanseri hücreleri üzerinde *t-9*, *t-11* KLA apoptosis etkisi belirlenmiştir (Beppu ve ark. 2006:830). Larsson ve ark. (2009:556) meme kanserine karşı KLA'nın koruyucu bir etkisinin olmadığını bildirmiştir. Meme ve prostat tümörü oluşumu ile ilgili KLA alımının epidemiyolojik çalışma sonuçları kesin değildir (Heinze ve Actis 2012:66). Bazı *in vitro* çalışmalar KLA'nın insanda kanserli karaciğer hücrelerinin büyümesini inhibe ettiği belirlenmiştir (Durgam ve Fernandes 1997:121). Klinik çalışmalarla ilgili



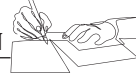
olarak birçok araştırmacı, insan meme kanseri üzerinde durmuştur. Serum ve meme adipoz dokuda KLA seviyeleri analiz edilmiş, meme kanseri ve KLA arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla serum ve adipoz dokulardaki KLA miktarı belirlenmiştir. KLA'nın meme kanseri hücre gelişimini (Park ve ark. 2000:669; Lim ve ark. 2014:627) rapor dlemiştir. Postmenopozal kadınlarda yapılan çalışmada, serum ve diyetlerdeki KLA seviyelerinin kontrol grubuna göre meme kanserli hastalarda daha düşük olduğu görülmüştür. Buna karşın meme yağ doksunda KLA konsantrasyonunun kadınlarda meme kanseri olup olmayacağı ile direkt ilişkili görülmemiştir. (Aro ve ark. 2000:151). *t10-c12* KLA'nın kolon kanser hücrelerini IGF-II salgılanmasını azaltarak inhibe ettiğini, (Cho ve ark. 2003:996), *c9-t11* KLA izomerinse etkide bulunmadığını göstermiştir (Kim & Lui 2002: 1731). Kanser üzerinde diyet konjuge yağ asitlerinin rolü hala tartışmalıdır. Çeşitli oranlarda KLA ve izomerleri takviyesinin çoklu potansiyel etkileri hayvan ve insan modellerinde değerlendirilmiş ancak sonuçlar belirsiz kalmıştır. Belirtmek gerekir ki geviş getiren ürünlerinden kaynaklanan KLA karışımlarının tümör hücrelerine çoğalmasını önleyici gücü sentetik olarak hazırlananlar göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (De La Torre ve ark. 2007:346). Bu nedenlerden dolayı literatürde bildirilen KLA etkilerinin tutarsız sonuçları nedeni olabilir. Ayrıca çalışmalarda kullanılan doz, izomerler ve bunların oranı önemli ölçüde etkiyi değiştirmektedir.

İmmün ve İnflamatuar Üzerine Etkileri

Bağışıklığa karşı yan etkilerin azaltılması, kolonik enflamasyonun azaltılması, bağışıklık hücrelerinde sitokin kaynaklı antijen üretimin azalması, bağışıklık tipi alerjik tepkilerin azalması, sitokin, prostaglandin, ve lökotrien üretiminin düzenlenmesi de dahil olmak üzere İmmün ve inflammatuar yanıtları üzerine KLA'nın etkileri bir çok hayvan modellerinde bildirilmiştir (Bassaganya-Riera ve ark. 2012:721; Yu ve ark. 2002:89). Bununla birlikte farelerde beyaz yağ dokularında *t-10, c-12* KLA izomerinin inflammatuar tepkileri indüklediği bildirilmiştir (Poirier ve ark. 2006:1634). İnsanlarda da immün ve inflammatuar yanıtlar üzerine KLA'nın etki sonuçları tutarsızdır. Özellikle immün teşvik edici deneylerde KLA takviyesinin yararlı etkileri gözlenmiştir (Albers ve ark. 2003:595, Turpeinen ve ark. 2008:112, Penedo ve ark. 2013:144). Huş poleni alerjisi olan kişilerde 2g/gün *c-9, t-12* KLA takviyesinin 12 haftalık uygulaması sonucunda daha az hapsirme ile iyileşme belirtileri görülmüştür (Turpeinen ve ark. 2008:112). Buna ilave-ten Hepatit B aşısı sonrasında KLA takviyesinin antikor üretimini geliştirdiği bildirilmiştir (Alber ve ark. 2003:595). İmmün ve inflammatuar hastalıklar üzerinde insan çalışmalarından elde edilen genel sonuçlar biraz tutarsız olmasına rağmen, özellikle bağışıklık üzerinde KLA uygulamaları oldukça umut vericidir.

GÜNLÜK TÜKETİM

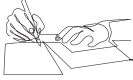
KLA esansiyel bir yağ asidi niteliği taşımakta ve günlük gereksinimin gıdalarla sağlanması gerekliliği bulunmaktadır. İnsanlar için gerekli miktarın yüzde 60'ı süt ürünlerinden, yüzde 37'si et ürünlerinden ve çoğunlukla *c9-t11* KLA izomeri olarak sağlanmaktadır. Ticari preparatları ise linoleik asidin izomerizasyonu ile ve *c9-t11* KLA ve *t10-c12* KLA 1:1 oranında hazırlanarak üretilmektedir. KLA kullanımının insanlar üzerindeki biyolojik etkilerini gösterilebilmesi için günlük



tüketilmesi gereken KLA miktarları hakkında değişik kaynaklar Chamruspollert ve Sell (1999:1138) 1.5- 3 gr/gün, Blankson ve ark. (2000:2943) 3.4gr/gün, Hah ve ark. (2006:744) 3gr/gün, Ip ve ark. (1995:241) 3gr/gün olarak bildirmektedirler. KLA'nın günlük tüketim miktarı üzerinde yapılan çalışmalarda, erkekler için tüketilmesi gereken düzey 212 mg/gün, kadınlar için ise 151 mg/gün olarak saptanmıştır. KLA miktarları yukarıdaki tabloda da belirtildiği gibi (tablo 1) süt ürünlerinde KLA (mg/g yağ) Homojenize süt 5,0, Yoğurt 4,8 Tereyağı 6,0 Dondurma 3,6 Beyaz peynir 4,5 Cheddar peyniri 4,1'dir. FDA tarafından bir gıda katkı maddesi olarak onaylanan KLA'nın günlük tüketimi %60 cis 9 %90 trans 11 ve 50;50 oranında trans-10, cis-9 izomer karışımı olarak tüketilmesi uygun görülmüştür. Klinik çalışmalardan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile insan denekler üzerinde yan etkisi görülmediği günde 0.5-7g dozun tüketilebileceği bildirilmiştir (Noone ve ark. 2002:243, Albers ve ark. 2003:595; Gaullier ve ark. 2005:778;2007:550). Ancak KLA takviyesi ile ilgili hem hayvan hemde insan çalışmalarına dayanarak yağlı karaciğer, insülin direnci, oksidatif stres ve süt yağı potansiyel güvenlik kaygıları tartışmalıdır (Kelley ve ark. 2007:2599; Risérus ve ark. 2002:1516). 6 aydan az kısa süreli klinik çalışmalarında KLA takviyesinin erkeklerde yağsız kütle, vücut yağı dağılım oranı ya da kilo azalmasında çok az bir değişim ortaya koyduğu belirlenmiştir (Larsen ve ark. 2003:2234). Whigham ve ark.(2007:1203) günde 3.2 g KLA takviyesinin insanda yağlı dokuda 6 aylık süre ile liner bir azalma olduğunu bildirmiştir. Günde 1.7-6.8g arasında değişen oranlarda KLA takviyesinin vücut yağ kitlesi etkisinin azalmasını test edildiği çalışmada 3.4 g KLA'nın yağ kitlesi azalmasında etkili olduğu daha fazlasının faydalı olmadığı ifade edilmiştir (Blankson ve ark. 2000:2943). Ritzenthaler ve ark. (2001:1548), c9t11 KLA izomerin kansere karşı koruyucu etkisinin gösterebilmesi için erkeklerde 620 mg, kadınlarda ise 441 mg KLA alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. KLA tüketiminin Avustralya'da 1500 mg/gün, İngiltere'de 400-600 mg/gün ve Almanya'da ise 4000 mg/gün civarında olduğu kaydedilmiştir. Süt, 3-6 mg/g düzeyindeki KLA içeriği ile birinci et ve et ürünleri ise ikinci sırada yer almaktadır.

SONUÇ

Konjuge linoleik asitin izomerlerinden olan *t10-c12* KLA'nın daha çok vücutta yağlanmayı azaltıcı, *c9-t11* KLA'nın ise antikarsinojenik etkisinin olduğu konusunda çalışmalar mevcuttur. KLA'nın vücut yağını azaltmaktan ziyade vücutta yağ birikimini, oluşumu ateroskleroza ve insülin direnci ile glukoz konsantrasyonunu azaltma, immünitelyi arttırma ve özellikle meme kanserinde olduğu gibi antikanserojen etkileri insan sağlığı için oldukça önemlidir. KLA'nın bu etkileri, bahsedilen çalışmaların bir sonucu olarak, doza, izomer çeşidine, türe ve kullanıldığı metabolik duruma göre değişmektedir. Klinik ve güvenli insan çalışmalarının yetersizliğine rağmen, diyetle KLA ilavesi ağırlık kaybettirici ajan olarak obezlerde ve yüksek risk grubu olan diyabetik hastalarda kullanılmaktadır. Günlük tüketim üzerinde durulmalı ve hangi durumlarda takviye edilmesi gerektiği de vurgulanmalıdır.

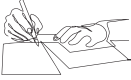


KAYNAKÇA

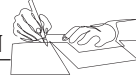
1. Albers R, Van der Wielen R, Brink E, Hendriks HFJ, Dorovska-Taran VN, Mohede ICM (2003). Effects of cis-9, trans-11 and trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid (CLA) isomers on immune function in healthy men. *Eur J Clin Nutr.* 57(4):595–603.
2. Aro A, Männistö S, Salminen I, Ovaskainen ML, Kataja V, Uusitupa M (2000). Inverse association between dietary and serum conjugated linoleic acid and risk of breast cancer in postmenopausal women. *Nutr Cancer* 38(2):151-7.
3. Barbosa NR, Gama MAS, Lopes FCF, Defillipo PP, Mury FB, Trevisani R, Oliveira DE, Gattaz WF (2009). Activity of phospholipase A2 (PLA2) subtypes in rat brain is altered by feeding conjugated linoleic acid (CLA) and linseed oil. *Alzheimers Dement.* 5, 326.
4. Basu S, Risérus U, Turpeinen A, Vessby B (2000). Conjugated linoleic acid induces lipid peroxidation in men with abdominal obesity. *Clin Sci (Lond)* 99(6):511-6.
5. Bassaganya-Riera, J, Hontecillas R, Horne WT, Sandridge M, Herfarth HH, Bloomfield R, Isaacs KL (2012). Conjugated linoleic acid modulates immune responses in patients with mild to moderately active Crohn's disease. *Clin. Nutr.* 31, 721–727.
6. Belury MA (2002). Dietary conjugated linoleic acid in health: physiological effects and mechanisms of action 1. *Annu. Rev. Nutr.* 22, 505–531.
7. Belury MA, Mahon A, Banni S (2003). The conjugated linoleic acid (CLA) isomer, t10c12-CLA, is inversely associated with changes in body weight and serum leptin in subjects with type 2 diabetes mellitus. *J Nutr* 133(1):257-260.
8. Baumgard L, Sangster JK, Bauman DE (2001). Milk fat synthesis in dairy cows is progressively reduced by increasing supplemental 67 amounts of trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid (CLA). *J. Nutr.*, 131:1764-1769.
9. Benjamin S, Hanhoff T, Borchers T, Spener F (2005). An improved molecular test system for the screening of human PPAR transactivation by conjugated linoleic acid isomers and their precursor fatty acids. *European Journal of Lipid Science and Technology* 107(10):706-715.
10. Benjamin S, Flotho S, Borchers T, Spener F (2013). Conjugated linoleic acid isomers and their precursor fatty acids regulate peroxisome proliferator-activated receptor subtypes and major peroxisome proliferator responsive element-bearing target genes in HepG2 cell model. *J Zhejiang Univ Sci B*, 14(2):115–23.
11. Beppu F, Hosokawa M, Tanaka L, Kohno H, Tanaka T, Miyashita K (2006). Potent inhibitory effect of trans9, trans11 isomer of conjugated linoleic acid on the growth of human colon cancer cells. *J. Nutr. Biochem.* 17(12): 830- 836.
12. Bhattacharya A, Banu J, Rahman M, Causey J, Fernandes G (2006). Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease. *J Nutr Biochem* 17(12):789-810.
13. Blankson H, Stakkestad JA, Fagertun H, Thom E, Wadstein J, Gudmundsen O (2000). Conjugated Linoleic Acid Reduces Body Fat Mass in Overweight and Obese Humans. *The Journal of Nutrition* 130(12):2943-2948.
14. Brown JM, McIntosh MK (2003). Conjugated linoleic acid in humans: regulation of adiposity and insulin sensitivity. *J Nutr* 133, 3041–3046.
15. Brown AW, Trenkle AH, Beitz DC (2011). Diets high in conjugated linoleic acid from pasture-fed cattle did not alter markers of health in young women. *Nutr Res* 31, 33–41
16. Chajès V, Lavillonnière F, Ferrari P, Jourdan ML, Pinault M, Maillard V, Sébédio JL, Bougnoux P (2002). Conjugated Linoleic Acid Content in Breast Adipose Tissue Is



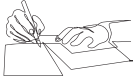
- Not Associated with the Relative Risk of Breast Cancer in a Population of French Patients. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention* 11(7):672-673.
17. Chen SC, Lin YH, Huang HP, Hsu WL, Hounng JY, Huang CK (2012). Effect of conjugated linoleic acid supplementation on weight loss and body fat composition in a Chinese population. *Nutrition* 28(5):559-565.
 18. Cho HJ, Kim WK, Kim EJ, Jung KC, Park S, Lee HS, Tyner AL, Park JH (2003). Conjugated linoleic acid inhibits cell proliferation and ErbB3 signaling in HT-29 human colon cell line. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 284(6):G996-1005.
 19. Cimini A, Cristiano L, Colafarina S, Benedetti E, Di Loreto S, Festuccia C, Amicarelli F, Canuto RA, Cerù MP (2005). PPAR γ -dependent effects of conjugated linoleic acid on the human glioblastoma cell line (ADF). *International Journal of Cancer* 117(6):923-933
 20. Chamruspollert M, Sell JL (1999). Transfer of dietary conjugated linoleic acid to egg yolks chickens. *Poultry Sci.* 78: 1138-1150.
 21. Choi JS, Jung MH, Park HS, Song J (2004). "Effect of conjugated linoleic acid isomers on insulin resistance and mRNA levels of genes regulating energy metabolism in highfat-fed rats," *Nutrition*, Vol. 20, no. 11-12, pp. 1008-1017.
 22. Cordero G, Isabel B, Morales J, Menoyo D, Piñeiro C, Daza A, Lopez-Bote CJ (2011). Conjugated linoleic acid (CLA) during last week of gestation and lactation alters colostrum and milk fat composition and performance of reproductive sows. *Animal Feed Science and Technology* 168(3):232-240
 23. de Deckere EAM, van Amelsvoort JM, McNeill GP, Jones P (1999) Effects of conjugated linoleic acid (CLA) isomers on lipid levels and peroxisome proliferation in the hamster. *Br J Nutr*; 82(4):309-317.
 24. DeGuire JR, Makarem N, Vanstone CA, Morin S, Duque G, Weiler HA (2012). Conjugated linoleic acid is related to bone mineral density but does not affect parathyroid hormone in men. *Nutr. Res.* 32, 911-920.
 25. De La Torre A, Debiton E, Juane'da P, Durand D, Chardigny JM, Barthomeuf C, Bauchart D, Gruffat D (2006). Beef conjugated linoleic acid isomers reduce human cancer cell growth even when associated with other beef fatty acids. *Br J Nutr* 95: 346-352
 26. Derakhshande-Rishehri SM, Mansourian M, Kelishadi R, Heidari-Beni M (2015). Association of foods enriched in conjugated linoleic acid (CLA) and CLA supplements with lipid profile in human studies: a systematic review and meta-analysis. *Public Health Nutrition* 18(11):2041-2054.
 27. Devillard E, McIntosh FM, Young K, Castet M, Wallace RJ, Newbold CJ (2004). CLA composition of rumen bacterial and protozoal populations *Reproduction Nutrition Development*, 44: 60- 65.
 28. Doyle L, Jewell C, Mullen A, Nugent AP, Roche HM, Cashman KD (2005). Effect of dietary supplementation with conjugated linoleic acid on markers of calcium and bone metabolism in healthy adult men. *Eur J Clin Nutr* 59, 432-440.
 29. Durgam VR, Fernandes G (1997). The growth inhibitory effect of conjugated linoleic acid on MCF-7 cells is related to estrogen response system. *Cancer Lett* 116(2):121-30.
 30. Erickson KL, Hubbard NE (2010). Fatty acids and breast cancer: The role of stem cells Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 82 (4) 237 - 241.
 31. Ferlay A, Bernard L, Toral P, Martin C, Chilliard Y (2014). Effects of feeding factors on dairy performance and milk fatty acid composition in cows and goats. 16th AAAP Animal Science Congress ,2014, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia, Vol.



1. 169-181.
32. Gama MAS, Raposo NRB, Mury FB, Lopes FCF, Dias-Neto E, Talib LL, Gattaz WF (2015). Conjugated linoleic acid-enriched butter improved memory and up-regulated phospholipase A2 encoding-genes in rat brain tissue. *J. Neural Transm.* 122, 1371-1380.
33. Gaullier JM, Halse J, Høye K, Kristiansen K, Fagertun H, Vik H, Gudmundsen O (2005). Supplementation with Conjugated Linoleic Acid for 24 Months Is Well Tolerated by and Reduces Body Fat Mass in Healthy, Overweight Humans. *J Nutr* 135, 778-784
34. Gaullier JM, Halse J, Høivik HO, Høye K, Syvertsen C, Nurminiemi M, Hassfeldt C, Einerhand A, O'Shea M, Gudmundsen O (2007). Six months supplementation with conjugated linoleic acid induces regional-specific fat mass decreases in overweight and obese. *Br J Nutr* 97, 550-560.
35. Heinze VM, Actis AB (2012). Dietary conjugated linoleic acid and long-chain n-3 fatty acids in mammary and prostate cancer protection: a review. *Int J Food Sci Nutr*.63(1):66-78.
36. Gavino VC, Gavino G, Leblanc MJ, Tuchweber B (2000). An isomeric mixture of conjugated linoleic acids but not pure cis-9, trans-11-octadecadienoic acid affects body weight gain and plasma lipids in hamsters. *J Nutr*.130:27-29.
37. Griinari JM, Corl BA, Lacy SH, Chouinard PY, Nurmela KV, Bauman DE (2000). Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Delta(9)-desaturase. *J Nutr* 130(9):2285-2291.
38. Hah KH, Yang HS, Hur SJ, Moon SS, Ha YL, Park GB, Joo St (2006). Effect of substituted conjugated linoleic acid for fat and meat qualities. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 19(5): 744-750.
39. Halade GV, Rahman MM, Fernandes G (2009). Differential effects of conjugated linoleic acid isomers in insulin-resistant female C57Bl/6J mice. *Journal of Nutritional Biochemistry* 21(4):332-337.
40. Huang Y, Yanagita T, Nagao K, Koba K (2008). Biological effects of conjugated linoleic acid. In: *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications*. 3rd Edition, 12 p
41. Ip C, Chin SF, Scimeca JA, Pariza MW (1991). Mammary cancer prevention by conjugated dienoic derivative of linoleic acid. *Cancer Res.*, 51, 6118-6124.
42. Ip C, Singh M, Thompson HJ, Scimeca JA (1994). Conjugated linoleic acid suppresses mammary carcinogenesis and proliferative activity of the mammary gland in the rat. *Cancer Research* 54(5):1212-1215.
43. Ip C, Scimeca JA, Thompson H (1995). Effect of timing and duration of dietary conjugated linoleic acid on mammary cancer prevention. *Nutr Cancer*.24: 241-247.
44. Ip MM, Masso-Welch PA, Shoemaker SF, Shea-Eaton WK, Ip C (1999). Conjugated linoleic acid inhibits proliferation and induces apoptosis of normal rat mammary cells in primary culture. *Exp. Cell Res.* 250, 22-34.
45. Ip MM, McGee SO, Masso-Welch PA, Ip C, Meng X, Ou L, Shoemaker SF (2007). The t10, c12 isomer of conjugated linoleic acid stimulates mammary tumorigenesis in transgenic mice over-expressing erbB2 in the mammary epithelium. *Carcinogenesis* 28: 1269-1276.
46. İnanç N (2006). Konjuge linoleik asit: obezitede etkileri. *Sağlık Bil. Derg.* 5(2): 37-41.
47. Joseph SV, Liu X, Wakefield A, Chouinard PY, Aukema H, Jones PJ, Jacques H (2010). Trans-8, cis-10+ cis-9, trans-11-conjugated linoleic acid mixture alters body composition in Syrian golden hamsters fed a hypercholesterolaemic diet.



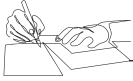
- British Journal of Nutrition 104(10):1443-1449.
48. Katzman MA, Jacobs L, Marcus M, Vermani M, Logan AC (2007). Weight gain and psychiatric treatment: Is there a role for green tea and conjugated linoleic acid? *Lipids Health Dis* 6:14, 1-4.
 49. Kelley NS, Hubbard NE, Erickson KL (2007). Conjugated linoleic acid isomers and cancer. *J Nutr* 137(12):2599-607.
 50. Kelly GS (2001) Conjugated linoleic acid: a review. *Alternative Medicine Review*, Vol. 6, pp: 367-382.
 51. Kelly O, Cashman KD (2004). The effect of conjugated linoleic acid on calcium absorption and bone metabolism and composition in adult ovariectomised rats. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 71(5):295-301.
 52. Khiaosa-ard R, Kreuzer M, Leiber F (2015). Apparent recovery of C18 polyunsaturated fatty acids from feed in cow milk: A meta-analysis of the importance of dietary fatty acids and feeding regimens in diets without fat supplementation. *Journal of Dairy Science*. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6399-6414.
 53. Kim YJ, Liu RH (2002). Increase of Conjugated Linoleic Acid Content in Milk by Fermentation with Lactic Acid Bacteria. *Journal of Food Science* 67(5):1731-1737.
 54. Knekt P, Järvinen R, Seppänen R, Pukkala E, Aromaa A (1996). Intake of dairy products and the risk of breast cancer. *Br J Cancer* 73(5):687-91.
 55. Kramer JK, Cruz-Hernandez C, Deng Z, Zhou J, Jahreis G, Dugan ME (2004). Analysis of conjugated linoleic acid and trans 18:1 isomers in synthetic and animal products. *Am J Clin Nutr* 79(6 Suppl):1137-1145.
 56. Kritchevsky D, Tepper SA, Wright S, Czarnecki SK, Wilson TA, Nicolosi RJ (2004). Conjugated linoleic acid isomer effects in atherosclerosis: growth and regression of lesions. *Lipids* 39(7):611-6.
 57. Kuniyasu H, Yoshida K, Sasaki T, Sasahira T, Fujii K, Ohmori H (2006). Conjugated linoleic acid inhibits peritoneal metastasis in human gastrointestinal cancer cells. *Int. J. Cancer*, 118: 571-576
 58. Larsen TM, Toubro S, Astrup A (2003). Efficacy and safety of dietary supplements containing CLA for the treatment of obesity: evidence from animal and human studies. *J Lipid Res* 44(12):2234-41.
 59. Larsson SC, Bergkvist L, Wolk A (2009). Conjugated linoleic acid intake and breast cancer risk in a prospective cohort of Swedish women. *Am J Clin Nutr* 90(3):556-60.
 60. Laso N, Brugué E, Vidal J, Ros E, Arnaiz JA, Carné X, Vidal S, Mas S, Deulofeu R, Lafuente A (2007). Effects of milk supplementation with conjugated linoleic acid (isomers *cis*-9, *trans*-11 and *trans*-10, *cis*-12) on body composition and metabolic syndrome. *Br. J. Nutr*:98, 860-867
 61. Lee SH, Joo YK, Lee JW, Ha YJ, Yeo JM, Kim WY (2014). Dietary conjugated linoleic acid (CLA) increases milk yield without losing body weight in lactating sows. *Journal of Animal Science and Technology* 56(1):1-9.
 62. Lim J N, Oh JJ, Wang T, Lee JS, Kim SH, Kim YJ, Lee HG (2014). *trans*-11 18:1 vaccenic acid (TVA) has a direct anti-carcinogenic effect on MCF-7 human mammary adenocarcinoma cells. *Nutrients* 6(2):627-36.
 63. Lock AL, Bauman DE (2004). Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. *Lipids* 39(12):1197-206.
 64. Ma L, Lengi AJ, McGilliard ML, Bauman DE, Corl BA (2014). Short communication: effect of *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid on activation of lipogenic



- transcription factors in bovine mammary epithelial cells. *J Dairy Sci* 97(8):5001-6.
65. Malinska H, Hüttl M, Oliarynyk O, Bratova M, Kazdova L (2015). Conjugated linoleic acid reduces visceral and ectopic lipid accumulation and insulin resistance in chronic severe hypertriglyceridemia. *Nutrition*, 31, 1045–1051.
 66. Marques TM, Wall R, O'Sullivan O, Fitzgerald GF, Shanahan F, Quigley EM, Cotter PD, Cryan JF, Dinan TG, Ross RP, Stanton C (2015). Dietary trans-10, cis-12-conjugated linoleic acid alters fatty acid metabolism and microbiota composition in mice. *British Journal of Nutrition* 113(05):728-738.
 67. Moloney F, Yeow TP, Mullen A, Nolan JJ, Roche HM (2004). Conjugated linoleic acid supplementation, insulin sensitivity, and lipoprotein metabolism in patients with type 2 diabetes mellitus. *The American Journal of Clinical Nutrition* 80(4):887-895.
 68. Mougios V, Matsakas A, Petridou A, Ring S, Sagredos A, Melissopoulou A, Tsigilis N, Nikolaidis M (2001). Effect of supplementation with conjugated linoleic acid on human serum lipids and body fat. *J Nutr Biochem* 12(10):585-594.
 69. Nagao K, Inoue N, Wang YM, Hirata J, Shimada Y, Nagao T, Matsui T, Yanagita T (2003). The 10trans,12cis isomer of conjugated linoleic acid suppresses the development of hypertension in Otsuka Long-Evans Tokushima fatty rats. *Biochem Biophys Res Commun* 306(1):134-138.
 70. Naumann E, Carpentier YA, Saebo A, Lassel TS, Chardigny JM, Sébédio JL, Mensink RP (2006). Cis-9, trans- 11 and trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid (CLA) do not affect the plasma lipoprotein profile in moderately overweight subjects with LDL phenotype B. *Atherosclerosis* 188(1):167-174.
 71. Noone EJ, Roche HM, Nugent AP, Gibney MJ (2002). The effect of dietary supplementation using isomeric blends of conjugated linoleic acid on lipid metabolism in healthy human subjects. *British Journal of Nutrition* 88(03):243-251.
 72. Ochoa JJ, Farquharson AJ, Grant I, Moffat LE, Heys SD, Wahle WJ (2004). Conjugated linoleic acids (CLAs) decrease prostate cancer cell proliferation: Different molecular mechanisms for cis-9, trans-11 and cis-10, trans-12 isomers. *Carcinogenesis* 2004, 25, 1185–1191.
 73. Ostrowska E, Muralitharan M, Cross RF, Bauman DE, Dunshea FR (1999). Dietary conjugated linoleic acids increase lean tissue and decrease fat deposition in growing pigs. *J Nutr* 129(11):2037-42.
 74. Pariza MW, Park Y, Cook ME (2001). The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Prog Lipid Research* 40(4):283-98.
 75. Park Y, Storkson JM, Albright KJ, Liu W, Pariza MW (1999). Evidence that the trans-10,cis-12 isomer of conjugated linoleic acid induces body composition changes in mice. *Lipids* 34(3):235-341.
 76. Park Y, Allen KG, Shultz TD, (2000). Modulation of MCF-7 breast cancer cell signal transduction by linoleic acid and conjugated linoleic acid in culture. *Anticancer Res* 20(2A):669-676.
 77. Park Y, Pariza MW (2007). Mechanisms of body fat modulation by conjugated linoleic acid (CLA) *Food Res Int.*40:311–323.
 78. Park Y, Kim J, Scrimgeour AG, Condlin ML, Kim D, Park Y (2013). Conjugated linoleic acid and calcium co-supplementation improves bone health in ovariectomised mice. *Food Chem* 140(1-2):280-288.
 79. Park Y, Pariza MW (2008). Cosupplementation of dietary calcium and conjugated linoleic acid (CLA) improves bone mass in mice. *J Food Sci* 73(7):C556-560.



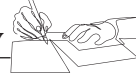
80. Park Y, Terk M, Park Y (2011). Interaction between dietary conjugated linoleic acid and calcium supplementation affecting bone and fat mass. *Journal of Bone and Mineral Metabolism* 29(3):268-278.
81. Parodi PW (2003). Anti-cancer agents in milk fat. *The Australian J. Dairy Technol.* 58(2): 114-118
82. Penedo LA, Nunes JC, Gama MA, Leite PE, Quirico-Santos TF, Torres AG (2013). Intake of butter naturally enriched with cis9, trans11 conjugated linoleic acid reduces systemic inflammatory mediators in healthy young adults. *J Nutr Biochem.* 24:2144-51
83. Poirier H, Shapiro JS, Kim RJ, Lazar MA (2006). Nutritional supplementation with trans-10 cis-12-conjugated linoleic acid induces inflammation of white adipose tissue. *Diabetes* 55, 1634-1641.
84. Rahman MM, Fernandes G, Williams P (2014). Conjugated linoleic acid prevents ovariectomy-induced bone loss in mice by modulating both osteoclastogenesis and osteoblastogenesis. *Lipids* 49(3):211-224.
85. Rajakangas J, Basu S, Salminen I, Mutanen M (2003). Adenoma growth stimulation by the trans-10, cis- 12 isomer of conjugated linoleic acid (CLA) is associated with changes in mucosal NF-kappaB and cyclin D1 protein levels in the Min mouse. *J Nutr.*133: 1943-8.
86. Reardon M, Gobern S, Martinez K, Shen W, Reid T, McIntosh M (2012). Oleic acid attenuates trans-10,cis-12 conjugated linoleic acid-mediated inflammatory gene expression in human adipocytes. *Lipids* 47(11):1043-51.
87. Resende TL, Kraft J, Soder KJ, Pereira AB, Woitschach DE, Reis RB, Brito AF (2015). Incremental amounts of ground flaxseed decrease milk yield but increase n-3 fatty acids and conjugated linoleic acids in dairy cows fed high-forage diets1. *Journal of Dairy Science* 98(7):4785-4799.
88. Riserus U, Berglund L, Vessby B (2001). Conjugated linoleic acid (CLA) reduced abdominal adipose tissue in obese middle-aged men with signs of metabolic syndrome: A randomized controlled trial. *Int. J. Obes.* 25, 1129-1135.
89. Risérus U, Arner P, Brismar K, Vessby B (2002). Treatment with dietary *trans*10, *cis*12 conjugated linoleic acid causes isomer-specific insulin resistance in obese men with the metabolic syndrome. *Diabetes Care* 25(9):1516-1521.
90. Ritzenthaler KL, McGuire MK, Falen R, Shultz TD, Dasgupta N, McGuire MA (2001). Estimation of conjugated linoleic acid Intake by written dietary assessment methodologies underestimates actual intake evaluated by food duplicate methodology. *J Nutr.* 131:1548-1554.
91. Ryder JW, Portocarrero CP, Song XM, Cui L, Yu M, Combatsiaris T, Galuska D, Bauman DE, Barbano DM, Charron MJ, Zierath JR, Houseknecht KL (2001). Isomer-specific antidiabetic properties of conjugated linoleic acid. Improved glucose tolerance, skeletal muscle insulin action, and UCP-2 gene expression. *Diabetes* 50(5):1149-57.
92. Schmid A, Collomb M, Sieber R, Bee G (2006). Conjugated linoleic acid in meat and meat products: A review. *Meat Sci*, 73, 29-41.
93. Schwendel BH, Morel PC, Wester TJ, Tavendale MH, Deadman C, Fong B, Shadbolt NM, Thatcher A, Otter DE (2015). Fatty acid profile differs between organic and conventionally produced cow milk independent of season or milking time. *Journal of Dairy Science* 98(3):1411-1425.
94. Sisk MB, Hausman DB, Martin RJ, Azain MJ (2001). Dietary conjugated linoleic acid reduces adiposity in lean but not obese Zucker rats. *J Nutr* 131(6):1668-74.
95. Shiraishi R, Iwakiri R, Fujise T, Kuroki T, Kakimoto T, Takashima T, Sakata Y, Tsunada



- S, Nakashima Y, Yanagita T, Fujimoto K (2010). Conjugated linoleic acid suppresses colon carcinogenesis in azoxymethane-pretreated rats with long-term feeding of diet containing beef tallow. *J Gastroenterol* 45: 625-635.
96. Smedman A, Vessby B (2001). Conjugated linoleic acid supplementation in humans metabolic effects. *Lipids* 36(8):773-81.
97. Stachowska E, Siennicka A, Baškiewicz-Hałas M, Bober J, Machalinski B, Chlubek D (2012). Conjugated linoleic acid isomers may diminish human macrophages adhesion to endothelial surface. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 63, 30–35.
98. Stachowska E (2008). Conjugated dienes of linoleic acid and tumorigenesis. *Ann Acad Med Stetin* 54: 122-125.
99. Steck SE, Chalecki AM, Miller P, Conway J, Austin GL, Hardin JW, Albright CD, Thuillier P (2007). Conjugated linoleic acid supplementation for twelve weeks increases lean body mass in obese humans. *J Nutr* 137(5):1188-1193.
100. Steinhart H, Rickert R, Winkler K (2003). Identification and analysis of conjugated linoleic acid isomers (CLA). *Eur J Med Res* 8(8):370-372.
101. Syvertsen C, Halse J, Hoivik HO, Gaullier JM, Nurminiemi M, Kristiansen K, Einerhand A, O'Shea M, Gudmundsen O (2006). The effect of 6 months supplementation with conjugated linoleic acid on insulin resistance in overweight and obese. *Int J Obes* 31(7):1148-1154.
102. Sebedio JL, Cristie WW, Adlof R (2003). *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*, 2, AOCS Press, USA, 325.
103. Takahashi Y, Kushiro M, Shinohara K, Ide T (2002). Dietary conjugated linoleic acid reduces body fat mass and affects gene expression of proteins regulating energy metabolism in mice. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 133(3):395-404.
104. Taylor CG, Zahradka P (2004). Dietary conjugated linoleic acid and insulin sensitivity and resistance in rodent models. *Am J Clin Nutr* 79, 1164S–1168S.
105. Terpstra AH, Beynen AC, Everts H, Kocsis S, Katan MB, Zock PL (2002). The decrease in body fat in mice fed conjugated linoleic acid is due to increases in energy expenditure and energy loss in the excreta. *The Journal of Nutrition* 132(5):940-945.
106. Thuillier P, Pande NT, Ghena A, Song S, Lawrence Y, Shridhar V, Akkari Y, Pejovic T, Olson S (2013). Dietary conjugated linoleic acids arrest cell cycle progression and prevent ovarian cancer xenografts growth suggesting *a*-trans-10 *cis*-12 isoform specific activity. *J. Cancer Ther.* 4, 33–42
107. Thom E, Wadstein J, Gudmundsen O (2001). Conjugated linoleic acid reduces body fat in healthy exercising humans. *J Int Med Res* 29(5):392-6.
108. Toomey S, McMonagle J, Roche HM (2006). Conjugated linoleic acid: a functional nutrient in the different pathophysiological components of the metabolic syndrome? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 9(6):740-747.
109. Tsuboyama-Kasaoka N, Takahashi M, Tanemura K, Kim HJ, Tange T, Okuyama H, Kasai M, Ikemoto S, Ezaki O (2000). Conjugated linoleic acid supplementation reduces adipose tissue by apoptosis and develops lipodystrophy in mice. *Diabetes* 49(9):1534-42.
110. Turpeinen AM, Ylönen N, von Willebrand E, Basu S, Aro A (2008). Immunological and metabolic effects of *cis*-9 *trans*-11- conjugated linoleic acid in subjects with birch pollen allergy. *Br J Nutr* 100, 112–119
111. Tvrzicka E, Kremmyda LS, Stankova B, Zak A (2011). Fatty acids as biocompounds:



- Their role in human metabolism, health and disease—A review. Part 1: KLAssification, dietary sources and biological functions. Biomed. Pap. Med. Fac. Univ. Palacky. Olomouc Czech. Repub, 155, 117–130.
112. Van Nieuwenhove C, González SN, Bardón A (2004) Conjugated linoleic acid detection produced by dairy starter cultures. In: Walker JM, Spencer JFT, Ragout de Spencer A.L. (eds) Environmental Microbiology. Methods in Biotechnology, vol 16. Humana Press.
 113. Wang T, Lim JN, Lee JS, Lee SB, Hwang JH, Jung US, Kim MJ, Hwang DY, Lee SR, Roh SG, Lee HG (2015). Effects of dietary trans9 octadecenoic acid, trans11 vaccenic acid and cis9, trans11 conjugated linoleic acid in mice. Mol Med Rep 12(2):3200-6.
 114. Wang YW, Jones PJ (2004). Conjugated linoleic acid and obesity control: efficacy and mechanisms. Int J Obes Relat Metab Disord 28(8):941-955.
 115. Wargent E, Sennitt MV, Stocker C, Mayes AE, Brown L, O'Dowd J, Wang S, Einerhand AW, Mohede I, Arch JR, Cawthorne MA (2005). Prolonged treatment of genetically obese mice with conjugated linoleic acid improves glucose tolerance and lowers plasma insulin concentration: possible involvement of PPAR activation. Lipids Health Dis 4:3, 1-14
 116. Watras AC, Buchholz AC, Close RN, Zhang Z, Schoeller DA (2006). The role of conjugated linoleic acid in reducing body fat and preventing holiday weight gain. Int J Obes (Lond) 31(3):481-7.
 117. Weldon S, Mitchell S, Kelleher D, Gibney MJ, Roche HM (2004). Conjugated linoleic acid and atherosclerosis: no effect on molecular markers of cholesterol homeostasis in THP-1 macrophages. Atherosclerosis 174(2):261-73.
 118. Whigham LD, Watras AC, Schoeller DA (2007). Efficacy of conjugated linoleic acid for reducing fat mass: a meta-analysis in humans. Am J Clin Nutr 85(5):1203-1211.
 119. Yamasaki M, Ikeda A, Oji M, Tanaka Y, Hirao A, Kasai M, Iwata T, Tachibana H, Yamada K (2003). Modulation of body fat and serum leptin levels by dietary conjugated linoleic acid in Sprague-Dawley rats fed various fat-level diets. Nutrition 19(1):30-35.
 120. Yu Y, Correll PH & Vanden Heuvel JP (2002). Conjugated linoleic acid decreases production of pro-inflammatory products in macrophages: evidence for a PPARγ-dependent mechanism. Biochim Biophys Acta 1581, 89–99.



CHAPTER

3

KARBON FİBER (CFRP) İLE DESTEKLENMİŞ LAMİNE AĞAÇ MALZEMENİN EĞİLME VE YAPIŞMA DİRENCİ

Çağlar ALTAY¹

GİRİŞ

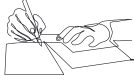
Ahşap lamine malzemeler iki veya daha fazla katmanın tutkalla yapıştırılması ve katmanların lif yönleri birbirine paralel ya da dik gelecek şekilde birleştirilmesi ile elde edilir. Lif yönlerinin paralel gelecek şekilde hazırlanması fazla yaygın olarak kullanılmaktadır (Kurtoğlu vd., 1979). Laminasyon tekniği ağaç malzemenin kusurlarından arındırılarak kullanılmasına imkan sağlamakta ve üretilen malzemenin kalite özellikleri masif ağaç malzemede daha iyi olmaktadır (Keskin ve Togay, 2004). Ağaç malzeme yerine alternatif olarak laminasyon tekniği uygulanırsa, ayrıca laminatede kullanılan papel kaplamalar emprenye edilirse kullanım ömrü artacaktır. (Özçifçi, 2001). Ahşap laminasyon tekniği ağaç malzemenin dış etkenlere karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Günümüzde karbon fiber takviyeli laminasyon işlemleri inşaat sektöründen mobilya sektörüne kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır.

Karbon lifleri inşaat sektöründe daha çok kolon mantolama ve perde yöntemlerinde kullanılmaktadır. Dünya çapında ise bunlara ek olarak daha çeşitli yöntemler de kullanılmaktadır. FRP (Fiber takviyeli polimerler) isimli kompozitler ile kuvvetlendirme ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Genelde karbon fiber (karbon lifi) adıyla bilinen bu materyaller hafif, yüksek mukavemetli, liflerin dizilim yönleri değiştirilerek dayanıklılığı ayarlanabilen, ince, uygulaması hızlı ve pratik, korozyona dayanıklı, uzun ömürlü yeni nesil maddelerdir. Cam lifi de betonarme yapılarda tahribata uğramış kısımlarının güçlendirilmesi, taşıyıcı yapı elemanlarının taşıma gücü kapasitelerinin artırılması, yüksek hidrostatik basınca dayanıklı alt yapı borularının üretimi gibi çok fazla alanda kullanılmaktadır. Cam lifi yapılarda aynı zamanda yangına karşı önemli mukavemet sağlamaktadır. Cam lifinde korozyon olayı söz konusu olmamaktadır (Güler ve Subaşı, 2012).

Bu çalışmada, ahşap yapı elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan karbon fiber (CFRP) takviye uygulamasının lamine elemanların eğilme ve yapışma direnci üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Karbon Fiber Elyaf Üretim Yöntemleri ve Kullanımı

Karbon fiber (CFRP) ipliksi bir maddedir. Ana bileşimleri orlon, katran ve naylondur. Lif takviyeli malzemelerde kullanılan karbon lifleri düşük yoğunluktaki hafif reçineleri takviye etmede kullanılır. Genellikle epoksi reçineleri matris malzeme olarak kullanılmakla beraber, bazende polyester reçineleri kullanılır.



maktadır. Karbon liflerinin takviye elemanı olarak kullanılması grafit kristalinin karakteristik sonucudur. Karbon grafit kristali altıgen hegzagonal katlı bir yapıda olup, her köşedeki karbon atomları birbirlerine kovalent, katlar ise Vander Waals bağlarıyla bağlanmıştır. Bu şekilde bir düzenleme yüksek elastikiyet modülüne sahip karbon lifi üretmek için gereklidir (Kılıç, 2006). Tablo 1’de karbon fiber (CFRP) yapı malzemesinin bazı mekanik özellikleri verilmiştir. (Özdemir,2005)

Tablo 1. Karbon fiber (CFRP) malzemesinin bazı mekanik özellikleri

Özellikler	Miktar	Birimi
Birim Ağırlık	0,30	kg/mm ²
Etkili Kalınlık	0,17	Mm
Çekme Dayanımı	3,43	Mpa
Elastikiyet Modülü	230,05	Mpa
Gerilme Dayanımı	0,02	mm/mm

Termoset matrisli kompozitlerin birçok üretim yöntemleri vardır. Bu üretim yöntemlerinden bazıları aşağıda açıklanmıştır. Termoset matrisli kompozit malzemesinin üretiminde matris malzemesi genellikle epoksi, doymamış polyester ve vinil ester kullanılır (Kılıç, 2006). Bu çalışmada kullanılan karbon fiber yapı malzemesi aşağıda verilen yöntemlerden elyaf sarma sistemi ile üretilmiştir.

El Yatırma Yöntemi; Kompoziti hazırlamak için kalıp gereklidir. Kalıbın iç yüzeyi silindikten sonra birinci ayırıcı olarak vaks ile temizlenir. Daha sonra ikinci ayırıcı PVA sürülür. Fırça ile viskozitesi yüksek reçine (jelkot) sürüldükten sonra fiberler kesilerek hazırlanır. Jelkot üzerine reçine sürülür ve keçe veya dokuma şeklindeki takviye elemanı yerleştirilir. Fırça darbeleriyle reçine iyice emdirilir. Rulo kullanılarak hava kabarcıklarının kalmaması sağlanır. İstenilen kalınlık sağlanana kadar bu işleme devam edilir. Bu yöntemde en çok polyester ve epoksi reçine kullanılır. Sertleşme beklendikten sonra ürün kalıptan çıkarılır. Bu yöntem yoğun işçilik gerektiren bir yöntemdir ve az sayıda parça üretimi için uygundur. Şekil 1’de el yatırma yöntemi ve bu üretim yöntemine örnek bir kayak gösterilmiştir (Kılıç, 2006).

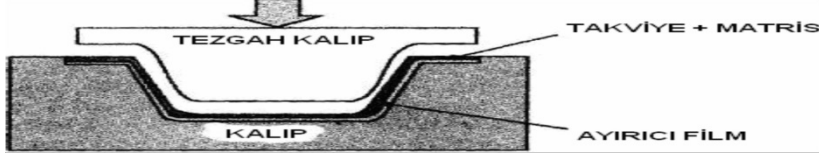


Şekil 1. El yatırma düzeneği.

Püskürtme Yöntemi; Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin aletli şekli olarak kabul edilebilir. El yatırma yöntemine benzer açık kalıplama düşük ve orta hacimdeki tekneler ve kayıklar, tanklar, duş ünitesi ve daha büyük karmaşık şe-

killi ise bu teknik el yatırma tekniğinden daha iyidir. Bu tekniğin avantajı, basit, maliyeti düşük olması, taşınabilir aygıt ve parça boyutu sınırlamasının olmamasıdır. (Şahin, 2000)

Hazır Kalıplama Yöntemi; Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar bir çok ürün bu yöntemle üretilmektedir. Şekil 2'de hazır kalıplama şeması görülmektedir. (Kılıç, 2006)



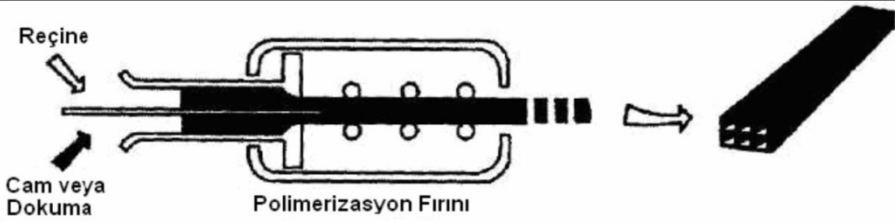
Şekil 2. Hazır kalıplama düzeneği.

Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi; Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilir. Formula 1 (F1) arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır. Şekil 3'de reçine transfer kalıplama düzeneği ve bu yöntemle üretililecek parça görülmektedir. (Yıldızhan, 2008)



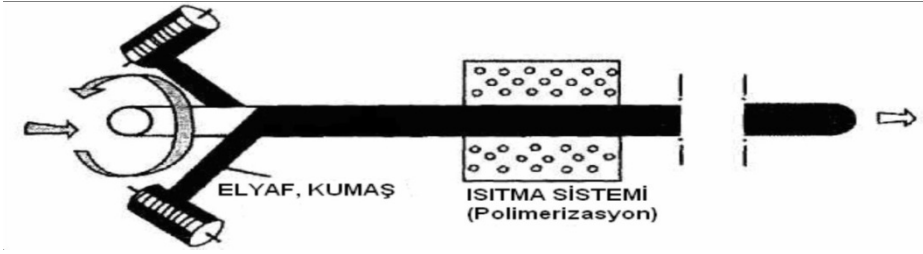
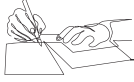
Şekil 3. Reçine transfer kalıplama düzeneği.

Profil Çekme Yöntemi; Profil çekme yöntemi Şekil 1.4'de şematik olarak verilmiştir. Bu yöntemde reçine malzemesi olarak genellikle polyester, vinil ester ve epoksi kullanılır. Takviye malzemesi olarakta sürekli fiber malzemesi kullanılır. (Kılıç, 2006)



Şekil 4. Profil çekme düzeneği.

Elyaf Sarma Yöntemi; Bu yöntemle yapılan ürünler, füze boruları, petrol nakli için borular, yat direkleri, uçak, su tankları, spor aletleri vb. ürünlerdir. Şekil 5'de elyaf sarma şeması ve Şekil 6'da bu yöntemle elde edilen spor malzemesi görülmektedir. (Yıldızhan, 2008)

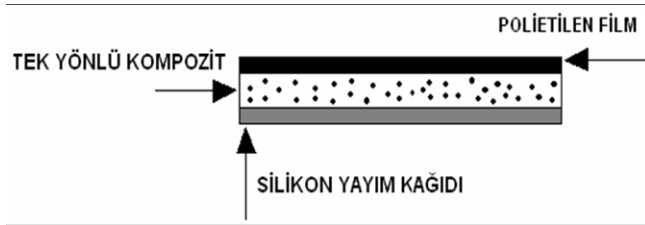


Şekil 5. Elyaf sarma düzeneği.



Şekil 6. Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması.

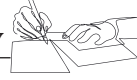
Tabakalı Birleştirme Yöntemi; Açık yapılar şekillenmiş kalıp yüzeyi ile ısıtılmış zımba arasında sıcak presleme usulü ile uygun şekilde üretilir. Ön gömülmüş elyaf (prepreg)'lerin reçine ile doyurulması ile preslenir veya sarılarak üretilir. Üretim şeması Şekil 7'de verilmiştir.(Kılıç, 2006)



Şekil 7. Tabakalı birleştirme şeması.

Ahşap Malzemenin Karbon Fiber (Cfrp) İle Laminasyon İlişkisi

Lamine ahşap malzeme TS EN 386 (1999)'da odun lamellerinin özellikle liflerin paralel olarak yapıştırılması ile elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır. Laminasyonda daha büyük boyutlu ahşap elemanlar kullanıldığında bunlar glulam olarak adlandırılır. Glulam, masif kerestelerin büyük boyut oluşturmak için uç uca, yan yana ve üst üste eklenmesiyle üretilen bir yapı elemanıdır. Kavisli elemanlarda 2,54 cm kalınlıkta keresteler kullanılırken az kavisli yada düz ele-

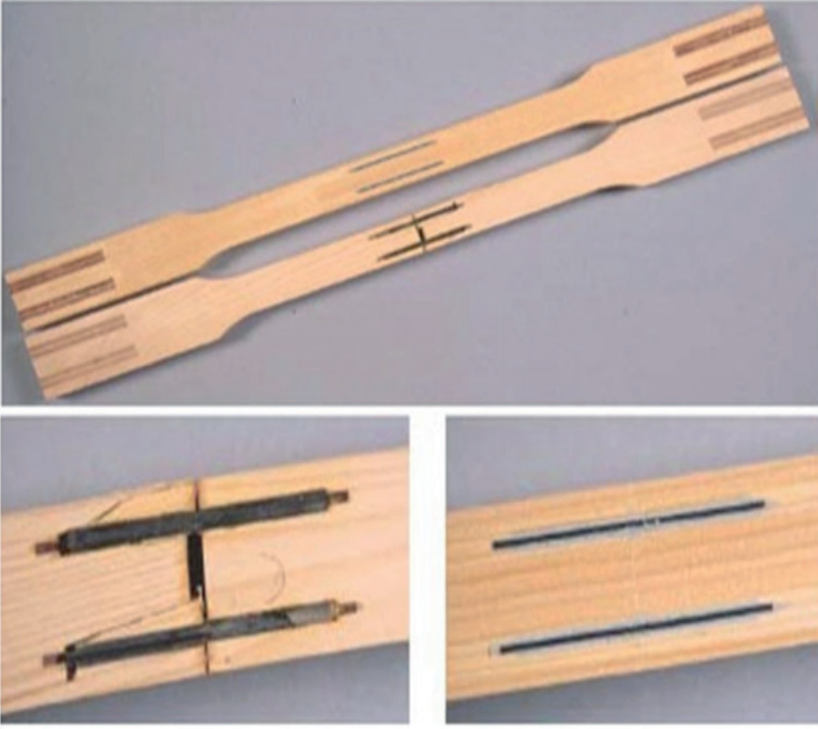
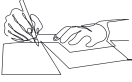


manlar için 5 cm kalınlıkta keresteler kullanılmaktadır. Bu tip yapı elemanlarının lif yönüne paralel düzenlenmesi zorunludur (Guller, 2001). Bununla birlikte ağaç malzemede karbon fiber yapı malzemesi lamine katmanların ve köşe birleştirmelerin arasına ve etrafına olmak üzere çeşitli yöntemlerle uygulanabilir. Karbon fiberin ahşap malzemede mukavemetini ölçmek için çeşitli deneyler yapılmaktadır.

Şekil 8 ve Şekil 9’da fiber takviyeli plastikler ahşap katmanların ve köşe birleştirmelerinin arasına eklenerek yapılan FRP’lerle güçlendirme yöntemleri ile ahşap laminasyonda olumlu sonuçlar alınmıştır. (Akgül, 2007).



Şekil 8. Eğilme deneyine tabi tutulan FRP’lerle güçlendirilmiş deney numuneleri



Şekil 9. Çekme deneyine tabi tutulan FRP'lerle güçlendirilmiş deney numuneleri

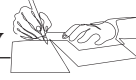
Malzeme ve Yöntem

Ahşap Malzeme

Deney malzemesi olarak, Doğru Kayını (*Fagus Orientalis L.*) kullanılmıştır. Tam kuru yoğunluğu (D_0) $0,68 \text{ g/cm}^3$, hava kurusu yoğunluğu (D_{12}) $0,72 \text{ g/cm}^3$ tür. E-modülü 15700 MPa , eğilme direnci (σ_E) 120 MPa , liflere paralel çekme direnci (σ_g) 132 MPa , liflere paralel basınç direnci (σ_B) 60 MPa 'dır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Yapıştırıcılar

Epoksi yapıştırıcısı, Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. İnce tip uygulamalarda, katı malzemelerin parlak yüzeylere yapıştırılmasında kullanılan, kimyasallara karşı dayanıklı, betona, ahşaba, çeliğe ve plastik malzemelere mükemmel yapışma sağlayan, istenen mekanik mukavemete çok hızlı ulaşan çift bileşenli bir yapıştırıcıdır. Epoksi beton elemanlarının, demir, çelik ve benzeri metallerin, ahşap ve cam çeşitlerinin yapıştırılmasında, ağır ve orta yüke maruz kalacak montaj işlemlerinde CFRP ile kullanılır. Yoğunluğu 20°C 'de $1,5 \text{ g/cm}^3$, viskozitesi 1100 mPas 'dır. Kullanım şekli 200 g/m^2 olarak firma önerisine uyulmuştur. Nem kirlenmeli poliüretan



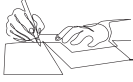
yapıştırıcısı, SBC Kimya Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Bu yapıştırıcı NCO grubuna sahip izosiyanatlar ile OH grubuna sahip poliollerin reaksiyonları sonucu oluşan (plastik) polimerlerdir. Katılım reaksiyonu, tamamen bir polimerizasyon reaksiyonudur. İzosiyanatlar, NCO yüzde içeriğine ve fonksiyonuna yada bir moleküldeki NCO sayısına bakılarak adlandırılır. NCO sayıları izosiyanatların ayırt edici bir özelliğidir. Ayrıca bu yapıştırıcı, suya ve neme karşı dayanıklı, çözücü içermeyen, tek kompenantlı poliüretan esaslı bir tutkal olup, deniz ve göl vasıtalarında, binaların dış cephe, metal ve ahşap kısımlarının montaj ve onarımlarında tercih edilmektedir. Yoğunluğu 20°C'de $1,11 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$, viskozitesi 25°C'de $14.000 \pm 3.000 \text{ mPas}$, 20°C±2 sıcaklık ve %65±3 bağıl nem ortamında 30 dakika sertleşmektedir. Üretici firma önerilerine göre bu tutkal ambalaj viskozitesinde ve 150 g/m^2 yüzeylerden emiciliği yüksek olana sürülmesi ve kurumuş satırların hafifçe nemlendirilmesi önerilmektedir. Nem kürlenmeli Poliüretan yapıştırıcısı endüstride D-VTKA olarak da bilinmektedir.

Karbon Fiber (CFRP) Yapı Malzemesi

Bu çalışmada CFRP yapı malzemeleri incelenmiş ve yapılacak güçlendirme çalışmasına uygun ebat ve form olarak 1,2 mm kalınlığında, 300 g/m^2 yoğunlukta düz desenli CFRP yapı malzemeleri, Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Metallere göre oldukça düşük yoğunlukta, çeliğe göre mukavemeti yüksek, aşırı katı olup yüksek aşınma direncine sahiptir. Ayrıca kimyasal dirençleri fazla, hafif ve sınırsız boyda üretim yapılabilir. Karbon lifi takviyeli kompozit malzemeler genellikle; uçak sanayisinde, roket ve uydur yapımında, otomotiv sanayisinde ve birçok spor malzemelerinin yapımında kullanılır (Yıldızhan, 2008).

Deney Örneklerinin Hazırlanması

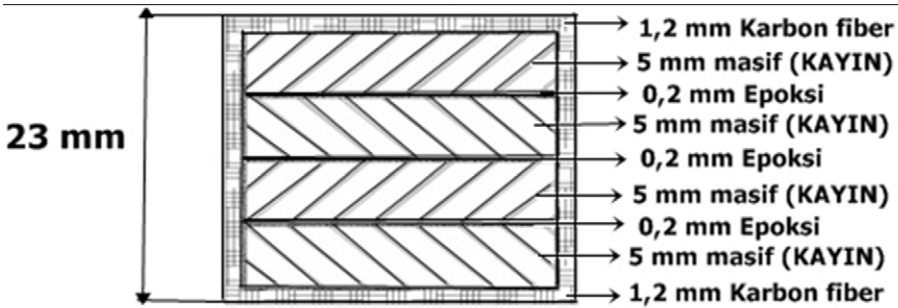
Deney örnekleri TS 2470 standartlarına göre, Karabük sanayisindeki kereste işletmelerinden "Rastgele seçim" yöntemiyle temin edilmiştir. Kullanılan ağaç malzemenin de birinci sınıf çatlaksız ve budaksız olmasına dikkat edilmiştir. Odun örnekleri $5 \times 70 \times 1200 \text{ mm}$ olarak kaba ölçülerde daire testere makinesinde kesilmiştir. Kesilen örnekler nem kürlenmeli poliüretan ve çift bileşenli epoksi yapıştırıcıları ve karbon fiber yapı malzemesi eklenerek lamine edilmiştir. Çalışmada kullanılan çift bileşenli Epoksi yapıştırıcısının a bileşeni (reçine) ve b bileşeni (sertleştirici) $1/1$ oranında açık gri rengi alana kadar karıştırılıp ve uygulanan yüzeye 200 g/m^2 olacak şekilde spatula yardımıyla sürülmüştür. Aynı zamanda CFRP yapı malzemesi hazırlanırken liflerinde kopma meydana gelmeyecek şekilde maket bıçağı ile düzgün kesim yapmaya dikkat edilmiştir. Kesilen CFRP yapı malzemesi lamine katmanların arasına ve etrafına epoksi yapıştırıcısı ile yapıştırılmıştır. Örnekler $2,5 \text{ kg/cm}^2$ pres basıncı, 20 °C derece sıcaklık ve 60 dakika bekleme süresi altında prese verilmiştir. Bununla birlikte elde edilen örnekler her deney grubu için uygun standartlarda istenilen ölçülere getirilmiştir. Çalışmada Tablo 2 ' de deney türlerine ait lamine örneklerin adetleri verilmiştir.



Tablo 2. Deney türlerine ait lamine örneklerin adetleri.

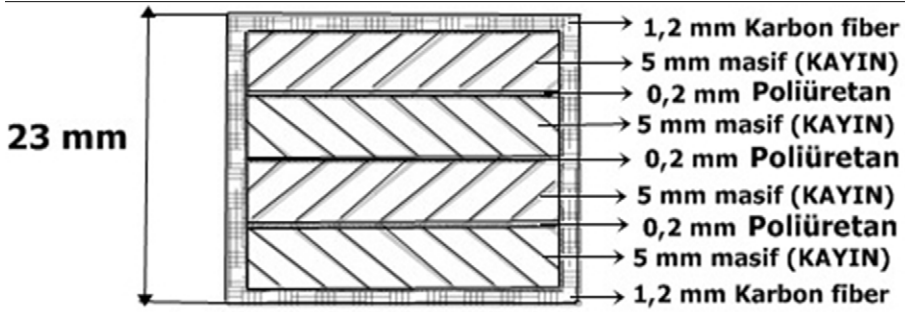
Deney Türü	Örnek Türü	Adet
Statik Eğilme direnci deneyi ve eğilmede elastikiyet modülü	Epoksi etrafı CFRP	10
	Poliüretan etrafı CFRP	10
	CFRP+Epoksi	10
	Epoksi	10
	Poliüretan	10
Yapışma direnci deneyi	Epoksi etrafı CFRP	10
	Poliüretan etrafı CFRP	10
	CFRP+Epoksi	10
	Epoksi	10
	Poliüretan	10
Yanma direnci deneyi	Epoksi etrafı CFRP	10
	Poliüretan etrafı CFRP	10
	CFRP+Epoksi	10
	Epoksi	10
	Poliüretan	10
Dinamik eğilme (Şok) direnci deneyi	Epoksi etrafı CFRP	10
	Poliüretan etrafı CFRP	10
	CFRP+Epoksi	10
	Epoksi	10
	Poliüretan	10
Boyutsal kararlılık testleri	Epoksi etrafı CFRP	10
	Poliüretan etrafı CFRP	10
	CFRP+Epoksi	10
	Epoksi	10
	Poliüretan	10
		Toplam 250

Epoksi etrafı CFRP kaplamalı örnek türü hazırlanırken, 5 mm kalınlığındaki masif (kayın) odunları arasına 0,2 mm kalınlığında çift bileşenli Epoksi yapıştırıcısı sürülmüş ve lamine edilen kayın odunu katmanlarının etrafına 1,2 mm kalınlığında karbon fiber (CFRP) yapı malzemesi kaplanmıştır (Şekil 10).



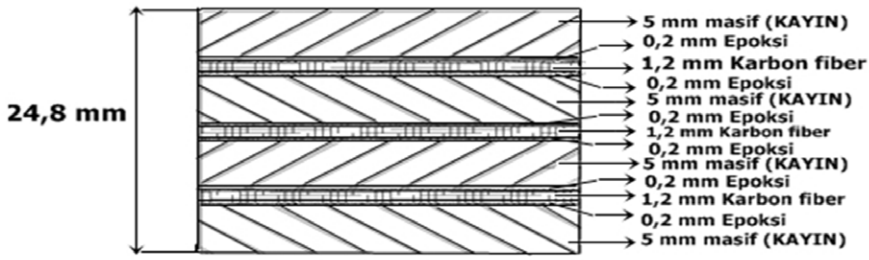
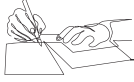
Şekil 10. Epoksi etrafı CFRP kaplamalı örnek türü.

Poliüretan etrafı CFRP kaplamalı örnek türü hazırlanırken, 23 mm kalınlığında lamine edilen masif (kayın) odunları arasına 0,2 mm kalınlığında poliüretan yapıştırıcısı nüfuz edilmiş ve lamine katmanların etrafına 1,2 mm kalınlığında karbon fiber (CFRP) yapı malzemesi ile kaplanmıştır (Şekil 11).



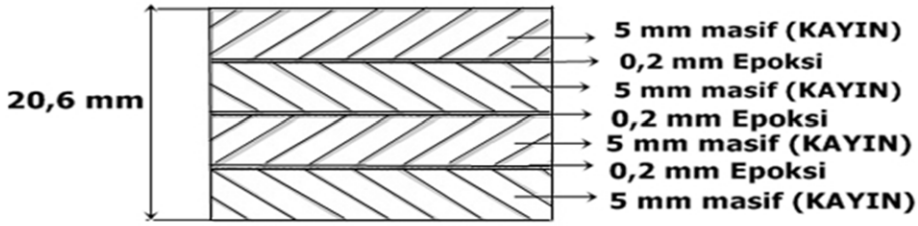
Şekil 11. Poliüretan etrafı CFRP kaplamalı örnek türü.

CFRP+Epoksi yapıştırıcılı örnek türü hazırlanırken, kayın odunu katmanlarının arasına CFRP yapı malzemesi ve Epoksi yapıştırıcısı eklenmiş ve 4 katman halinde lamine örneği elde edilmiştir (Şekil 12.).



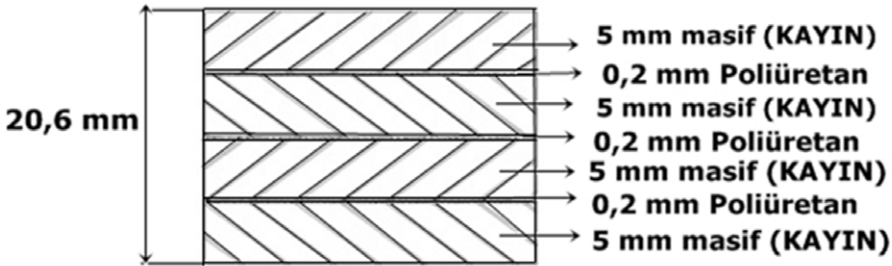
Şekil 12. CFRP+Epoksi yapıştırıcılı örnek türü.

Epoksi yapıştırıcılı örnek türü hazırlanırken 5 mm kalınlığındaki masif (kayın) odunları arasına 0,2 mm kalınlığında çift bileşenli Epoksi yapıştırıcısı eklenerek lamine elde edilmiştir (Şekil 13.).



Şekil 13. Epoksi yapıştırıcılı örnek türü.

Poliüretan yapıştırıcılı örnek türü hazırlanırken kayın odunu örneklerinin arasına 0,2 mm kalınlığında poliüretan yapıştırıcısı eklenerek elde edilmiştir (Şekil 14.).



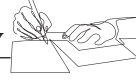
Şekil 14. Poliüretan yapıştırıcılı örnek türü.

Deney Metodu

Deney örneklerinin hava kurusu yoğunlukları belirlendikten sonra, liflere dik doğrultuda, 1) Statik eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü deneyi, 2) Yapışma direnci deneyi, 3) Yanma direnci deneyi, 4) Dinamik eğilme (şok) direnci deneyi ve 5) Boyutsal kararlılık testleri uygulanmıştır.

Statik Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü Deneyi

Statik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deneyi TS 2474 standartlarına uygun olarak örnekler, 20x20x360 mm ölçülerinde lamine edilerek



hazırlanmıştır. Daha sonra örnekler universal test cihazında yerleştirildiği mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık, deney parçası kalınlığının 10 katı olacak şekilde ayarlanmıştır. Yük, deney parçasının radyal yöndeki yüzüne mesnetler arasındaki açıklığın orta yerinden uygulanmıştır. Örnekler yükleme anından itibaren 6 mm/dak. hızında yapılmıştır. Deney örneklerinin tam ortasında kırılma olduğu anda deney sonuçlandırılmıştır. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün hesaplanmasında aşağıda verilen eşitliklerden yararlanılmıştır.

Statik eğilme direnci deneyi için formül 1' den faydalanılmıştır.

$$F_m = \frac{3 \times F_{\max} \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (N/mm^2) \quad (1)$$

Burada;

$$F_m = \text{Eğilme direnci } (N/mm^2)$$

$F_{\max}$ = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N) L = Dayanak eksenleri arasındaki mesafe (mm) b= Deney örneğinin genişliği (mm)

h= Deney örneğinin kalınlığı (mm)

Elastikiyet modülü için formül 2' den yararlanılmıştır.

$$E_m = \frac{L^3 \times (F_2 - F_1)}{4 \times b \times h \times (a_2 - a_1)} \quad (N/mm^2) \quad (2)$$

Burada;

$$E_m = \text{Eğilmede elastikiyet modülü } (N/mm^2)$$

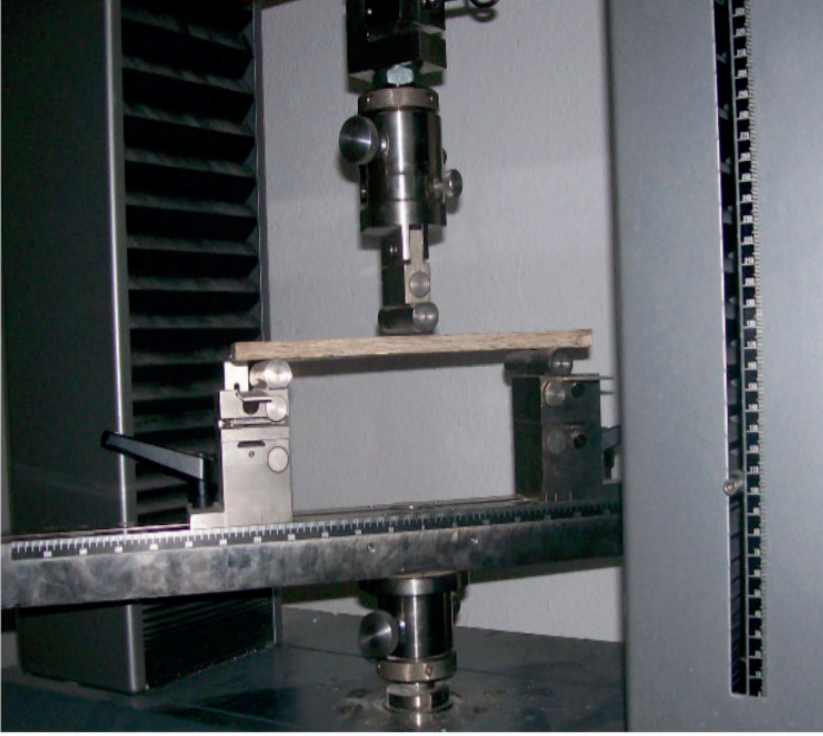
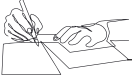
L_1 = Dayanak eksenleri arasındaki mesafe (mm) b= Örnek genişliği (mm)

h= Örnek kalınlığı (mm)

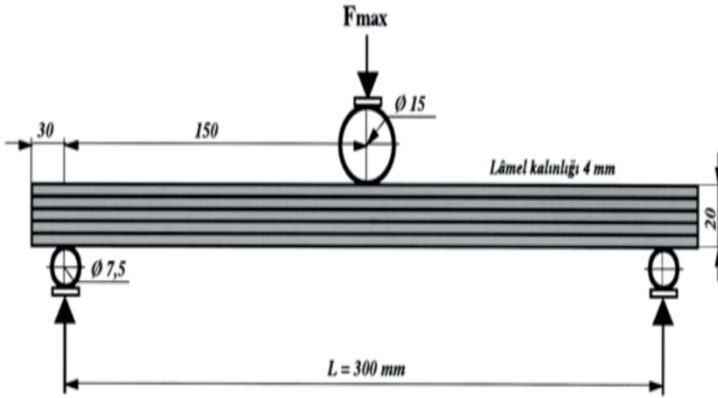
$F_2 - F_1$ = Yük-sehim diyagramı oranlılık bölgesindeki yük artışı (N)

$a_2 - a_1$ = Kuvvet artışları nedeniyle örnek uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim farkıdır (mm).

formüllerine göre hesaplanıp bilgisayardan otomatik elde edilmiştir. Bu deney cihazı Şekil 15'de ve deney düzeneği Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 15. Statik eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü deney cihazı.



Şekil 16. Statik eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü deney düzeneği

Yapışma Direnci Deneyi

Yapışma direnci deney örnekleri, BS EN 204 ve BS EN 205 standartlarında, 10x20x150 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Daha sonra örnekler universal test cihazında yapışma yüzeyine 3 mm/dk yükleme hızıyla çekme mukavemeti uygulanarak yapıştırıcı hattından koparılmaya çalışılmıştır. Kopma anındaki maks-

mum kuvvet (F_{max}) tespit edilerek yapışma direnci (σ_y)'nin tespitinde formül 3 kullanılmıştır.

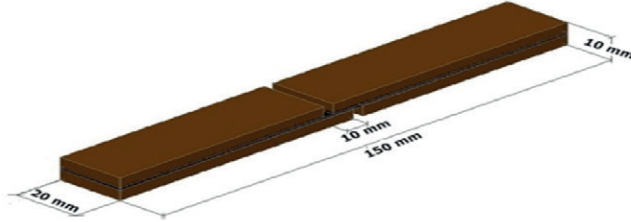
$$\sigma_y = F_{max} / A = N/mm^2 \quad (3)$$

Burada; $A = a \times b$ = yapışma yüzey alanı (mm^2)

F_{max} = uygulanan kuvveti (N/mm^2), değerlerini ifade etmektedir. Bu deney cihazı Şekil 17'de ve deney örneği Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 17.Yapışma direnci deney cihazı.



Şekil 18.Yapışma direnci deney örneği (BS EN 204, 205).

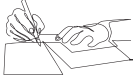
Sonuçlar

Statik Eğilme Direnci Deneyine Ait Sonuçlar

Örneklerin hazırlanmasında belirlenen üretim şartları ve bunun sonucunda elde edilen eğilme direnci değerlerine ait aritmetik ortalama değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Eğilme direnci deneyine ait aritmetik ortalama değerleri (N/mm^2).

No	Örnek Türü	Eğilme Direnci (N/mm^2)	Standart Sapma
1	Epoksi etrafı CFRP	129,10	13,51
2	Poliüretan etrafı CFRP	124,96	20,06
3	CFRP+Epoksi	132,80	29,73
4	Epoksi (Kontrol)	101,10	3,46



5	Poliüretan (Kontrol)	93,80	4,95
---	----------------------	-------	------

Tablo 3'e göre aritmetik ortalama değerlerinde farklılık olduğu tespit edilmiş ve bu farklılığın hangi faktörden kaynaklandığını belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 4 'de verilmiştir.

Tablo 4. Eğilme direnci deneyine ait varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri ($p \leq 0,05$)
Etkileşim	647908,13	1	647908,13	2151,01	0,00
Tutkal	327,070	1	327,07	1,086	0,03
Kaplama	10839,19	2	5419,59	17,99	0,00
Tutkal * Kaplama	24,996	1	24,99	0,08	0,02
Hata	13554,45	45	301,21		
Toplam	702981,43	50			

Varyans analizi sonuçlarına göre, ağaç malzeme türü, tutkal türü ve tutkal-kaplama etkileşimlerinin eğilme direnci üzerine etkisi ($p \leq 0,05$) önemli olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple gruplar arasında farklılığı belirlemek için, elde edilen verilere Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 5 'de verilmiştir.

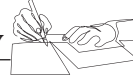
Tablo 5. Eğilme direnci deneyine ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2).

Örnek Türü	Ortalama Değer (N/mm^2)	Homojenlik Grubu
CFRP+Epoksi	132,80	A
Epoksi etrafı CFRP	129,10	AB
Poliüretan etrafı CFRP	124,96	B
Epoksi (Kontrol)	101,10	C
Poliüretan (Kontrol)	93,80	CD

LSD:3,7

Duncan testi sonuçlarına göre; lamine örneklerin eğilme direnci en fazla CFRP+Epoksi yapıştırıcısı kullanılan örneklerde ($132,80 N/mm^2$) elde edilmiştir. Ancak istatistiksel olarak poliüretan ile epoksi tutkallı örnekler aynı homojenlik grubunda bulunmuştur. Bununla birlikte; CFRP+Epoksi yapıştırıcılı, Epoksi yapıştırıcılı ve etrafı CFRP kaplamalı, poliüretan yapıştırıcılı ve etrafı CFRP kaplamalı örneklerde istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Mıstak (2013), yaptığı çalışmada sarıçam ağaç malzemesiyle ve farklı fiber (FRP) kumaşları ile lamine katmanlar elde ederek eğilme dirençlerini incelemiştir. Bunun sonucunda poliüretan esaslı reçine ve karbon fiber kumaş (CFRP) ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinde en yüksek direnci $81,54 N/mm^2$ elde etmiştir. Premrov et al. (2003), yaptıkları benzer bir çalışmada, karbon fiber ile güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının CFRP ile güçlendirilmesi sonucu lamine elemanların eğilme direncinde %50 oranında daha yüksek bir dayanım elde etmişlerdir.

Literatürde lamine ahşap köprü kirişleri eğilme ve kesmeye karşı cam takviyeli kompozitlerle güçlendirildikten sonra %25 daha fazla dayanım elde edilmiştir (Radford et al., 2001). Buna göre lamine elemanların ara katmanlarına yerleştirilen CFRP malzemesi örneklerin eğilme direncini artırdığı literatürde-



ki bilgilerle desteklenmektedir. Bunun nedeni, CFRP yapı malzemesinin yüksek aşınma direnci ile Epoksi yapıştırıcısının yüksek kopma direncine sahip olması lamine elemanların eğilme direncini olumlu yönde etkilediği söylenebilir.

Eğilme Direncinde Elastikiyet Modülüne İlişkin Sonuçlar

Uygun sıcaklık ve pres basıncı altında lamine edilen örneklerin eğilme direncinde elastikiyet modülüne ilişkin aritmetik ortalama değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Eğilme direncinde elastikiyet modülüne ait aritmetik ortalama değerleri (N/mm^2).

No	Örnek Türü	Elastikiyet Modülü (N/mm^2)	Standart Sapma
1	Epoksi etrafı CFRP	14004,83	1418,97
2	Poliüretan etrafı CFRP	13457,65	2828,57
3	CFRP + Epoksi	13351,93	1758,35
4	Epoksi (Kontrol)	9929,99	470,32
5	Poliüretan (Kontrol)	9272,85	1112,31

Yapılan deneyler sonucu lamine örnekler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmuştur. Farklılık bulunan türlerin elastikiyet modülü üzerine etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Eğilme direncinde elastikiyet modülüne ait varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri ($p \leq 0,05$)
Etkileşim	6,86	1	6,86	2356,95	0,00
Tutkal	3625972,67	1	3625972,67	1,24	0,00
Kaplama	1,83	2	9,16	31,46	0,00
Tutkal * Kaplama	30225,25	1	30225,25	0,01	0,00
Hata	1,31	45	2912910,15		
Toplam	7,53	50			

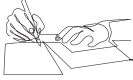
Tutkal türü ile tutkal-kaplama etkileşiminin elastikiyet modülü üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Önemli çıkan gruplar içerisinde farklılıkları belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Eğilme direncinde elastikiyet modülüne ait Duncan testi sonuçları (N/mm^2).

Örnek Türü	Ortalama Değer (N/mm^2)	Homojenlik Grubu
Epoksi etrafı CFRP	14004,83	A
Poliüretan etrafı CFRP	13457,65	A
CFRP+Epoksi	13351,93	A
Epoksi (Kontrol)	9929,99	B
Poliüretan (Kontrol)	9272,85	B

LSD: 3421,94

Duncan testi sonuçlarına göre, katmanlar arası epoksi yapıştırıcılı ve etrafı CFRP kaplamalı olan lamine malzemenin eğilmede elastikiyet modülü ($14004,83 N/mm^2$) en yüksek olduğu belirlenmiştir. Buna göre CFRP malzemesi lamine



ağaç malzemenin elastiklik özelliğini artırıp, daha rijit (sert) hale getirmiştir. Bu da eğilme direncini artırmaktadır. Muratoğlu (2011), yaptığı benzer bir çalışmada tarihi yapıların restorasyonunda yapılan güçlendirme işlemlerinde karbon fiber takviyeli şerit çubuk (CFRP) ve çift bileşenli epoksi yapıştırıcısı ile yüksek dayanım elde etmiştir. CFRP yapı malzemesi ahşap malzemenin zorlanmaya maruz kalan kısımlarına olumlu katkı sağladığı ve mukavemetini artırdığı literatürdeki bilgilerle desteklenmiştir. Epoksi yapıştırıcısının poliüretan yapıştırıcısına göre daha fazla direnç sağlamasının nedeni, kohezyon gücünün ve kopma mukavemetinin daha yüksek olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca ahşap lamine katmanların etrafına CFRP sarıldığında CFRP' nin yüksek germe ve sıkıştırma dayanımı ile yüksek kopma uzamasına sahip olmasından dolayı daha fazla direnç sağladığı söylenebilir.

Yapışma Direnci Deneyine İlişkin Sonuçlar

Yapışma deneyleri sonucunda lamine edilen gruplara ait yapışma direnci ortalama değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Yapışma direnci deneyine ait aritmetik ortalama değerleri (N/mm^2).

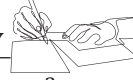
No	Örnek Türü	Yapışma Direnci (N/mm^2)	Standart Sapma
1	Epoksi etrafı CFRP	21,09	1,82
2	Poliüretan etrafı CFRP	20,03	1,22
3	CFRP+Epoksi	22,77	1,15
4	Epoksi (Kontrol)	12,82	1,61
5	Poliüretan (Kontrol)	10,60	10,9

Lamine örneklerin yapışma direnci en fazla ($22,77 N/mm^2$) CFRP+Epoksi ile yapıştırılan örneklerde, en az ($10,60 N/mm^2$) poliüretan ile yapıştırılan örneklerde bulunmuştur. CFRP ve yapıştırıcı çeşidinin yapışma direnci üzerine etkisini belirlemek için yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Yapışma direncine ait varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri ($p \leq 0,05$)
Etkileşim	4621,41	1	4621,41	4498,16	0,00
Tutkal	25,89	1	25,89	25,20	0,00
Kaplama	3042,72	2	1521,36	1480,78	0,00
Tutkal * Kaplama	25,89	1	25,89	25,20	0,00
Hata	46,23	45	1,02		
Toplam	7801,24	50			

Varyans analizi sonuçlarına göre, kaplama, tutkal ve tutkal-kaplama etkileşimlerinin yapışma direnci üzerine etkisi %95 güven aralığında önemli olduğu belirlenmiştir. Bunlara ait Duncan testi sonuçları ise Tablo 11' de verilmiştir.

Tablo 11. Yapışma direncine ait Duncan testi sonuçları (N/mm²).

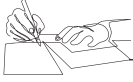
Örnek Türü	Yapışma Direnci (N/mm ²)	Homojenlik Grubu
CFRP+Epoksi	22,77	A
Epoksi etrafı CFRP	21,09	A
Poliüretan etrafı CFRP	20,03	A
Epoksi (Kontrol)	12,82	B
Poliüretan (Kontrol)	10,60	B

LSD: 7,21

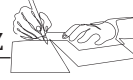
Duncan testi sonuçlarına göre; poliüretan ile epoksi yapıştırıcılı örnekler aynı homojenlik grubunda bulunmuştur. Lamine katmanlarda kullanılan yapıştırıcı çeşidi CFRP kaplaması yapılmayan lamine örneklerinde herhangi bir etki göstermemiştir. Özçifçi ve Okçu (2008), yapmış oldukları bir çalışmada *Quercus petraea* L. ve *Castanea sativa* Mill. odunlarını boraks ve çinko klorürle emprenye etmişler ve poliüretan esaslı D-VTKA ile yapıştırmışlar. Sonuçta bu maddelerin yapışma direnci üzerinde olumsuz etkiye sahip olduklarını belirtmişlerdir. Bunun nedeninin emprenye maddelerinin tutkal tabakası ve yüzey arasındaki bağları zayıflatmasından kaynaklandığını bulmuşlardır. Literatürde yapılan benzer bir çalışmada ahşap yapılarda yüksek performanslı karbon fiber takviyeli polimerlerin epoksi ile ahşaba yapıştırılma uygulamasında optimum sıcaklıkta en iyi güçlendirme (19,01 N/mm²) özellikleri belirlenmiştir (Steiger, 2003). Burada epoksi yapıştırıcısı poliüretan yapıştırıcısına göre yapışma direncine daha fazla direnç göstermiştir. Genel olarak CFRP yapı malzemesi ve Epoksi yapıştırıcısı ile lamine edilen ahşap malzemenin yapışma direncini kuvvetlendirdiği literatürde ki bilgilerle benzerlik göstermiştir. Bunun nedeni, Epoksi yapıştırıcısının düşük ve yüksek sıcaklıklarda hızlı sertleşebilmesi, ahşap yüzeylere çok iyi yapışabilmesi ayrıca çalışmada kullanılan kayın odununun direnç değerlerinin yüksek olması belirtilebilir. Bununla birlikte, CFRP' nin yüksek çekme ve kopma mukavemetinin olması ve epoksi reçinesi ile birlikte lamine katmanlar arasında kullanılmasıyla yapışma direncini artırdığı söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. Akgül, T., "Ahşapların ve birleşim noktalarının fiber takviyeli polimerlerle güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 13-42 (2007).
2. Bozkurt, A. Y., Erdin, N., "Odun anatomisi", Ders Kitabı, **İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi**, İstanbul, 268-287 (2000).
3. Guller, B., "Odun kompozitleri", **Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, Isparta, 135-160 (2001).
4. Güler, C., Subaşı, S., "Karbon ve cam lifi ile güçlendirilmiş lamine sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)", KSÜ Mühendislik Bil. Der., **Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü**, Düzce, (2012).
5. Keskin, H., Atar, M., Kurt, R., "Lamine Edilmiş Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri", **KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi**, Kahramanmaraş, 5-10 (2003).
6. Keskin, H., Togay, A., "Lamine edilmiş karaçam odununda kesiliş yönünün eğilme



- direnci ve eğilmede elastiklik modülüne etkileri”, **Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi**, Ankara, 13-25 (2004).
7. Kılıç, E., “Kompozit malzemeden yapılan yaprak yayların analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 3-15 (2006).
 8. Kurtoğlu, A., Zorlu, A., Chugg, D., “Yapıştırılmış tabakalı ağaç malzemeler”, **İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi**, İstanbul, 5 (4): 65-69, (1979).
 9. Mistak, O., “Sarıçam ağaç malzeme ve farklı fiber (FRP) kumaşları ile elde edilen lamine ağaç malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 49-66 (2013).
 10. Özçifçi, A., “Emprenye edilmiş lamine Ağaç Malzemenin Teknolojik Özellikleri”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2001).
 11. Özçifçi, A., Okçu, O., “The influence of the impregnating chemicals on the bonding strength of impregnated wood materials”, **Journal of Applied Polymer Science**, 107 (1): 2871-2876 (2008).
 12. Özdemir, G., “Mechanical properties of CFRP anchorages”, **The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University**, Ankara, 22-74 (2005).
 13. Premrov, M., Dobrila, P., Bedenik, B. S., “Analysis of timberframed walls coated with CFRP strips strengthened fibre-plaster boards”, **Faculty of Civil Engineering , Universty of Maribor**, Slononia, 1-12 (2003).
 14. Radforda, D. W., Goethema D. V., Gutkowskib R. M., Petersonc, M. L., “Compositerepair of timber structures”, **Colorado State University, Fort Collins**, USA (2001).
 15. Steiger, R., “Fiber reinforced plastics (FRP) in timber structures”, **Wood Department EMPA**, Switzerland, 1-9 (2003).
 16. Şahin, Y., “Kompozit malzemelere giriş”, Gazi Kitabevi, Ankara, 2-33 (2000).
 17. TS 2470, “Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler”, **Türk Standardları Enstitüsü**, Ankara, 1-5 (1976).
 18. TS 2474, “Odunun statik eğilme dayanımının tayini”, **Türk Standardları Enstitüsü**, Ankara, 1-2 (1976).
 19. Yıldızhan, H., “Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, 3-22 (2008).



HÜCRESEL ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN GELECEK ÇALIŞMA ALANLARI

Onur DERSE¹, Ebru YILMAZ²

GİRİŞ

Hücreyel üretim sistemleri, üretim tesislerinin fiziksel bir bölünmesi olup benzer işlem gereksinimlerine sahip olan parçaların ve makinelerin sırasıyla parça ailelerine ve makine hücrelerine atanmasını amaçlamaktadır (Venkataramanah, 2008). Parçaların işlemlerindeki benzerliklerin dikkate alınarak parça ailelerinin oluşturulup ilişkili makine hücrelerinde bu parçaların işlenmesi sürecinde hazırlık sürelerinde azalmalar meydana gelir. Bunun dışında, hücreyel üretim sistemlerinin kurulumu ile toplam üretim süresinde azalma, malzeme taşıma sürelerinde ve dolayısıyla maliyetlerinde azalma, proses içi stoklarda ve dolayısıyla maliyetlerinde azalma gibi birçok kazanımlar elde edilebilmektedir.

Hücreyel üretim sistemlerinde çizelgeleme konusu, genel olarak, hücreler içerisinde ürün ailelerinin işlemlerinin etkin bir zaman aralığında makinelere atanması ile ilgilenmektedir.

Hücrelerde çizelgeleme problemi daha çok tasarım aşamasında belirlenmesi gereken operasyonel bir özelliktir ve hem tasarım probleminin hem de zamanlama kararlarının zorluğu nedeniyle problem daha da komplike bir özellik taşımaktadır (Ghezavati ve Saidi-Mehrabad, 2010).

Hücreyel üretim sistemlerinde etkin bir çizelgeleme ile kaynakların kullanım oranları iyileştirilebilir. Ayrıca, akış süresinde azalma sağlanabilir ve gecikme gibi durumlar iyileştirilebilir.

Bu çalışmada, hücreyel üretim sistemlerinde çizelgeleme ile ilgili literatürden çeşitli çalışmalar detaylıca değerlendirilerek konu ile ilgili ileriki çalışmalar için çeşitli önerilerde bulunmaktadır.

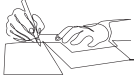
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Aşağıda, hücreyel üretim sistemlerinde çizelgeleme problemine ilişkin literatürden bazı çalışmalar sunulmaktadır:

Mak ve ark. (2007)'nın çalışmalarında, sanal hücreyel üretim sistemlerinin tasarlanabilmesi için üretim hücrelerinin oluşturulması ve üretim çizelgeleme problemleri ile ilgilenilmektedir. İncelenen bu konunun çözümü için karınca kolonisi tabanlı bir algoritma sunulmaktadır. Ayrıca, iş istasyonlarını atamak ve ni-

1 Araştırma Görevlisi; Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, 01330, Balcalı, Sarıçam, Adana, Türkiye

2 Doktor Öğretim Üyesi; Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, 01330, Balcalı, Sarıçam, Adana, Türkiye



hai çizelgeyi oluşturmak için iki tane sezgisel yaklaşım da geliştirilmiştir.

Venkataramanaiah (2008)'nin çalışmasında, akış süresi ve boş süre gibi süre değerlerinin ağırlıklı toplamının minimizasyonu için bir akış hattı tabanlı hücre- sel üretim sisteminin çizelgelenmesi ile ilgilenmektedir. İncelenen bu problem için tavlama benzetimi tabanlı bir algoritma sunulmaktadır.

Ghezavati ve Saidi-Mehrabad (2010), stokastik işlem sürelerinin yer aldığı ve çizelgeleme ile entegre edilen bir hücre sel üretim sistemi problemi için matematik bir model sunmuşlardır. Bu model hücre formasyonunu ve çizelgeleme kararlarını eşzamanlı olarak en iyi duruma getirmektedir. Problem çözümünde genetik ve tavlama benzetimi algoritmaları tabanlı melez bir algoritma sunulmaktadır.

Tavakkoli-Moghaddam ve ark. (2010)'nin çalışmalarında, parçaların farklı hücrelerdeki makineleri ziyaret edebildiği yani hücre sel hareketlerin olduğu bir hücre sel üretim sisteminde çizelgeleme problemi dikkate alınmaktadır. Bu problemin çözümü için dağınık arama tabanlı meta sezgisel bir algoritma sunulmaktadır.

Xing ve ark. (2010), bulanık kısıtları dikkate alan hücre sel üretim sistemle- rinde çizelgeleme problemi ile ilgilenmişlerdir. Çalışmalarında, bulanık çizelge için işlem süresi, teslim tarihi, geciken işler için ceza puanı ve makinelerin boşta kalmasının maliyeti gibi faktörler dikkate alınmaktadır.

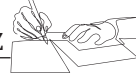
Eguia ve ark. (2013)'nin çalışmalarında, yeniden tasarlanabilir hücre sel üre- tim sistemlerinde hücre formasyon ve parça ailelerin çizelgelenmesi problemlerinin eş zamanlı çözümünü sağlamaya yönelik bir yaklaşım sunulmaktadır. Her iki problemi temsilen bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli öneril- mektedir. Çalışmada tabu arama algoritması sunulmaktadır.

Delgoshaei ve ark. (2016)'nin çalışmalarında, maliyet belirsizliği altında hü- cre sel üretim sistemlerinin çizelgelenmesi ile ilgilenilmektedir. Belirsiz ürün ta- leplerinin olduğu ve stokastik sistem maliyetlerinin dikkate alındığı ve ayrıca, darboğazların ve paralel makinelerin bulunduğu bir hücre sel üretim sisteminin çizelgelenmesi için bir yöntem önerilmektedir. Çalışmada genetik ve tavlama benzetimi algoritmaları tabanlı melez bir algoritma sunulmaktadır.

Ebrahimi ve ark. (2016)'nin çalışmalarında, makine yerleşimini ve parça çİ- zelgeleme problemlerini dikkate alan bir hücre sel üretim sisteminin tasarımı için doğrusal olmayan karma bir tamsayılı matematik model sunulmaktadır. Çİ- alışmada, parça teslim tarihi, malzeme taşıma süresi, operasyon sırası ve işlem sü- resi gibi faktörler dikkate alınarak tamamlanma süresinin, gecikme cezalarının ve malzeme taşıma maliyetlerinin minimum yapılması amaçlanmaktadır.

Liang ve Fung (2016)'nin çalışmalarında, sanal hücre sel üretim sistemlerinde görevlerin ve kaynakların gerçek zamanlı çizelgelenmesi için çoklu ajan tabanlı melez bir kontrol yapısı sunulmaktadır.

Liu ve Wang (2016) hücrelerin formasyonu ve işlemlerin çizelgelenmesini içeren problem için doğrusal olmayan 0-1 tamsayılı bir matematik model sun-



muşlardır. İnceledikleri bu problemde, makineler farklı işlemlerin işlenmesini sağlayacak şekilde çok fonksiyonlu olarak ve operatörler de her makine ile ilgilenebilecek şekilde çok yetenekli olarak düşünülmüştür. Böylece, makineler ve operatörler gruplandırılarak hücelere atanırlar. Ayrıca, her operasyon farklı makineler ve farklı operatörler tarafından işlem gördüğünde farklı işlem sürelerine sahiptir. İncelenen bu problemin çözümü için öncelik kural tabanlı sezgisel bir algoritmayı içeren melez bir tavlama benzetimi algoritması sunulmuştur.

Liu ve ark. (2016)'nın çalışmalarında, hücrel üretim sistemlerinde hem hücre formasyonu hem de çizelgeleme problemlerini dikkate alan bir model sunulmaktadır. Sistemde çok fonksiyonlu makineler ve operatörler iş istasyonlarına ve hücelere gruplandırılır. Ayrıca, parçaların operasyonları için işlem sıralaması da dikkate alınmaktadır. Problemin amacı, malzeme taşıma maliyetlerini ve makinelerin ve operatörlerin sabit ve operasyon maliyetlerini minimum yapmaktır. Problem çözümü için çalışmada bakteri besin arama algoritması sunulmaktadır.

Feng ve ark. (2018), alternatif makinelerin atanması, makine paylaşımı ve hücreler arası taşıma gibi faktörleri dikkate alarak dinamik bir hücrel çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Bu çalışmada incelenen problem için karma bir tamsayılı programlama modeli geliştirilmiş olup bu modelin çözümü için üç katmanlı bir kromozom genetik algoritması sunulmaktadır.

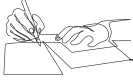
Mosallaeipour ve ark. (2018)'nin çalışmalarında, hücrelerde belirli bir çizelgeye göre makineler hizmet veren bir robottan faydalanılmaktadır. Bu durumda oluşan temel problem, tüm işlemlerin tamamlanması için gereken süre minimum olacak şekilde robot hareketlerinin sırasının tespit edilebilmesidir. Bu nedenle, çalışmada, ardışık bir parça üretim matrisi ve meta sezgisel bir algoritma sunulmaktadır.

GELECEK ÇALIŞMALARA ÖNERİLER

Aşağıdaki tablo, konu ile ilgili literatürden bazı çalışmalar tarafından sunulmuş olan gelecek çalışma önerilerini göstermektedir.

Tablo 1. Literatürden gelecek çalışma alanları için öneriler

Yazarlar	Gelecek çalışma önerileri
Venkataramanaiah, 2008	Hücre yerleşimi ve birden fazla parça ailelerinin işlenebildiği hücrelerde parça ailelerinin dizilişi de eklenebilir.
Ghezavati ve Saidi-Mehrabad, 2010	Maliyetler, proses rotaları ve makine mevcudiyeti gibi parametrelerin de stokastik olduğu durumlar dahil edilebilir.
Eguia ve ark., 2013	Sınırlı makine kapasite durumları, dinamik parça talepleri ve malzeme taşımada arızalar ya da kesintiler gibi faktörler de eklenebilir.
Liang ve Fung, 2016	Sadece makineler değil operatörler de gerçek zamanlı çizelgeleme konusuna ilave edilebilir. Ayrıca, optimum hedef için maliyet unsuruna ilaveten çoklu hedeflerin yer aldığı çalışmalar yapılabilir.



Ebrahimi ve ark., 2016	Parça taleplerindeki belirsizlik durumu, makinelerin kapasiteleri, çeşitli maliyet katsayıları, güvenilirlik ve işgücü durumları dikkate alınabilir.
Delgoshaei ve ark., 2016	Çok amaçlı bir karar verme modeli içinde sistem kârını da maksimum yapan bir model oluşturulabilir. Ayrıca, çok fonksiyonlu makineler ve operatörler de dikkate alınabilir.
Mosallaeipour ve ark., 2018	Makinelerin sabit bir konumda olmadıkları durum için çizelgeleme probleminin incelenmesi düşünülebilir.

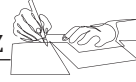
Ayrıca, günümüzde parça taleplerinde değişiklik olması ve makine arızaları/ kesintileri gibi çeşitli dinamik durumlara karşı sistemlerin kolaylıkla ve etkin bir şekilde adaptasyon sağlayabilme özelliğini gösteren esneklik faktörlerinin de dikkate alındığı çizelgeleme çalışmaları yapılabilir. Buna ilaveten, işlem süresi, hazırlık süresi, toplam akış süresi ve çeşitli maliyet kalemleri gibi faktörlerin bulanık olarak değerlendirildiği çizelgeleme çalışmaları da yapılabilir. Ayrıca, sistem içerisindeki kaynakların verimlilik oranlarının geliştirilmesinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin de dâhil edildiği hücresele üretim sistemleri incelenebilir.

SONUÇLAR

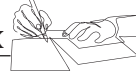
Hücresele üretim sistemleri, genel anlamda, parça benzerliklerine dayalı olarak oluşturulan parça ailelerini ve bu parça ailelerine atanan makine hücrelerini içermektedir. Çizelgeleme problemi ise genel anlamda, bu parça ailelerinin işlemlerinin hücrelerdeki makinelere etkin bir zaman aralığında atanması ve sıralanması ile ilgilenecektir. Etkin bir çizelgeleme, hazırlık süresinin, akış süresinin, malzeme taşıma süresinin ve ilişkili maliyetlerin azalması gibi hücresele üretim sistemlerinin sağladığı kazanımları artırması açısından önemli bir faktördür. Bu çalışmada, hücresele üretim sistemlerinin çizelgelenmesi alanında literatürde yer alan çeşitli çalışmalar detaylıca değerlendirilerek ileride bu alanda yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Delgoshaei, A., Ali, A., Ariffin, M. K. A., & Gomes, C. (2016). A multi-period scheduling of dynamic cellular manufacturing systems in the presence of cost uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 100, 110-132.
2. Ebrahimi, A., Kia, R., & Komijan, A. R. (2016). Solving a mathematical model integrating unequal-area facilities layout and part scheduling in a cellular manufacturing system by a genetic algorithm. *SpringerPlus*, 5:1254, 29 pages.
3. Eguia, I., Racero, J., Guerrero, F., & Lozano, S. (2013). Cell formation and scheduling of part families for reconfigurable cellular manufacturing systems using tabu search. *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 89(9), 1056-1072.
4. Feng, Y., Li, G., & Sethi, S. P. (2018). A three-layer chromosome genetic algorithm for multi-cell scheduling with flexible routes and machine sharing. *International Journal of Production Economics*, 196, 269-283.



5. Ghezavati, V., & Saidi-Mehrabad, M. (2010). Designing integrated cellular manufacturing systems with scheduling considering stochastic processing time. *Int J Adv Manuf Technol*, 48, 701-717.
6. Liang, F., & Fung, R. Y. K. (2016). Coordination mechanism in real-time scheduling of virtual cellular manufacturing systems. *Proc IMechE Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 230(3), 534-547.
7. Liu, C., & Wang, J. (2016). Cell formation and task scheduling considering multi-functional resource and part movement using hybrid simulated annealing. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(4), 765-777.
8. Liu, C., Wang, J., Leung, J. Y.-T., T., & Li, K. (2016). Solving cell formation and task scheduling in cellular manufacturing system by discrete bacteria foraging algorithm. *International Journal of Production Research*, 54(3), 923-944.
9. Mak, K. L., Peng, P., Wang, X. X., & Lau, T. L. (2007). An ant colony optimization algorithm for scheduling virtual cellular manufacturing systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20(6), 524-537.
10. Mosallaeipour, S., Nejad, M. G., Shavarani, S. M., & Nazerian, R. (2018). Mobile robot scheduling for cycle time optimization in flow-shop cells, a case study. *Production Engineering*, 12, 83-94.
11. Tavakkoli-Moghaddam, R., Javadian, N., Khorrami, A., & Gholipour-Kanani, Y. (2010). Design of a scatter search method for a novel multi-criteria group scheduling problem in a cellular manufacturing system. *Expert Systems with Applications*, 37, 2661-2669.
12. Venkataramanaiah, S. (2008). Scheduling in cellular manufacturing systems: An heuristic approach. *International Journal of Production Research*, 46(2), 429-449.
13. Xing, B., Gao, W.-J., Nelwamondo, F. V., Battle, K., & Marwala, T. (2010). Cellular manufacturing system scheduling under fuzzy constraints: A group technology perspective. *IEEE, International Conference on Fuzzy Systems*, 8 pages.



CHAPTER

5

MAKİNE HALISI ÜRETİMİNDE
TUTKALLAMA AŞAMALARIÖznur ÖZDİNÇ¹, Eylem EROL², Tuğba TÖLEK³

Tutkallama (Apre) Bölümü

Tutkallama bölümünde, ham olarak gelen halıların havlarının çıkmaması için halı sırtına latex (tutkal) uygulanmaktadır. Halı, tutkallama bölümüne geldiği zaman içerisinde tutkal bulunan teknedeki silindirin dönmesi ile halı sırtına tutkal verilir.



Tutkallama Ünitesi

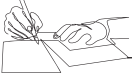
Tutkallama bölümünde tutkal ve apre tekneleri, tutkal silindiri, baskı silindirleri ve masaj silindiri bulunmaktadır.

Tutkallama bölümünde öncelikle halı kalitesine göre tutkal karışımı oluşturulur. Oluşturulan tutkal karışımı apre teknesine doldurulur. Apre teknesi doldurulduktan sonra lark üzerindeki kılavuz bezi hareket ettirilerek halının tutkal silindirine gelmesi sağlanır. Kılavuz bezi bittikten sonra tutkal silindiri üzerinde bulunan baskı silindirleri halıyı tutkal silindiri üzerine degecek şekilde aşağı doğru bastırır. Tutkal silindirinin halı ile aynı yönde döndürülmesiyle, üzerine yapışan halının sırtına tutkal verilmeye başlanmış olur. Tutkal silindirinin hızı halı sırtına uygulanan tutkal miktarını doğrudan etkilemektedir. Tutkal silindirinden çıkan halı, zemininde tutkal kalmaması için sıyrıcıdan geçirilerek masaj silindiri üzerinden kurutma fırınlarına doğru gönderilir.

¹ Öğr.Gör. Öznur ÖZDİNÇ, Gaziantep Üniversitesi Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu

² Öğr.Gör. Eylem Erol, Gaziantep Üniversitesi Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu,

³ Öğr.Gör. Tuğba Tölek, Gaziantep Üniversitesi Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu,



Apren Teknesi, Apre ve Baskı Silindirleri

Halı sırtına uygulanan latex, su ile tutkalın belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen bir ilaç karışımı olup, halının kalitesine göre karışım oranları değişmektedir. Lark makinesi operatörü, lark işlemine tabi tutulacak halı grubu için öncelikle, makinenin operatör panelinden tutkal karışım oranlarını girer ve girdiği oranlara göre tutkal karışımını oluşturur.

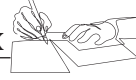
Lark işleminde kullanılan tutkal karışımının oluşturulması için tutkal tekneleri kullanılmaktadır.

1. Tutkal Tekneleri

Tutkal tekneleri tutkalın hazırlanmasında kullanılan teknelerdir. Bu tekneler metalden yapılmış olup, içerisinde mikser (karıştırıcı) bulunmaktadır. Tutkal teknelerinin doldurulması ve karışımın yapılması için hem su, hem de tutkal giriş boruları bulunmaktadır. Genellikle tutkal boruları beyaz renkte, su boruları ise mavi veya yeşil renkte olmaktadır. Tutkal teknelerinde, ana tutkal silosundan gelen bir tutkal borusu, su ekleme yapmak için su borusu, karışım halindeki ilacı apre teknesine göndermek için sevk borusu ve apre teknesinden işi biten ilacı tekrar almak için geri iade borusu bulunmaktadır. Bazı işletmelerde apre teknesine sevk ile iade boruları aynı olabilir, havalı pompa yardımı ile transfer gerçekleştirilir.



Tutkal Silosu ve Tutkal Tekneleri



Tutkal teknelerinin amacı, mikser (karıştırıcı) yardımıyla saf haldeki tutkalı belirli miktarda su ile karıştırarak lark makinesine tutkal rezervinde bulundurmaktır.

Tutkal teknelerinin büyüklüğü, 300 - 500 m² gibi düşük miktardaki siparişler geldiği zaman, ilaç sarfiyatını önlemek için genellikle 500-1000 kg tutkal alacak şekilde tasarlanmalıdır.

Tutkal teknelerinin üst kısımlarında kapak bulunmakta olup, bu kapak gerekmediği sürece kapalı tutulmalıdır. Tutkal tekneleri genel olarak 3 adet olmaktadır.

- 1- Tutkal hazırlama teknesi
- 2- Tutkal besleme teknesi
- 3- Tutkal bekletme teknesi

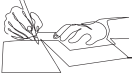


Tutkal Tekneleri

Teknelerin birbirleri arasında havalı pompalar yardımıyla tutkal transferi gerçekleştirilebilmektedir. Tutkal teknelerinin üzerinde bulunan pnömatik basınçlı vanalar lark makinesine girilen programa göre otomatik açılıp kapanarak teknenin gerekli miktarda ilaç ve su almasını sağlamaktadır.

1.1. Tutkal Hazırlama Teknesi

Tutkal ile suyu birbirine karıştırarak hazır hale getirmek ve besleme teknesine göndermek için kullanılan teknelerdir. Tutkal verilecek halı cinsine göre operatör paneli ekranından tutkal hazırlama bölümüne girilip ilaç karışım oranları belirlenerek veya daha önce kaydedilmiş oranlar seçilerek tutkal hazırlama düğmesine basılır. Sistem otomatik olarak pompa ile tutkal stok silolarından karışım oranına göre yeterli miktarda tutkal ve su alarak tutkal hazırlama teknesine transfer eder. Transfer işlemi bittikten sonra mikser çalıştırılır ve alınan bu tutkal ve su mikser tarafından karıştırılarak istenen karışım hazırlanmış olur. Tekne altında bulunan tutkal çıkış borusundan havalı pompa yardımı ile tutkal besleme



teknesine gönderilir. Daha sonra halı miktarına göre tekrar ilaç yapılabilir veya farklı bir kalite halı larka verilecekse ona göre ilaç hazırlanmaya başlanabilir.

Tutkal hazırlama teknesi tutkal ve su miktarını belirleyerek (örneğin, %50 su, %50 tutkal karışımından 1000 kg tutkal yapılacak şekilde) otomatik olarak su ve tutkal miktarını tekne içerisine çekmektedir. Tutkal teknesi altındaki terazi 500 kg su tamamlandığı zaman otomatik olarak pnömatik vanayı kapatarak tutkal vanasını açar ve 500 kg tutkal ilave edilerek karışımın oluşturulması sağlanır. Bu karışım mikser tarafından karıştırılarak homojen bir karışım elde edilir.

1.2. Tutkal Besleme Teknesi

Hazırlama teknesinde hazırlanmış olan tutkal, pompa yardımı ile besleme teknesine aktarılır. Besleme teknesi içerisinde tutkalın devamlı karışım halinde olmasını sağlamak için bir mikser bulunmaktadır. Besleme teknesinin amacı, apre teknesine devamlı olarak tutkal beslemek ve bir sonraki karışım için hazırlama teknesinin boşaltılmasını sağlamaktır.

Besleme teknesi altında bulunan çıkış vanası açılarak, pompa yardımı ile tutkalın apre teknesine dolması sağlanır. Apre teknesi dolduktan sonra apre makinesi çalışır ve halı tutkallama işlemi başlamış olur. Halı tutkallama işleminde tutkalın halı sırtına verilmesinden dolayı apre teknesi içerisinde tutkal azalacağından besleme teknesi devamlı olarak tekneye ilaç vererek tekne içerisinde ilacın azalmamasını sağlar.

Apre işlemi bittikten sonra apre teknesindeki tutkal tekrar pompa yardımı ile besleme teknesine aktarılır. Bu aktarma işlemi besleme boruları ile yapılabildiği gibi farklı bir boru çekilerek de yapılabilir.

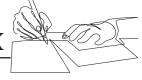
Besleme teknesinde karışım eksildiği zaman, tutkal hazırlama teknesinden yeterli miktarda karışım çekilerek tekne doldurulur.

1.3. Tutkal Bekletme Teknesi

Tutkal bekletme teknesinin amacı, kalite değişiminden sonra, kalan fazla tutkalı muhafaza etmektir. Farklı bir kalite için oluşturulmuş tutkal bekletme teknesinde muhafaza edilir ve halı apreya verildiğinde zaman kaybı yaşanmadan apre teknesi boşaltılarak bekleme teknesindeki tutkal apre teknesine verilir. Böylece apre fazla durmadan farklı bir kalitede çalışmaya devam edilir. Tekneler arası tutkal transferleri havalı pompalar tarafından otomatik olarak sağlanmaktadır.

2. Apre Teknesi

Apre teknesi tutkal silindiri altında bulunan ve tutkal silindirine tutkal beslemesini sağlayan metal sacdan yapılmış “v” şeklindeki teknedir. Apre teknesinin alt kısmında bir tutkal girişi ve bir de tutkal çıkış yeri bulunmaktadır. Teknenin üst kısmında ise fazla tutkalı tekneden taşmadan tekrar besleme teknesine götüren tahliye borusu bulunmaktadır. Tahliye borusu fazla karışımı besleme tankına göndererek sürekli tekne içerisinde karışmasına yardımcı olur.



Apre Teknesindeki Fazla Tutkal Tahliye Borusu

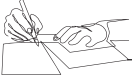
Apre teknesi, tutkal besleme teknesinden havalı pompalar ile çekilen tutkal ile doldurulduktan sonra, tutkal silindiri çalıştırılarak yüzeyine tutkal alması sağlanır. Apre işlemi yapılacak halı tutkal silindiri üzerinden geçirilerek halı sırtına tutkallama işlemi gerçekleştirilmektedir. Apre işlemi yapılırken zamanla tekne içerisindeki tutkal azalacaktır. Bu durumda, hareketli gezdirici ile apre teknesine tutkal beslemesi yapılmaktadır. Hareketli gezdiricinin diğer bir amacı da tutkalın devamlı karışım halinde olmasını sağlayarak tekne zeminine çökmesini engellemektir.



Apre Teknesindeki Fazla Tutkal Tahliye Borusu

3. Tutkal ve Apre Teknelerinin Boşaltılması

Apre işlemi bittikten sonra apre teknesinde kalan tutkalın tekrar besleme tankına çekilmesi gerekmektedir. Tekne içerisindeki giriş vanası kapatılıp boşaltma vanası açılarak pompa yardımı ile apre teknesindeki tutkal besleme tankına çekilmek suretiyle apre teknesi boşaltılmaktadır



Aprenin alt kısmındaki Tutkalı Boşaltma Borusu ve Vanası

Boşaltma işlemi bittikten sonra tekne içerisi bolca su ile temizlenerek tekne içerisinde tutkal artıkları kalmayacak şekilde yıkanmalıdır. Daha sonra tekne öne doğru eğdirilerek tamamen su ile temizlenmelidir. Aksi takdirde, temizlenmeyen tutkallar belli bir süre sonra tekneye yapışarak teknenin kirlenmesine sebep olacaktır.

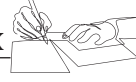


Boşaltılarak Temizlenmiş Aprenin alt kısmındaki Tutkalı Boşaltma Borusu ve Vanası

Tutkal teknelerinin boşaltılması ise teknenin alt kısımlarında bulunan tahliye borularından tutkalın ana depoya çekilmesiyle yapılır. Daha sonra tekneler su ile iyice temizlenerek tutkal lekelerinin kalmaması sağlanmalıdır.

4. Tutkal Teknelerini Temizleme

Tutkal (latex) boşaltıldıktan sonra, tutkal karışım mikserleri bol suyla yıkanarak tutkal bulaşığı kalmayacak şekilde temizlenir ve bir sonraki işlemde kullanılacak tutkal karışımına hazırlık yapılır. Teknelerde kalan tutkal artıkları ok-



sijenle birleşme sonucunda sertleşir. Sertleşen tutkalı temizlemek için spatula veya sıcak su kullanılır. Tutkal karışımının sertleşmeden önce mutlaka su ile iyice temizlenmesi gerekmektedir.

5. Tutkal Silindiri

Halı sırtına homojen bir şekilde tutkal sürülmesini sağlamak için kullanılan, düz ve pürüzsüz bir yüzeye sahip silindirdir. Tutkal silindiri hızını bağımsız bir motordan almaktadır. Silindirin hızı halı sırtına uygulanan tutkal miktarını etkilemektedir. Tutkal silindir hızı yavaşlatıldığı zaman halı sırtı yumuşak, arttırıldığı zaman ise sert olur. Tutkal silindiri halı ile aynı yöne doğru dönmektedir.



Aprenin İçinde Tutkal ve Aprenin Silindiri

Aprenin teknesine tutkal doldurulduğu zaman tutkal silindiri yarısına kadar tutkalın içinde kalmaktadır.

Tutkal silindiri üzerinde bulunan baskı silindirlerinin amacı, kılavuz bezi tutkal silindirini geçtikten sonra halı üzerine baskı yaparak, halının silindir üzerine değmesini ve silindir tutkal içerisinde dönmeye başladığı zaman halı sırtına tutkal verilmesini sağlamaktır.



Baskı Silindiri

Tutkal silindirinden hemen sonra bulunan sıyrıcı aparat, halı sırtında kalan fazla tutkalları sıyırmaktadır.

Sırtı tutkallanmış olarak tutkal silindirinden çıkan halı kurutulmak için fırına gönderilmeden hemen önce bir fırçadan geçirilir. Bu fırça, tutkal silindirinden çıkan halının havlarını dik konuma getirerek, halının havlar dik şekilde fırın içine girmesini sağlamaktadır.

Kılavuz bezlerine ilaç verilmediğinden, bazı makinelerde bezler silindirden ayrılmamaktadır. Böyle durumlarda silindir durdurulur ve ilaç verilmek istenmeyen bezlerin silindir üzerinden kayması sağlanır. Silindir dönmediğinden dolayı bez ilaç almamış olur.

6. Apre Silindiri

Apre silindiri, tutkal silindirinden sonra bulunan ve hareketini servo motor-dan alan yüzeyi kaygan bir silindirdir.

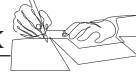


Apre (Masaj) Silindiri

Tutkal silindirinde halı sırtına tutkal sürüldüğü zaman, tutkal halı sırtına tam olarak nüfuz etmemektedir. Apre silindirinin amacı, silindirin halı sırtına baskı yaparak dönmesi ile beraber tutkalın halı sırtına daha iyi şekilde tutunmasını sağlamaktır. Diğer bir ifadeyle halı sırtına masaj yaparak ilacın tam olarak halı sırtına sürülmesine yardımcı olmaktadır. Özellikle shaggy gibi çok düşük kaliteli halılarda apre silindirine kauçuk sarılarak halı sırtının tamamına tutkalın alınması sağlanmaktadır. Bu tür halılarda jüt arası çok açık olduğundan, tutkal iki jüt arasına tam olarak ulaşamadığı için apre silindiri ile tutkal tam olarak verilmiş olur.

7. Tutkal ve Apre Silindirlerini Temizleme

Apre tutkal silindiri ve teknesi, boşaltıldıktan sonra bol suyla tutkal kalmayacak şekilde yıkanır. Tutkalın oksijenle birleşmesi sonucu oluşan tutkal artıkları sertleşir. Sertleşen bu tutkal artıklarını temizlemek için sadece sıcak su uygulanır. Apre tutkal silindiri çok hassas ve pürüzsüz olduğu için kesinlikle sert, kesici ve metal cisimle temizlik yapılmamalıdır.



Silindir boş şekilde döndürülerek su ile temizlenmelidir. Silindir üzerinde kalan en ufak bir tutkal lekesi bir sonraki halı apre işlemine verildiği zaman lekenin bulundu kısımlarda halı sırtına tutkal uygulanmamasına neden olur.

8. Halı Sırtına Uygulanacak Tutkal Miktarı

Halı sırtına uygulanan tutkal miktarları halının atkı sıklığına (kalitesine) göre değişmektedir. Haliya uygulanacak tutkal miktarının hesaplanması için, lark işleminden önce bir araba halının nemi latexsiz (ham) olarak ölçülerek tartılır.

Lark işlemi esnasında haliya toz emme, dikey ve yatay buharlama, tıraş, boy kesim gibi işlemler yapılmadan sadece tutkallama işlemi uygulanır. Lark işlemiyle haliya tutkal uygulandıktan sonra nemölçer cihazıyla halının nemi tekrar ölçülerek tartılır ve halı sırtındaki latex miktarı bulunarak kayıt altına alınır. Burada dikkat edilmesi gereken husus iki halı birleşiminden kesilen fazla bezlerin atılmayıp ölçüme dâhil edilmesidir. Bütün halı kalitelerine göre bu işlemler yapılır ve uygulanır.

Bu uygulamalar lark makinesi ekran panelinde reçete oluşturularak kayıt altına alınır. Reçete uygulamasında operatör kendisine gelen halı grubuna ait kalitenin reçetesini ekran panelinden seçer. Bu reçete oluşturulurken makine hızı, tutkal silindir hızı, fırın sıcaklığı, tambur dönüş hızı ve sıcaklığı, atkı düzeltme değerleri ve tutkal karışım oranları halı sırtına uygulanacak tutkal miktarını belirlemektedir.

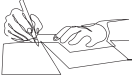
Örneğin: 32x50 kalitesinde heatset (polipropilen) halının latex (tutkal) karışım oranı %50 tutkal, %50 su olarak yapılır, silindir hızı 8m/dk, makine hızı 6m/dk olarak ayarlanır.

Shaggy veya frize gibi düşük kalite (atkı sıklığı seyrek) halılarda, halı sırtındaki tutkal miktarı genellikle çok yüksektir. Bu miktar ortalama 200-300gr/m² arasında değişmektedir. Bu tip atkı sıklığı az olan halılarda tutkal su karışım oranı genellikle %70 tutkal, %30 su olarak değişmektedir. Atkı sıklığı seyrek olduğundan, tutkalın halı yüzeyine ilerlemeden kurumasını sağlamak için tutkal oranı yüksek tutulmalıdır.

Pamuk atkı veya viskoz gibi ince veya narin halılarda tutkal miktarı genellikle 80-120gr/ m² arasında olmaktadır. Bu tür ince ve hafif halılarda, halının yerde kaymaması için, karışım oranları genellikle saf tutkal veya %20 gibi su katılarak yapılmaktadır. Bu tip halılarda bazen de kaymaz taban latex kullanılabilir.

Polipropilen halılarda tutkal oranı genellikle 110-180 gr/m² arasında değişmektedir. Polipropilen halılarda karışım oranı %50 tutkal, %50 su şeklinde yapılmaktadır.

Halı kalitesi ne kadar düşük olursa halı sırtına uygulanan tutkal miktarı o kadar fazla olmaktadır. Bunun sebebi halı sırtındaki atkı sıklıklarıdır. Atkılar ne kadar seyrek olursa aradaki mesafe açıldığından tutkal miktarı fazla yapılarak, aradan hav çıkması engellenmiş olur. Atkı ne kadar sık olursa, atkı aralarına tutkal daha az gireceğinden kullanılan tutkal miktarı da az olmaktadır.



Halı sırtına uygulanan tutkal miktarı örgü yapısına göre de değişmektedir. 1/1 örgü yapısında hav çıkmaları çok fazla olacağından dolayı tutkal karışımı halının iç kısmındaki havlara ulaşacak şekilde ayarlanmalıdır. İç kısımlardaki havlara tutkal ulaşmaz ise belli bir süre sonra havlar halıdan çıkmaya başlar. 1/2, 1+1/2, 2/3, 2/2, 1+2/3 gibi örgü yapılarında iç havlara jüt sarıldığı için hav çıkmaları 1/1 göre çok daha az olacaktır.

9. Uygulanan Apre Miktarının Haliya Etkileri

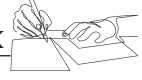
Lark makinesinde, tutkal silindirinin apre teknesi içerisinde dönmesi ile silindir üzerine bulaşan tutkalın, halının sırtına sürülmesi suretiyle halı tutkallama işlemi yapılmaktadır.

Haliya verilen tutkalın miktarını tutkal silindirinin hızı belirlemektedir. Tutkal silindirinin dönme yönü halı ile aynı yönde ilerlemektedir. Tutkal silindiri ne kadar hızlı dönerse halı sırtına o kadar fazla tutkal verilmiş olunur. Tutkal silindiri ne kadar yavaş dönerse halı sırtına o kadar az tutkal verilmiş olur. Halı sırtına uygulanan tutkal miktarı halının sert veya yumuşak olmasını belirler. Silindir hızı ne kadar artarsa, halı sırtına uygulanan tutkal miktarı artacağından halı sırtı da o derece sertleşecektir.

Haliya uygulanan latex'in özelliğinden veya fazla latex uygulamasından dolayı halı sertleşir. Tutkal saf veya gereğinden fazla verildiği takdirde halılarda aşırı sertlik oluşur. Tutkal karışım oranlarındaki su miktarı halı sertliğini doğrudan etkilemektedir. Tutkal karışım oranlarında su oranı ne kadar az ise halı sırtı o kadar sert, su miktarı ne kadar fazla ise halı sırtı o kadar yumuşak olacaktır. Tutkal karışım miktarındaki su miktarı az olan karışım ile su miktarı fazla olan farklı bir karışım aynı haliya aynı miktarda uygulandığında su miktarı az olan karışım haliyi daha sert yapacaktır.

Haliya uygulanan tutkal miktarı fazla olduğu zaman (halı sert olduğu zaman);

- Tutkal miktarı fazla olan halılarda hav kırılmaları meydana gelir.
- Bükülen halıların tekrar açılmama durumu ortaya çıkabilir.
- Halıların yere düzgün şekilde yapışmamasına neden olur.
- Tutkal miktarı fazla olduğu zaman, tutkal halı yüzeyine geçer ve havlarda sertlikler meydana gelir.
- Tutkal miktarı fazla olan halı, sertliğinden dolayı kesim yerlerinden düzgün şekilde kesilemez.
- Tutkal miktarı fazla olduğu zaman haliya kenar overlok dikişleri düzgün yapılmaz.
- Tutkal miktarı fazla olduğu zaman halı kuruması çok zor olacağından küflenme veya koku meydana gelir.
- Tutkal miktarı fazla olduğu zaman tıraşlama işlemi düzgün yapılamaz.
- Tutkal silindir hızı gereğinden yavaş döndüğü zaman halı yumuşak çıkar.

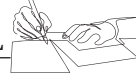


Bundan dolayı halıda;

- Tutkal gerektiği kadar verilmediği için halıda hav (tüy) çıkmaları meydana gelir.
- Halı büküldükten sonra ezilmeler meydana gelir.
- İki halı arasındaki kesimler düzgün olmaz.
- Halılar kesildikten sonra, kesilen yerlerde tüylenmeler meydana gelir.
- Halı kenar overloğu düzgün olmaz.
- Halı zayıf olacağından dolayı m^2 ağırlık az olur.
- Halı bükümleri düzgün olmaz.
- Halı sarımında kullanılan bantlar açıldığı zaman halı yüzlerini çok kolay çıkarır.

KAYNAKÇA

1. Dalci, S., (2006), "Makine Halısı Üretim Parametrelerinin Halı Performansına Olan Etkilerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş
2. Erdoğan, Ü., H. (2001). Ege Bölgesinde Üretilen Makina Halıları Ve Kullanılan Liflerin Başlıca Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Sayfa:2
3. Güneşoğlu, S., (2017). Yüz Yüze Dokuma Halılarda Hav Yüksekliğinin Halıların Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi. Tekstil ve Mühendis, Cilt (Vol): 24 No: 105, Sayfa 26
4. www.igeme.org.tr/Arastirmalar/ulke_sek/sektor.cfm?sec=ara

**CHAPTER
6V****MAKİNE HALISI ÜRETİMİNDE
LARK MAKİNESİ BÖLÜMLERİNİN
İNCELENMESİ****Tuğba TÖLEK¹, Öznur ÖZDİNÇ², Eylem EROL³****LARK MAKİNELERİ**

Dokuma tezgahında dokunarak apre bölümüne gelen halıların çitiden sonra ilk geleceği bölüm lark bölümüdür. Dokuma tezgahlarında dokunana halılar, halı taşıma arabasına konularak apre bölümüne getirilir. Apre bölümünde çitiden geçtikten sonra larka, larktan sonra eğer gerekiyorsa tıraş makinesine, tıraş işleminin son aşaması olan boyuna kesmeden otomasyon ünitesine getirilir.

Lark Makinesinin Bölümleri

Lark makinesi halının giriş ve çıkışı 12 bölümden oluşmaktadır. Lark makinesinin amacı halı sırtına tutkal sürerek halı tüylerinin çıkmasını engellemektir. Halı sırtına tutkallama yapılmadan önce ve sonra yapılan işlemler belirli bölümlerden geçerek yapılmaktadır.

Bu bölümler:

Halı hazırlama bölümü

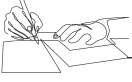
Sevk listesine göre acil olan halı arabası kontrolden geçtikten sonra lark makinesine bağlanmak üzere lark hazırlama bölümüne getirilerek kılavuz bezine düzgün bir şekilde birleştirilerek dikiş işlemi yapılır. El dikiş makinesi aperet üzerine sabitlenerek dikişlerin düzgün dikilmesini sağlar. El dikiş makinesinde lark operatörü tarafından manuel olarak halı birbirine dikilir. Dikişlerin sağlam ve düzgün olmasına çok dikkat edilmelidir, aksi takdirde dikiş patlaması ve halıların eğrilmesine neden olur. Dikiş makinesi operatör tarafından el ile hareket ettirilerek dikiş yapılır. Bu dikiş makinesi zincirleme dikiş yapmaktadır.

Otomatik zikzak dikiş makinesi ile yapılan dikişlerde ise halı hazırlamasında iki halının birleşiminde operatör start düğmesine bastığı zaman makine otomatik olarak dikiş diker, bu dikiş zincir dikiş gibi değil iki halıyı birbirine zikzak şeklinde dikerek halı birleşim fazlalığı otomatik olarak kesilir bu şekilde iki halı birleşimindeki fazlalıklar olmamış olur. Bu şekildeki topbaşı dikişleri tıraşta hiçbir engel olmadan geçmektedir. Bu dikiş makinesinde dikiş iplik rengi beyazdan farklı bir renk seçildiği zaman tıraş girişindeki sensöre dikiş ipliği rengi tanımlanarak bu renk geldiği zaman tıraş makinesi otomatik olarak çalıştırılabilir.

¹ Öğr.Gör. Tuğba Tölek, Gaziantep Üniversitesi Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu

² Öğr.Gör. Öznur ÖZDİNÇ, Gaziantep Üniversitesi Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu

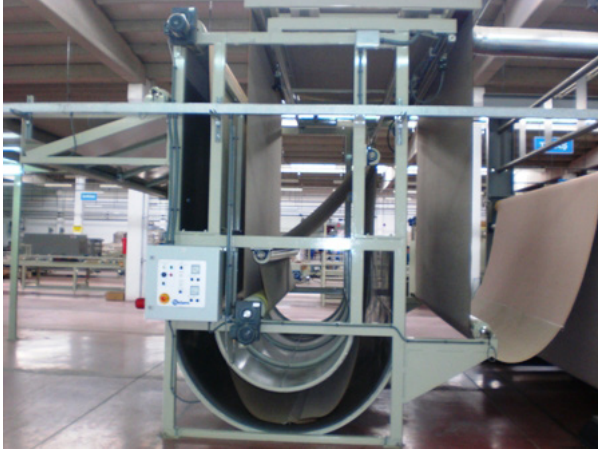
³ Öğr.Gör. Eylem Erol, Gaziantep Üniversitesi Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu



Şekil 2. Dikiş makinesi ile halıların birbirine dikilmesi

Halı giriş j-box

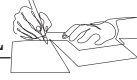
Halı dikiş işlemi bittikten sonra lark için giriş j-box ta halı biriktirilir. Biri-ken halı aprenin sürekli çalışmasını sağlar ve bir sonraki halı hazırlamaya zaman tanır. Halı hazırlamadan j-box a halı otomatik olarak aktarılır. J-box ın seviye sensörleri bulunmaktadır. Halı azaldığı zaman çalışma başlar belli bir seviyeye geldiği zaman sensör otomatik olarak halı aktarımını durdurur. Sensör arızalandığı veya araba bağlama esnasında manüel de yapılabilir.



Şekil 3. J-box

Halı merkezleme bölümü

Merkezleme bölümünde halının düzgün hareket etmesini ve sağa sola kay-masını önlemektedir. Çalışma şekli halı eni sensörlerle ölçülerek halı sağa veya



sola kaymış ise otomatik olarak silindirler sensör yardımı ile sağa sola hareket ederek halıyı tekrar merkezler. Merkezleme bölümü halı çaplarını düzeltmede etkisi çok fazladır.



Şekil 4. Halı merkezleme bölümü

Toz temizleme bölümü

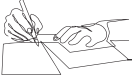
Halı yüzeyinde ve arkasındaki toz, elyaf, vs pislikleri fırça ile temizleyerek, fırça altındaki emiş borularına giderek temizlenmesi sağlanmaktadır. Emiş borularındaki tozlar ise kuvvetli emiş fanları ile toz toplama bölümüne biriktirilir.



Şekil 5. Toz temizleme bölümü

Halı çökertme bölümü

Dikey buharlama içerisindeki su teknesinde bulunan suyu ısıtılarak buhar oluşması sağlanır. Oluşan yoğun buhar içerisinden çökme iplik kullanılmış halı geçerken iplik yoğun buharın ısısından dolayı çökme işlemi gerçekleşir. Dikey buharlama sadece çökme halılarda kullanılır, normal halılarda kullanıldığı zaman halı fiskei bozulacağından heatset halılarda kullanılmaz.



Şekil 6. Dikey buharlama bölümü

Halı atkı düzeltme bölümü

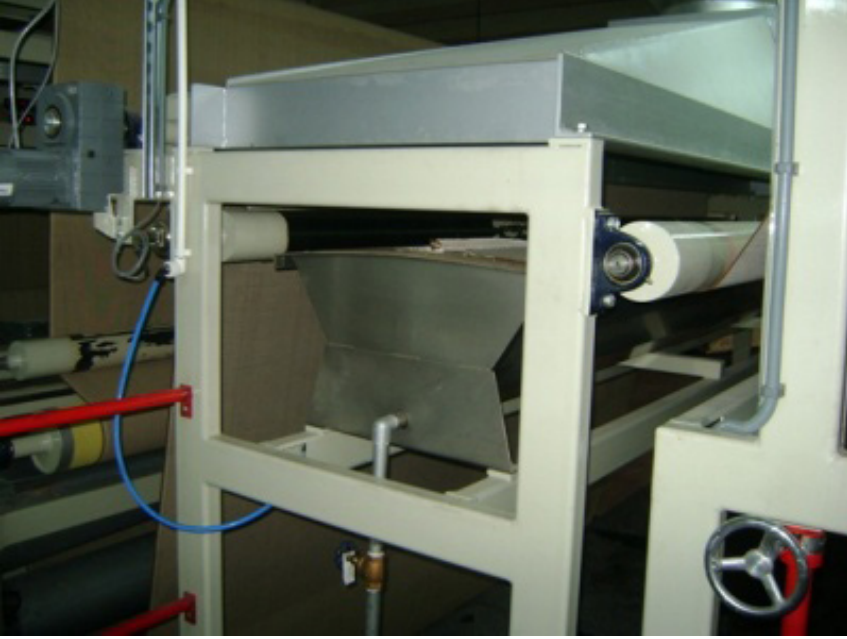
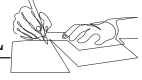
Atkı düzeltme sisteminin amacı tezgâhtan çıkan halılardaki atkı eğriliklerini (çaprazlık) düzeltmek için yapılan bir helezon silindir sistemidir.



Şekil 7. Halı atkı düzeltme bölümü

Halı yatay buharlama

Halı yatay buharlamanın amacı halı sırtına buhar verilerek atkılarının yumuşamasını sağlayarak tutkalın daha düzgün almasını sağlamaktadır.



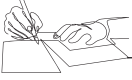
Şekil 8. Halı yatay buharlama

Tutkallama bölümü

Tutkallama bölümünde ham olarak gelen halıların havlarının çıkmaması için halı sırtına latex (tutkal) uygulanır. Halı tutkallama bölümüne geldiği zaman içerisinde tutkal bulunan tekne içindeki silindirin dönmesi ile halı sırtına tutkal verilir. Silindir hızı tutkal miktarını belirler.



Şekil 9. Tutkallama bölümü



Kurutma bölümü

Tutkallama bölümünden çıkan halıların sırtı ıslandığı için kurutma bölümünde kurutulması sağlanır. Kurutma bölümü içerisinde bulunan buhar serpantinleri kurutma bölümü içerisindeki sıcak havayı çekerek halı sırtına ve yüzeyine üfleme yaparak halının kurumasını sağlar.



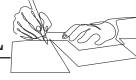
Şekil 10. Kurutma bölümü

Kurutma tamburu

Kurutma bölümü içerisinde bulunan kurutma tamburu içerisinde buhar verilerek ısıtılır ve halı tambur üzerinden geçirilerek halı üzerinde kalan nem burada tamamen giderilmiş olunur. Tambur sıcaklığı 160 c sıcaklıkta ve 5,5-6 bar basınçta çalışmaktadır.



Şekil 11. Kurutma tamburu



Soğutma bölümü

Kurutma bölümünden çıkan halıların hiçbir silindire temas etmeden soğutulması gerekmektedir. Çünkü halı kurutma bölümünden Sıcak çıktığı için ve üzerinde nem olabileceği için halı direkt olarak soğutma bölümüne girerek üzerindeki nem ve sıcaklığın giderilmesi sağlanır. Bu soğutma işlemi ortam havasını fan yardımı ile yapılmaktadır.



Şekil 12. Halı soğutma bölümü

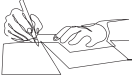
Çıkış j-box

Tutkallama işlemi bitmiş olan halının tıraş bölümü öncesinde çıkış j-box tarafında rezerve edilir.

SONUÇ DEĞERLENDİRME

Emek yoğun bir sektör olan makine halısı sektörü, tekstil sektöründe çok önemli bir yere sahiptir. Türkiye'deki toplam halı pazarının yaklaşık %90'lık bölümünü makine halısı oluşturmaktadır. Son yıllarda Türkiye'nin makine halısı ihracatı önemli boyutlara ulaşmıştır ve artmaya da devam etmektedir. Türkiye'nin makine halısı üretiminin büyük çoğunluğu Gaziantep'te gerçekleşmektedir. Gaziantep'te 250'yi aşan firma bu alanda faaliyet göstermekte ve bu firmalar 850 makineden oluşan bir makine parkıyla yıllık ortalama 300 milyon metrekare makine halısı üretmektedirler. Bütün bu rakamlar Gaziantep makine halısı sanayisini dünyada çok güçlü ve rekabetçi bir yerde konumlamaktadır (www.domo-texturkey.com)

Gaziantep bulunduğu konum itibarı ile Türkiye'nin Ortadoğu ihracatında önemli bir yere sahiptir. Gaziantep tarihin her döneminde köklü ticaret yolları güzergâhında olmuş, sahip olduğu ticaret yolları Arap ülkeleri ve doğu ülkeleri

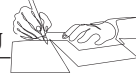


ile ihracat ve ithalat yapmasına ve geniş bir pazara sahip olmasını sağlamıştır (Ulusoy & Turan, 2016). Günümüzde küresel rekabet ortamında işletmeler de kaliteli ürün üretmeye odaklanmış durumdadırlar. Çünkü müşteri tatminini en yüksek düzeyde tutmak ve maliyetleri düşürmek işletmeler için büyük önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmada, lark prosesinde modüllerde bulunan kısımlar ve modülün çalışma prensibi detaylı olarak incelenmiştir. Makine başında duran personel lark girmeden önce iki halı arasında dikiş yaparak halının düzgün bir şekilde ve uygun sıcaklıkta lark makinasına girmesini sağlar. Dokuma makinasından hatasız çıkan halı lark bölümünde işçiden ve makinadan kaynaklı hatalar sonucunda defolu duruma düşebilir. Bu kapsamda makinede çalışan elemanın dikkatli ve işini özenli yapması gerekmektedir. Ayrıca lark makinasının ayarlarında da halı-da kullanılan malzemeye uygun olması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

1. DALCI, S. (2006), Makine Halısı Üretim Parametrelerinin Halı Performansına Olan Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
2. ERDOĞAN, Ü. H. (2001), Ege Bölgesinde Üretilen Makine Halıları Ve Kullanılan Liflerin Başlıca Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye.
3. KIRTA, E. (1981), Türkiye’de Üretilmekte Olan Makine Halılarının Teknolojik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sayfa:22-24.
4. SAGHAY, K.K., GÜLEÇ, E., DENİZ, M. (2011), Düğüm Atma Prosesinin Mekatronik Sistem Dizaynı, İzmir Yüksek Teknolojisi Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi Raporu, İzmir.
5. ULUSOY, R., TURAN, N. (2016), Gaziantep Ekonomisinin Ortadoğu Açısından Önemi: The Importance of Gaziantep City Economy For The Middle East, Journal of Gazi Academic View. 9, 18, 141-165, Jan. 2016. ISSN: 13079778.
6. <http://www.domotexturkey.com/eNewsletter/2014/pfd/Domotex%20Gaziantep%202014-sektorTem-TR.pdf>



CHAPTER

7

DENTAL MİKROMOTOR KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN DİŞ TEDAVİSİNDE DİŞ YÜZEY SICAKLIĞININ TAHMİNİNE YENİ BİR BAKİŞ

Murat SELEK¹, Hakan TERZİOĞLU²

1. GİRİŞ

Dental prosedürler, günümüz teknolojisiyle, diş hekiminin tecrübe ve el beceresine dayanmaktadır. Diş üzerinde yapılacak işlemler, diş yapısının hassas olması dolayısıyla, süre bakımından önem arz etmekte ve gereğinden fazla zaman işleme tabi tutulan diş yapılarında bozulmalar meydana gelmektedir.

Diş üzerinde temizleme ve dişin şekillendirmesine olanak sağlayan mikromotor cihazları, diş hekimleri tarafından herhangi bir otomasyon programı olmaksızın kullanılmaktadır. Diş hekimlerinin tecrübesi dahilinde verimlilik gösteren bu cihazlar, fazla ısınma ya da dişin zarar görmesi anında kullanıcıyı bildirme özelliğine sahip değildir. Bunun yanında, ısınan diş yüzeyine soğuk hava uygulaması ayrı bir kompresör cihaz yardımı ile gerçekleştirilmekte, yani ek bir cihaza ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, dental tedavi esnasında, diş üzerinde oluşan sıcaklık farklarını, uygulanan kuvvet ve bu kuvvetin uygulandığı süreyi dikkate alarak hesaplayan, kullanıcıya istenilen sıcaklık farkları çerçevesinde sesli ve görüntülü uyarı verebilen mikromotor cihazının tasarımı ele alınacaktır.

Mikromotor, diş hekimlerinin çürük temizleme, diş şekillendirme, dolgu yerleştirme gibi işlemlerinde kullanılan, yüksek hızda çalışan tıbbi bir cihazdır. Genel olarak 500 ile 40.000 rpm arasında çalışan modelleri mevcuttur. Yapılacak işleme göre başlık kısmı değişebilen mikromotorlar iki prensip üzerinden çalışmaktadır:

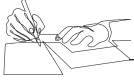
1. Elektrik ile çalışan mikromotorlar
2. Hava ile çalışan mikromotorlar.

Her iki sistem ile çalışan motorlarda da, çalışmamıza konu olan ısı farkının tespit edilebilmesi mümkün değildir.

Dental mikromotorlar diş hekimliğinde en çok kullanılan cihazlardan birisidir. Mikromotorların diş tedavisinde kullanılması durumunda diş yüzeyinde sürtünmeye bağlı olarak ısı oluştuğu bilinmektedir. Tedavi alanlarına göre tedaviye

1 Dr. Öğretim Üyesi, Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik Haberleşme Programı

2 Dr. Öğr. Gör. Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı



bağlı olarak oluşan ısının önemi değişmektedir. Cerrahi ve restoratif tedavide oluşan sıcaklıkların diş üzerindeki etkileri birbirinden farklıdır.

Diş hekimliğinde restoratif tedavisi esnasında diş üzerinde oluşan sıcaklık önem arz etmektedir. Tedavi esnasında diş yüzeyinde oluşan sıcaklık farkının 5,5 0C'yi geçmesi, dişteki pulpa dokusunda nekrozlar oluşturmaktadır. Nekrozların oluşması ise dolgu tedavisi uygulanarak tedavi edilebilecek bir diş, kanal tedavisi uygulamasına sebep olmaktadır.

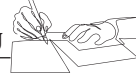
Bu durumda diş tedavisinde diş yüzeyindeki sıcaklık farkının belirlenmesi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada tedavi sırasında diş yüzeyindeki sıcaklık farkını belirleyebilen, diş hekimine görsel ve sesli uyarı sistemiyle bilgi veren, portatif mevcut diş hekimliği ünitlerine kolayca uygulanabilen bir dental mikromotor cihaz tasarımı gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Diş yüzeyindeki sıcaklık değişimini ile ilgili çalışmaların özetleri aşağıda verilmiştir.

Tancan Uysal ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği bu çalışmada, in-vitro olarak ortodontide farklı yapıştırıcı temizleme prosedürleri kullanıldığı zaman pulpa odasında meydana gelen sıcaklık değişimlerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 90 adet bozulmadan çekilmiş üst çene merkez kesici dişleri kullanılmıştır. Dişler her biri 15 diştten oluşan 6 gruba bölünmüştür. Diş yüzeyindeki artık kompozitin kaldırılması tungsten karbit frez ile gerçekleştirilmiştir. Artık yapıştırıcı su soğutmalı-soğutmasız olarak, yüksek hızlı piyasemen ve yüksek-düşük hızlarda ters açılı piyasemen kullanılarak kaldırılmıştır. Sıcaklık ölçümleri için pulpa odasının merkezine bir J tipi ısı çifti (termokupl) yerleştirilmiştir. Sonuçlar varyans analizi (ANOVA) ve Tukey-honestly önemli fark testi ile analiz edilmiştir. İki faktörlü ANOVA, piyasemen tipi ve su soğutma arasındaki önemli etkileşimi ortaya koymuştur. Bu çalışmada su soğutmasız olarak yüksek hızlı ters açılı piyasemen ile çalışılan grupta, bütün temizleme prosedürleri arasındaki en yüksek sıcaklık değerleri (7,58 0C $\pm$ 1,84 0C) elde edilmiş ve bu değer pulpa sağlığı için aşılmaması gereken 5,5 0C'lik kritik sıcaklık değerinin üstünde olduğu vurgulanmıştır. Su soğutmalı çalışmada, pulpa sıcaklığındaki azalma piyasemen için -5,34 0C, düşük hızlı ters açılı piyasemen için -5,36 0C ve yüksek hızlı ters açılı piyasemen için -4,98 0C olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmaların sonucunda, uzun süreli su soğutmasız temizleme prosedürlerinin pulpaya ısı zarar verebileceğinin farkında olunması ve pulpa dokularına zarar verebilecek sıcaklıkların oluşmasını engellemek için hava-su spreyli soğutma ile yapıştırıcı temizleme işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucuna varılmıştır [1].

Silvana Jukić Krmek ve arkadaşları bu çalışmada çok kısa palsli Er:YAG lazer (2940 nm) ile oyuk hazırlama süresince pulpa odasında oluşan sıcaklık değişimlerini incelemişlerdir. Çalışma her biri 10 sağlam azı diştten oluşan 9 grup üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her dişin bir kökü kesilmiş ve pulpa odasının içine bir ısı çifti (termokupl) yerleştirilmiştir. Minede V sınıfı bir oyuk oluşturulmuş ve hazırlık dentinde gerçekleştirilmiştir. Mine 100 μ sn boyunca çok kısa pals kullanılarak temas (contact) modunda 400, 360 ve 320 mJ ile lazerlenmiştir. Fiber

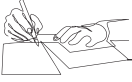


ucun çapı 950 μm 'dir. 10, 12 ve 15 Hz frekansları kullanılmış ve toplam ışınlama süresi 10 sn'dir. Dentin 7 sn süreyle, 10, 8 ve 5 Hz frekanslarında 340, 280 ve 200 mJ ile ışınlanmaktadır. Soğutma su püskürtme (73 psi ve 50 mL/dk) şeklinde yapılmaktadır. Farklar MANOVA ve Bonferroni post hoc testi ile değerlendirilmiştir. Pulpada en yüksek sıcaklık artışı (1,99 $^{\circ}\text{C} \pm 0,28$ $^{\circ}\text{C}$) mine 400mJ, 15 Hz ile ışılandıktan sonra, en düşük sıcaklık artışı (0,70 $^{\circ}\text{C} \pm 0,18$ $^{\circ}\text{C}$) ise mine 320 mJ, 10 Hz ile ışılandıktan sonra elde edilmiştir. Dentinde ise en yüksek sıcaklık artışı (1,37 $^{\circ}\text{C} \pm 0,42$ $^{\circ}\text{C}$) 340mJ, 10 Hz'de, en düşük sıcaklık artışı ise (0,43 $^{\circ}\text{C} \pm 0,18$ $^{\circ}\text{C}$) ise 200 mJ, 5 Hz'de elde edilmiştir. Hem mine hem de dentinin analizi sıcaklık artışında enerjinin etkisinin frekansinkinden daha güçlü olduğunu göstermektedir. İn vitro olarak çok kısa pals kullanıldığında Er:YAG laser ile oyuk hazırlamanın insan azı dişi üzerinde önemli bir sıcaklık artışına sebep olmadığı belirtilmektedir [2].

P. D. Laforgia ve arkadaşları bu çalışmada, tam bir crown için dişin hazırlanması sürecinde pulpa odasındaki sıcaklık değişimlerini gözlemiştir. Morfolojik olarak 12 tane çekilmiş sağlam insan dişi; 4 tanesi köpek dişi, 4 tanesi küçük azı dişi ve 4 tanesi de azı dişi olmak üzere seçilmiştir. Herbiri 6 diştten oluşan iki gruptan biri hazırlama süresince hava ve su spreyi ile soğutulmuştur, diğer 6 diştten oluşan grup ise hava ile soğutulmuştur. Hava ve su spreyi ile soğutulan dişin dentininin minimum azaltılması pulpa odasında daha düşük sıcaklık değişimi meydana getirmiştir. Hava ile soğutma ise pulpa odasında sıcaklık artışı ile sonuçlanmıştır [3].

P. Ottl ve arkadaşları in-vitro olarak yapılan bu çalışmada, dişin hazırlanması sırasında kullanılan aynı şekil ve büyüklükteki farklı gritli elmas frezler ile pulpa odası içinde meydana gelen sıcaklık cevabı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmalar yeni çekilmiş zarar görmemiş 3 numaralı azı diş üzerinde gerçekleştirilmiştir. Pulpa odasındaki sıcaklıkları ölçmek için dişe yerleştirilmiş NiCrNi termokupl kullanılmıştır. Zımparalama testleri ince silindirik, kaba ve oldukça kaba olarak 3 ayrı değerde yapılmıştır. Pulpa içindeki en yüksek sıcaklık artışı oldukça kaba olarak seçilen elmas frez ile yapılan testte 3,2 $^{\circ}\text{C}$ olarak elde edilmiştir. Pulpa meydana gelen sıcaklık artışı ile zımparalama süresinin ve soğutma suyu sıcaklığının yaklaşık olarak doğru orantılı olduğu belirlenmiştir [4].

B. Öztürk ve arkadaşları yüksek hızlı piyasemen ile dişin hazırlanmasında dental pulpanın ısı zarar görebilme ihtimalini ele almışlardır. İn vitro olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, 3 farklı su soğutma seviyesi ve 4 farklı diş hazırlama tekniği kullanılarak pulpa haznesinde meydana gelen sıcaklık değişimleri değerlendirilmiştir. Sıcaklıkları ölçmek için ucu pulpanın haznesinin merkezine yerleştirilmiş olan bir termokupl kullanılmıştır. Uygulamalar 120 adet çekilmiş küçük azı dişi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Düşük hava basıncı/düşük yük, düşük hava basıncı/yüksek yük, yüksek hava basıncı/düşük yük ve yüksek hava basıncı/yüksek yük olmak üzere 4 farklı diş hazırlama tekniği 3 farklı su soğutma seviyesinde karşılaştırılmıştır. Kontrol numuneleri su soğutmasız, 15mL/dk düşük su soğutma ve 40 mL/dk yüksek su soğutma şeklinde soğutulmaktadır. Herbiri 10 diştten oluşan 12 grup oluşturularak çalışmalar bu gruplar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Pulpa sağlığı için kritik sıcaklık artışı 5,5 $^{\circ}\text{C}$ olarak alınmıştır.



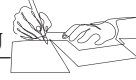
Sonuçlar 3 faktörlü ANOVA ve Mann Whitney U testi ayarlı Bonferroni ile analiz edilmiştir. Su soğutmasız olarak yapılan testlerin hepsinde pulpa haznesi sıcaklığının 5,5 °C'lik kritik sıcaklığı geçtiği, yüksek su soğutmalı testlerin hiçbirinde ise kritik sıcaklığın aşılmadığı ifade edilmektedir. Çalışmanın sonucunda su soğutma miktarının azalmasının veya hava basıncının artmasının pulpa sıcaklığının artmasına sebep olduğu belirtilmektedir [5].

B.N. Cavalcanti ve arkadaşları, dönen kesici cihazların diş dokusu üzerinde kullanılmasından dolayı oluşan sürtünmeye bağlı olarak diş üzerinde oyuk ve diğەر uygulamaları hazırlamada sıcaklık artışının meydana getirdiğini vurgulamaktadırlar. Bunu incelemek amacıyla iki farklı diş hazırlama tekniğı için 3 farklı su soğutmanın etkinliğini değerlendirilmektedir. Diş pulpaları için 5,5 °C'lik sıcaklık farkının kritik değeri olduğu belirtilmektedir. Temin edilmesinin kolay olması ve insan dişininkine benzer sonuçlar vermesinden dolayı 30 sığır dişi üzerinde çalışılmıştır. Diş pulpasında meydana gelen sıcaklık artışını ölçmek için pulpa haznesine yerleştirilen termokupl kullanılmaktadır. Diş hazırlama tekniğı olarak düşük yük diş hazırlama ve yüksek yük diş hazırlama tekniğı kullanılmaktadır. Su soğutma tekniğı olarak ise 0 mL/dk, 30 mL/dk ve 45 mL/dk kullanılmıştır. Bu testleri gerçekleştirebilmek için her biri 5 diştten oluşan 6 grup oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar 2 faktörlü varyans analizi ($P < .05$) kullanılarak analiz edilmiştir. Yüksek yüklü teknikle yapılan testlerin tamamında sıcaklık artışının 5,5 °C'yi geçtiğı (16,4 °C, 11,68 °C, 9,96 °C), düşük yüklü testte ise soğutmasız (0 mL/dk) hariç diğeri testlerde 5,5 °C'nin altında (9,54 °C, 1,56 °C, 0,04 °C) olduğu belirtilmektedir. Düşük yüklü ve su soğutmalı çalışmanın, diş hazırlama ve dişte oyuk işlemlerinde daha düşük sıcaklık artışı meydana getirdiğı belirtilmektedir [6].

W.S. Brown ve arkadaşları, bu çalışmada dişin yoğunluk ve özgül ısı ölçümlerini yapmıştır. Bu değeri ve daha önceki farklı çalışmaların sonuçları ile karşılaştırmalı olarak mine ve dentin tabakaları için dişin termal yayıcılığını ve iletkenliğini değerlendirmişlerdir. Termal yayıcılık için elde edilen değeri geçici sıcaklık iletkenliğinin mine tabakasında dentindekinden daha kolay meydana geldiğini göstermektedir. Çalışmada ani bir sıcaklık değişimine maruz bırakılan dişte minenin dentinden çok daha hızlı olarak yeni sıcaklığa ulaştığı ifade edilmektedir. Eğer sıcaklık değişimi yeterince büyük olursa minede çatlakların meydana gelebileceğı vurgulanmaktadır [7].

T.A.M. Spierings ve arkadaşları, bu çalışmada eksenel simetrik diş modelinde sıcaklık dağılımı ve ısı akış desenini sonlu elemanlar analizi kullanılarak çalışmıştır. Bunun için çeşitli oyuk geometrileri ve restoratif malzemeler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Pulpa ve restorasyonun civarında ısı akışının yönünün oyuk geometrisinden bağımsız olduğu ifade edilmiştir. Ancak standart bir restorasyon açısından hazırlanan bir amalgamın, dental bir cemente bağı olarak pulpa-dentin bağlantısında hem sıcaklık artış hızında hem de maksimum sıcaklıkta bir artış gösterdiği ifade edilmektedir. Oyuk geometrisinin yanı sıra, sıcaklık alanının kullanılan yenileme malzemesinin özelliklerine bağı olduğu ifade edilmektedir [8].

M. Sulieman ve arkadaşları, bu çalışmada diş ağartma işlemi süresince alt ve üst ön dişler üzerinde in vitro olarak yüzey ve pulpa içi sıcaklık artışlarını ölçmüştür. Bu amaçla, çekilmiş üst merkezi kesici dişlerin yüzeyi üzerindeki sı-

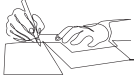


caklık artışını ölçmek için ısı çift (termokupl) kullanmışlardır. Pulpa içi sıcaklık okumaları alt ve üst merkezi kesici, lateral kesici ve köpek dişleri üzerinde yapılmıştır. Diş ağartması önerilen, plazma ark lamba, xenon-halogen lamba, standart halojen lamba ve lazer diyet lamba üzerinde test edilmiştir. Sıcaklık ölçümleri diş dudak yüzeyi üzerinde ağartma ajanlı ve ajansız olarak yapılmıştır. Ağartma lambalarının çoğunda pulpa içi sıcaklık artışının geri döndürülemez pulpa zararı meydana getiren 5.5 oC'lik kritik eşiğin altında kaldığı belirtilmektedir. Sadece, lazer diyet lambanın bu eşik değerin üzerinde pulpa içi sıcaklık artışı ürettiği ve bunun için bu donanımın çalışırken dikkatli olunması gerektiği ifade edilmektedir [9].

H.O. Trowbridge ve arkadaşları bu çalışmada, termal uyarıya dişin cevabını araştırmıştır. Algılayıcı elemanların yerleştirildiği pulpa-dentin bağlanma bölgesinde sıcaklık değişmeden önce algısal cevabın meydana geldiği belirtilmektedir. Bu verilere bağlı olarak dentindeki sıcaklık değişimi yoluyla üretilen hidrodinamik kuvvetleri değerlendirmek için teorik bir model geliştirilmiştir. Bu kuvvetlerin dişteki algısal yapıları uyurabileceği ifade edilmektedir [10].

H. Haskan ve arkadaşları bu çalışmada, farklı malzemelerle yapılan restorasyonlarda oluşan sıcaklık değişimlerinin ısı streslere sebep olduğunu vurgulamaktadır. Bu streslerin farklı malzemeler arasındaki temas bölgesinin etrafında yükselebileceği ifade edilmektedir. Termal streslerin mekanik yüklerin sebep olduğu streslerle artabileceği ve bunların diş yapılarında çatlaklara sebep olabileceği, bunun ise dişin kullanım ömrünü oldukça kısaltacağı vurgulanmaktadır. Bu nedenle çalışmada metal destekli porselen restorasyonlarında ağız içindeki sıcaklık değişimlerinden dolayı diş yapısındaki termal streslerin matematiksel olarak tespit edilebilmesi amaçlanmıştır. Bunun sonucunda sıcaklık arttıkça belli bir mesafede stres değerinin de arttığı ortaya çıkmıştır. Seramik ve dentin bölgelerindeki stres değerlerinin metallerdekinden daha yüksek büyüklüklere ulaştığı ifade edilmektedir. Ayrıca sıcaklık ve stres artış oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirtilmektedir [11].

H.R. Jacobs ve arkadaşları bu çalışmada, tipik çiğneme işlemindeki ısı transfer katsayısı için ölçümler gerçekleştirmiştir. Yenen çoğu gıdalar için elde edilen değerler içeceklerle elde edilen değerlerden daha düşüktür. Katı gıdalardan sonraki ısı transfer katsayısı için elde edilen düşük değerler, katı gıdalar yerken dişte çok az bir sıcaklık değişimi meydana geldiğini yani dişin soğumasına imkân verdiğini göstermektedir. Ancak dondurmanın bir istisna olduğu ve özellikle erime aşamasında daha yüksek bir ısı transfer katsayısı ile sonuçlandığı ifade edilmektedir. Soğuk içeceklerin içilmesinin daha yüksek bir ısı transfer katsayısı ortaya koyduğu ve diş sıcaklığında çok büyük düşüşlerle sonuçlandığı ifade edilmiştir. Dental uygulamalarda sıvı içerikli ısı transfer katsayısı bakımından, oyuk hazırlama süresince kullanılan irriganın sıcaklığının önemli olduğu belirtilmiştir. Dişin üzerine soğuk bir su akışının çarpmasının gereksiz hasta huzursuzluklarına veya histolojik zararlara sebep olabileceği veya sonuçlanabileceği belirtilmektedir. 28 oC'lik sıcaklık değişimlerinin ısı stres yoluyla diş kırabileceği, bunun için normal ağız sıcaklığının çok altında suyun kullanılmaması gerektiği belirtilmektedir [12].



M. Lin ve arkadaşları bu çalışmada, dentinin termal uyarılmasını takiben ağrı hassasiyetinin başlaması ile dentin tüplerdeki sıvı akışı ilişkisini incelemektedir. Bunun yanında, ısınma ve soğumanın sinir cevabı gecikmesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sıvı akışının sıcaklık değişimi de göz önüne alınmıştır. Bu amaçla termal uyarı altındaki bir dişte sıcaklık ve ısıl stres dağılımını uyarmak için bir matematiksel model kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar dentin sıvısı ve dentin tüplerinin deformasyonu göz önüne alınarak, tek bir dentin tüpündeki sıvı akışını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Dentin tüplerinin ısıl deformasyonu yoluyla sebep olunan hızlı sıvı akışı soğutma sonrasında mekanik duyarlı reseptörlerin kısa gecikmeli aktivasyonundan sorumlu olabileceği belirtilmektedir. Uzun gecikmeli sinir cevaplarının ısıl duyarlı reseptörlerin aktivasyonu ile ilgili olabileceği ifade edilmektedir [13].

P. Linsuwanont ve arkadaşları bu çalışmada, diş yapısı içindeki sıcaklık değişimi ile ilişkili olarak sıvı hareketi bakımından çekilmiş sağlam dişlerin termal uyarıya cevabını araştırmıştır. Bu amaçla mine tabakasına uygulanan termal uyarıya dental sıvı akışının cevabı ölçülmüştür [14].

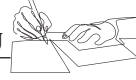
M. Lina ve arkadaşları bu çalışmada, dişteki ısı transferi üzerine şimdiye kadar yapılmış olan en geçerli yöntemler olarak kabul edilen çalışmalar ve matematiksel modelleri derlemiştir. Mevcut deneysel ve matematiksel metotların sınırları tartışılmış ve çözümler sunulmuştur. Aynı zamanda, termal olarak uyarılmış dental sıvı akışı kavramında ısıl diş ağrısının yorumu tartışılmıştır [15].

M. Lin ve arkadaşları bu çalışmada, insan dişinin mine ve dentin tabakalarının termal özelliklerini değerlendirmek için tahribatsız olarak karakterize edilen yeni bir metot sunmaktadır. Bunun için dentin ve mine tabakalarını fiziksel olarak birbirinden ayırmaksızın termal yayıcılıklarını ölçmek için geleneksel ısıtma düzeni ile infrared termografi ile birleştirilmiştir. Aynı zamanda dentin ve mine için termal iletkenlik hesaplanmıştır. Dentinin mikro yapısının konfigürasyonu üzerine termal iletkenliğin bağımlılığını belirlemek için Maxwell-Eucken ve etkin termal iletkenliğin paralel modelleri kullanılmıştır. Bunun sonucunda dentin tüplerinin paralel olması durumundaki etkin termal iletkenliğin tüplerin dik olması durumuna göre 1.1 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Bunun ise dentin tüplerin ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu işaret ettiği ifade edilmektedir [16].

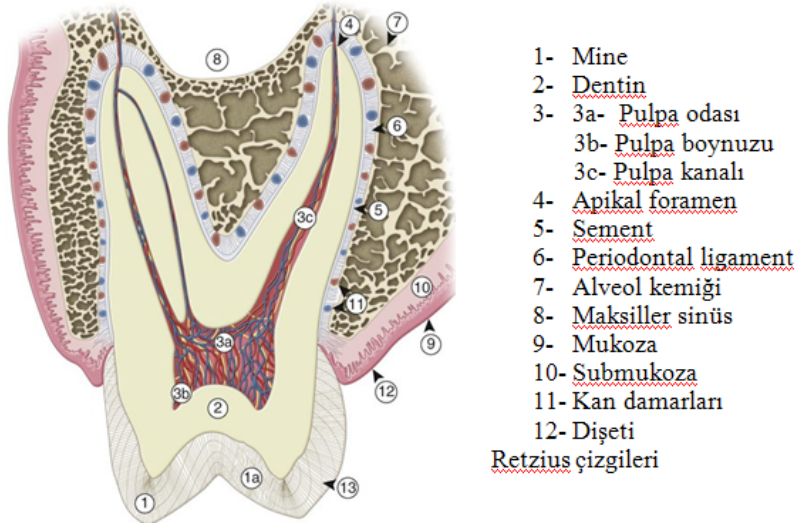
3. DİŞ YAPISI

Diş, sindirim sisteminin başlangıcı olan ağızda bulunan, ana işlevi besinlerin mekanik olarak öğütülmesini sağlayan organdır. Mekanik sindirimin yanı sıra konuşma ve yüz güzelliği açılarından da önemlidir. Diş, klinik olarak kron ve kökten oluşur. Kron kısmı ağızda görünen ve mineyle kaplı bölümdür. Kole bölgesi kronu ve kökü ayırır. Kök ise büyük bir kısmı çene kemiği içinde kalan mine-sement birleşimi ile krontan ayrılan ve periodontal ligament tarafından çene kemiğine bağlanan kısımdır. Keser dişlerde tek premolar ve molar dişlerde ise birden fazladır [17].

Dişlerin kökleri tek veya birden fazla olabilir. Bir diş tek köklü ise bir apeks (uç) ile sonlanır. Birden fazla kökü olan dişlerin kök bölümleri bifurkasyon (ikiye çatallanım) veya trifurkasyon (üçe çatallanım) göstererek iki veya üç köke ayrılır.



bilir ki bunların uçlarına apices denir. Bir maksiller moların ve çevre dokularının kesiti Şekil 3.1'de görülmektedir.

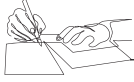


Şekil 3.1. Bir maksiller moların ve çevre dokularının kesiti

3.1. Yüzeyler Ve Kenarlar

Mine dişin en dış tabakasıdır. Kasp tepelerinde 2-2,5 mm kalınlığa ulaşabilir. Dişin kole bölgesine doğru kalınlığı azalarak sonlanır. İnsan vücudundaki en sert dokudur ve hidroksi apatitten oluşur. %96 oranında inorganik, %2 organik, %2 sudan oluşur. Ağırlık bakımından % 95'i inorganik, % 1'i organik, % 4'ü sudur. İnorganik yapıda % 90 - 92 oranında, kalsiyum fosfat [$3 \text{ Ca}_3 (\text{PO}_4)_2$], 10800 ppm. sodyum (Na), 3560 ppm. magnezyum (Mg), 388 ppm. demir (Fe), 276 ppm. çinko (Zn), 94 ppm. stronsiyum (Sr), 65 ppm. flor (F) ve eser miktarda rubidyum, brom, bakır, altın, gümüş, krom ve kobalt bulunur. Minenin organik fraksiyonunu oluşturan keratin % 13 oranında hidroksiprolin, % 3 glikoz, % 0.5 heksosamin ve % 0.09 kollajenden oluşur. Histolojik yapısı, 4-6 μm çapında altıgen mine prizmalarından meydana gelmiştir. Prizmalar arasında interprizmatik alanlar ve köprüler vardır. Minenin sertliği, yüzeyden iç kısımlara doğru azalır, mine-dentin sınırında en düşüktür [18]. Elastisite modülü yüksek, kırılma tokluğu ve gerilme direnci düşüktür.[19-21]

İnsan minesi; birbirine kenetlenmiş, çapraz kesitlerde yuvarlak bir baş veya gövde kısmı ile bir kuyruk kısmından oluştuğu görülen mine prizmalarından meydana gelir. Her prizmanın yuvarlak baş kısmı (yaklaşık 5 μm genişliğinde) Komşu iki prizmanın kuyruk kısımları (yaklaşık 5 μm uzunluğunda) arasında uzanır. Genelde, yuvarlak baş kısmı okluzal veya insizal yönde konumlanırken; kuyruk kısmı servikal yönde uzanır. Mine prizmalarının sayısı, sıklığı ve yönleri Kristaller ortalama 1600 Ao uzunluğunda, 200-400 Ao genişliğinde ve farklı şe-



killeredir. Her bir apatit kristali son derece düzenli şekilde sıralanmış atomlara sahip binlerce hücre biriminden meydana gelir.

Tablo 3.1. Dişin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Refraktif İndeks	1,62
Özgül Ağırlık (Gravity)	2,9
Sertlik (Knoop no)	296
Young's Modülü	131 GN m ⁻²
Basma Direnci (Compressive Strenght)	76 MN m-2
Germe Direnci (Tensile Strenght)	Gerilme direnci düşük ve kırılımandır. (46 MN m ⁻²)

Tablo 3.2. Dental doku ve materyallerin özellikleri

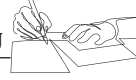
Dental Dokular ve Materyaller	Poisson Oranları (ν)	Elastisite Modülleri (E)
Mine	0.31	84,1 GPa
Dentin	0,33	18,5 GPa
Sement	0.31	18,7 GPa
Pulpa	0,40	0,03 MPa
Peridontal Ligament	0,45	68 MPa
Amalgam	0,31	30 GPa
Kompozit Rezin	0,31	14 GPa

Dental dokular ve restoratif materyallerin poisson oranları ve elastisite modülleri.[22,23]

Dentin; dişin esas hacmini oluşturan kısımdır. Dentin dokusu, mine dokusuna nazaran daha az mineralize olup daha az kırılğan olmasına rağmen komoapkt kemikten daha serttir. Dentin tübüleri adı verilen boşluklara sahiptir. Bu boşluklarda pulpadaki odontoblast hücrelerinin uzantıları bulunur. sarımsı beyaz renkte,ışığı yarı geçirgen özelliğe sahiptir [24,25].

Dentin dokusunun başlıca histolojik yapı elemanları; dentin kanalları dentin dokusunu oluşturan odontoblast hücreleri ve bunların uzantıları olan Tomes lifleri ile intertübüler dentindir. Gençlerde dentin kanalları pulpa odası yakınında 3-4 mikron çapında iken; mine- dentin sınırında bu çap 2 mikron kadar düşmektedir. Yaşlanmayla birlikte kanal çapı daralır; gençlerde kanal çapı ortalama 3.3 mikron iken yaşlılarda 1.2 mikrona düşer. Milimetre karedeki dentin kanalı sayısı, konuma göre 30.000-90.000 arasında değişir. Dentin kanallarının milimetre karedeki sayısı ortalama 75.000 dir. Dentin kanallarının yoğunluğu mine-dentin sınırında en düşük, predentin bölgesinde ise en yüksektir. Kanallara dik alınan bir kesitte odontoblast uzantısı etrafında görülen, ışığı iyi geçiren ve bütün kanalı bir kılıf gibi kaplayan dentin parçasına peritübüler dentin adı verilir. Yine aynı kesitte peritübüler dentin halkacıkları arasında kalan ve daha az kalsifiye kısma da intertübüler dentin adı verilir.

Dentin dişin kron ve kökünde bulunan bir dokudur. Ağırlıkça % 75-78' i inorganik, % 18' i organik ve % 4-7' si sudan oluşmuştur. İnorganik yapısında % 1.5 magnezyum, % 0.07 potasyum, % 0.009 - 0.01 demir, % 0.02-0.08 çinko, %



0.0085 stronsiyum, % 0.01 - 0.03 oranında da kurşun bulunur. Organik yapısını, kollagen ve substantia fundamentalis, kondroidin sülfat, mukoproteinler, sialoproteinler, lipitler, sitratlar ve flüoresan maddeler oluşturur [18]. Dentin, mineye oranla daha düşük sertlik ve elastisite modülü değerine sahiptir [26]. Koroner dentinin sertliğini ve elastisite modülü, radiküler dentindekinden daha yüksektir [27]. Dentin, mineden daha fazla çekme gerinimine ve kırılma tokluğuna sahiptir [28].

Tablo 3.3 Mine ve Dentini oluşturan maddelerin dağılımı [18]

Bileşen	Ölçek	İnorganik Madde	Organik Madde	Su
Mine	% Ağırlık	95	1	4
	% Hacim	87	2	11
Dentin	% Ağırlık	70	20	10
	% Hacim	50	30	20

Diş pulpası, dişin dentin dokusu ile çevrili pulpa boşluğunu (pulpa odası ve kök kanalları) dolduran kan damarı ve sinirden zengin gevşek bağ dokusudur. Kan damarları ve sinirler köklerin ucunda bulunan apikal foramen adı verilen açıklık yoluyla pulpaya girerler [29].

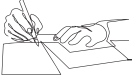
Pulpa, nöral krest ektomezenşimal hücreleri tarafından oluşturulan müköz tipte bir bağ dokusudur. Vücuttaki diğer bağ dokularından farklı olarak diş sert dokularından biri olan dentinle çevrilmiştir. Dişin iskeletini oluşturan, mineralize bir doku olan dentin dışarıdan gelecek patojen ve iatrojenik yaralanmalara karşı fiziksel bir bariyer oluşturur [30,31].

Pulpa; hücreler arası esas madde, hücreler, lifler, damarlar ve sinirlerden oluşan son derece özelleşmiş ve mezoderminden köken alan bir bağ dokusu sistemidir. Dişten dekalsifiye edilmiş bir kesit alındığında dıştan içe doğru dentin, predentin, odontoblast tabakası, hücreden fakir (Weil tabakası) tabaka, hücreden zengin (hücreli) tabaka ve santral bölgeden oluşur [30,31].

Odontoblast tabakası; pulpa ve dentin dokusu arasında yer alan odontoblast hücre gövdelerinden oluşan ve odontoblastların tek sıra halinde dizildiği bir tabakadır. Odontoblast gövdesinin devamı olan odontoblast uzantıları dentin kanalcıkları içinde yer almaktadır [30,31].

Odontoblastlar, pulpayı bir kılıf gibi sarmaktadırlar. Dentin teşekkülünü hayat boyu devam ettirdiklerinden pulpa dentin kompleksi hücrelerinin büyük çoğunluğunu oluşturan en önemli hücrelerdir. Yüksek derecede diferansiye olan bu hücreler, dentinogenezis esnasında dentinin başlangıç mineralizasyonunda mineral kristallerini salgırlar. Oluşturulan mineral yapının ardından yalnızca matriks salgırlar ve dentin kanallarını yaparlar. Bu hücreler dentin ve predentinin organik matriksinin bileşenleri olan kollajen ve proteoglikanları üretirler. Bunların yanında non-kollajenöz proteinler de salgırlar [32].

Odontoblastlar; dentin tübülleri içinde yer almakta ve odontoblastik uzantıları ile diş ortama yakın konumlanmaktadır. Pulpanın içindeki sinir uçları, odontoblastik hücrelerin sitoplazmaları ile dentin içinde her yöne dağılmaktadır. Çeşitli uyarıların pulpayı çabuk etkilemesi (restoratif materyaller, restoratif



işlemler ve bakteri toksinleri) bu temele dayandırılarak izah edilmektedir. Aynı zamanda odontoblastlar enfeksiyonun yan ürünlerini ve demineralizasyonda ortaya çıkan dentin matriks içeriğini ilk algılayan hücrelerdir. Altteki doku için invaze olacak bakterilere karşı koruyucu bir bariyer görevi üstlenen bu hücreler bir immünokomponent olarak enflamatuar cevapta yönetici rol oynarlar [30,33].

Hücreden fakir tabaka; 40 milimikron genişliğinde odontoblastik tabakanın hemen altında yer alan, zamanla genişliği azalan ve kuron pulpasında daha belirgin olarak ayırt edilen bir bölgedir. “Weil tabakası” olarak da adlandırılır. Pulpanın fonksiyonuna bağlı olarak bu tabakanın genişliği değişebilir. Hücreden zengin tabakada bulunan pek çok hücreye ait dallanmış sitoplazmik uzantılar, subodontoblastik kapiller kan damarları, duyuşal ve miyelin kılıfını kaybetmiş sinir liflerine ait terminal dallanmalar yaygın olarak bulunur [31,32].

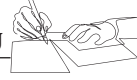
Hücreden zengin tabaka; pulpanın esas kütesini oluşturan tabakadır. Makrofaj, lenfosit ve plazma hücrelerinin yanı sıra farklılaşmamış mezenkim hücreleri ve fibroblastlar yoğun olarak bu tabakada bulunmaktadır. Bu tabaka kuron pulpasında kök pulpasına göre daha belirgin olarak bulunmaktadır. Bu tabakada farklılaşmamış mezenkim hücrelerinin proliferasyon ve farklılaşması ile çeşitli sebeplerle harabiyete uğramış odontoblast hücrelerinin yeniden teşekkülü meydana gelmektedir [30,34].

Santral bölge pulpanın en iç tabakasıdır. Temel olarak fibroblastlar ve farklılaşmamış hücrelerden oluşurlar. Ekstrasellüler matriks kollajenöz fibriller, elastin lifler ve ince lif demetleri, büyük kan damarları ve sinir gövdeleri içerir. Tüm bu pulpal yapılar jel benzeri bir madde içinde gömülmüşlerdir. Bu madde yüksek miktarda su ve bunun yanında çeşitli bileşenler içerir [35].

Dişin gelişimi sırasında düzgün bir şekilde oluşturulan kök oluşumunun tamamlanmasına kadar üretilen dentine Primer dentin adı verilir ve büyük bir kısmı dişin sürmesinden önce meydana gelmektedir. Kök gelişiminin tamamlanmasından sonra, çok daha yavaş bir hız ile hayat boyu yapılan dentin sekonder dentin adını alır [32,36].

Sekonder dentin ve primer dentinin her ikisinde birincil odontoblastlar tarafından salgılandığı için tübüller devamlılık gözlenmektedir. Fakat sekonder dentinde tübüllerin düzenli görünümü kaybolur. Bu yüzden primer ve sekonder dentin sınırı fark edilebilir. Sekonder dentinin (veya henüz teşekkül etmemiş ise primer dentinin) pulpaya komşu olan yüzünde henüz tam kireçlenmemiş bir tabaka vardır ki bu tabakaya predentin adı verilir [38,39].

Tersiyer dentin; kimyasal iritanlar, atrizyon, çürük, kavite preparasyonu ve restoratif işlemler gibi dış etkenlere cevaben lokal olarak şekillenen dentin matriksidir [39]. Tersiyer dentin oluşumu sekonder dentin oluşumunun tersine dışarıdan gelen uyarılara karşı odontoblast uzantılarındaki kesintilere bağlı olarak daha az duyarlılık göstermektedir. Tersiyer dentin, kendi içinde dış etkenin şiddeti ve gelişen biyolojik olaylara bağlı olarak reaksiyoner ve reperatif dentin olarak iki alt sınıfta ayrılmaktadır [40]. Hafif uyarılar karşısında birincil odontoblastlar tarafından üretilen dentine reaksiyoner dentin denir. Güçlü bir uyarı tarafından birincil odontoblastlar zarar gördüklerinde subodontoblastik hücre-



lerden ve perisitlerden köken alan 'odontoblast benzeri hücreler' veya 'sekonder odontoblastlar' oluşur. Bu hücreler de tersiyer dentinin reperatif tipini salgılar.

Pulpanın uyarılara karşı gösterdiği cevapta pulpanın sağlık durumu, kalan dentin kalınlığı ve dentin geçirgenliği önemli bir faktördür [41]. Uyarıların şiddetine karşı pulpanın verdiği cevap; dentin kanallarının tıkanması, tersiyer dentin oluşumu veya pulpal enflamasyon şeklinde olabilir [42].

3.2. Dişte Oluşabilen Fiziksel Etkenler

Mekanik Etkenler:

Travma: Travma, dişin kronunun ve/veya kökünün kırığı ile birlikte veya kırıksız olarak görülebilir. Trafik kazası sonucu, kavga sırasında gelen bir darbe sonucu yâda ev kazalannda görülebilir [43].

Çatlak diş sendromu: Dişteki tam olmayan kırıklar idiyopatik kökenli ağnlara neden olabilirler. Bu Çatlak diş sendromu diye adlandırılır. Bu hastalar hafiften şiddetliye kadar değişen ve ısırma basıncı altında oluşan ağrıdan şikâyet ederler [43].

Basıncı altında oluşan pulpa ağrıları: - Yüksek irtifadaki pulpa değişimleri Barodontalji veya Aerodontoloji olarak bilinir. Barodontalgia 1650 metre üstünde görülebilir. Kronik pulpitisli diş yeryüzü seviyesinde semptomsuz olabilir fakat yüksek irtifada basıncı değişmesinden dolayı ağrı oluşturabilir.

Patolojik durumlar - Abrasyon ve atrizyon gibi patolojik durumlarda eğer sekonder dentin yeterince hızlı bir şekilde depo edilmezse pulpa açılabilir yâda açılmaya yakın bir hale gelebilir. Oklüzal travma, periradiküller bölgede yer alan nörovaskiller yapıdaki tekrarlayan iritasyonlar nedeni ile pulpayı zedeleyebilir [43].

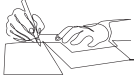
Termal Etkenler:

Dolgu maddeleri ile oluşan ısı - Siman kullanılmadan pulpaya yakın olarak yerleştirilen metal dolgular hızlı ısı değişimlerine neden olabilir. Dondurma yeme, sıcak kahve içme gibi ısı değişimleri pulpa zedelenmelerine katkıda bulunabilir [43].

Polisaj sırasındaki ısı - Dolgu metallerinin cilalanması yâda siman düzeltilmesi sırasında ortaya çıkan ısı kısa süreli geçici pulpa zedelenmelerine yol açabilir [43].

Kavite preparasyonu - Pulpa, kavite preparasyonu sırasında kesici aletin sıcaklığı ve dentinin kesilmesi ile zedelenebilir. Fish, dentin kanallarının kesilmesinin, kesilen bölgenin altındaki pulpa yüzeyi üzerindeki odontoblastik tabakanın dejenerasyonuna neden olduğunu göstermiştir. Eğer ileri derecede bir zedelenme olmuşsa pulpada kanama olmaktadır. Hafif zedelenme durumunda ise dentin kanalları altında sekonder dentin oluşmaktadır. Ayrıca kesilmiş dentin kanallar ağız ortamından ve irrite edici maddelerden izole edilmedikçe pulpa zedelenmesinin geriye dönülmez biçimde olacağını ileri sürülmüştür [44].

Genç daimi dişlerde pulpa ve dentin, uyarıların oluşturduğu yaralanmalardan mine dokusu sayesinde korunmaktadır. Mine dokusunun çürük ve travmatik yaralanmalar sonucunda yıkılması ile pulpa dokusu üzerinde kimyasal, fiziksel ve mikrobiyal ajanlar pulpa üzerinde yıkıcı etkiler oluşturmaktadır [30].



Pulpa dokusunda arteriollerle mikrosirkülasyonun gerçekleştiği, etrafının ise esnemeyen sert doku duvarlarıyla örülmüş bir yapıya sahip olduğundan; dişin sert dokuları olan mine ve dentinde ısıнын dağılmasının daha az, oluşabilecek patolojik hasarın ise daha fazla olacağı bildirilmiştir [45].

Zach ve Cohen "rhesus maçaça" maymunlarında yaptıkları çalışmada pulpa odasında meydana gelen 10° F (5,5°C)'lık sıcaklık artış durumunda pulpa odasında %15 vitalite kaybının, 20° F (11,1°C)'lık sıcaklık artış durumunda reperatif reaksiyonların yetersiz olması ve pulpa içi apse varlığı ile beraber % 60 vitalite kaybının, 30° F (16,6°C)'lık sıcaklık artış durumunda ise %100 nekroz gözlendiğini bildirmişlerdir [46].

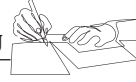
Dişin preparasyonu sırasında, kesici aletin açığa çıkardığı, sürtünmeden doğan ısı aletin dişe uygulanması sırasında oluşan basınç, birbiriyle orantılıdır. Peyton, in vitro olarak dönüş hızları, soğutucular, basınç ve ısı yükselmesi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. 227 gr. Basınçta soğutmasız karbit frez kullanırken ısı artışı 49°C bulunmuştur. Basınç, 453 grama yükseltildiğinde sıcaklık 80°C'ye yükselmiştir. Peyton aynı zamanda su püskürtme soğutmasının hava püskürtme soğutmasından daha etkili olduğunu göstermiştir. Deneylerini in vitro şartlarda yapan Schuchard ve Watkins ve Zach ile Cohen de benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Preparasyon alanı ne kadar yaygın olursa pupanın zedelenme olasılığı da o kadar fazladır. Bir milimetrekare dentin 40.000 - 70.000 dentin tübülü içerir. Zach ve Cohen pulpa hasarının kesilmiş diş miktarı ile orantılı olduğunu göstermiştir [44].

Preparasyon sırasında kullanılan aletin tipi ve etkinliği de önemlidir. Büyük çaph bir aletin, belli rpm'de daha büyük periferel hızı vardır. Yüksek hız nedeniyle daha fazla ısı açığa çıkmakta ve pulpa zedelenebilmektedir. Küt bir alet ise belli bir yüzey alanı kesmek için daha fazla basınç ve daha fazla zaman gerektirecektir ve dolayısıyla bu iki faktörün de pulpa zedelenmesine katkısı olacaktır. Peyton soğutmadan bağımsız olarak çelik bir frezin karbit yâda elmas frezden daha fazla ısı açığa çıkardığını ortaya koymuştur [44].

Pulpa ile kavite tabam ve duvarları arasındaki dentin tabakası ne kadar ince olursa, ısı, ilaç ve dental maddelerin pulpa zedelenmesine yol açma olasılığı o kadar fazladır [44]. Zach ve Cohen [47] yüksek ya da düşük hızla susuz yapılan preparasyonların pulpa nekrozuna neden olabileceğini bildirmişlerdir. Pulpal ısıda 10 saniye boyunca meydana gelen 5°F(2°C)'lık ısı artışının odontoblastlarda hasara neden olabileceği, 10°F (5°C)'lık ısı artışının derin pulpal hasara neden olabileceği ve 30°F (18°C)'lık ısı artışının ise sıklıkla pulpa nekrozu ile sonuçlanabileceğini ifade etmişlerdir [46,47]. Zach ve Cohen [46] bir başka çalışmalarında 5.5°C'den daha fazla sıcaklık artışı durumunda %40 oranında inflamasyonun oluştuğunu, sıcaklığın normal değerin 11°C üzerine çıkması sonucu nekroz gözlendiğini bildirmişlerdir. Pulpal dokunun 5.5°C den daha fazla sıcaklık artışını tolere edemeyeceğini ifade eden Calvacanti ve ark [6] ise hekimlerin su akış miktarını kontrol altında tutmalarının gerekliliğini vurgulamışlardır.

Kimyasal ve Bakteriyel Etkenler:

Pulpanın bağ dokusu hücrelerinden ve dokuya davet edilen makrofajlardan vazodilatasyon yapan mediyatörler salınır. Bir yandan buna bağlı olarak kan da-



marları genişlemekte iken, diğer yandan kapalı bir ortamda yar alması nedeniyle pulpa dokusu genişleyememektedir. Pulpanın iç basıncı hızla artmaktadır. Üstelik pulpa dokusu, anatomik bir talihsizlik olarak, pulpa, kollateral damar ağından yoksundur. Artan basınca rağmen, pulpa dokusu total hacmini muhaza etmek zorundadır [48].

Pulpal immün tepkime sırasındaki olayların, pulpa odası içerisinde sınırlı olması, oluşturulan savunmanın aleyhinedir. Belki pulpa kapalı bir doku olmasaydı, kendisini daha kolay savunabilecekti. Dokudaki genişleme mümkün olmayınca, genişlemeyi sağlayacak vazoaaktif mediyatörler daha çok salgınır. Bu gittikçe artan uyarı, pulpanın felaketi olur. Pulpanın anatomo fizyolojisi buna müsait değildir. Artan basınç, damarlarında yırtılma ve kanamalara sebep olur. Bütün bu olaylar sürekli olarak pulpa içi basıncının artması ile devam eder (halbuki aynı olaylar periapikal bölgede olduğunda kollateral vaskülarizasyon nedeniyle tolere edilir). Bundan dolayıdır ki pulpa dokusu diğer dokulara göre travmalara daha hassastır [48].

Bu dönemde, pulpadaki sayıları artmış olan mast hücrelerinden IgE tipinde antikorlar da salgınır. Uyarılan mast hücrelerinden PAF yanında, TNF de salgılanır, bu maddeler kendisinin tekrar salgınmasını sağlayacak özelliktedir ve doku konsantrasyonu hızla yükselerek damar içi pıhtılaşmaya sebep verir. Serotonin ve diğer vazoaaktif aminlerin salgınmasını sağlar, dokuda araşidonik asit birikmesine ve periapektan daha çok mast hücrelerinin pulpaya davet edilmesine sebep olur. Ağrı eşik değerini düşürerek prostoglandinlerin daha çok ağrı yaratmasına da sebep olur. Pulpitisin bu safhasının kliniğe yansması, şiddetli spontan ağrı şeklindedir. Bakterilerin pulpayı sindirmeleri de başlamıştır, mikrobiyolojik olarak 1.inci faz (karbonhidrat fermentasyon fazı) yaşanmaktadır, hatta pulpanın basıncı öylesine artarki, hastanın sistolik kan basıncı ile artan, diyastol sırasında azalan bir ağrısı olabilir ve hasta kalp atışlarını ağrı şeklinde dışında hissedebilir (pulsatif ağrı) [48].

Diş yüzeyinde sıcaklık artışlarının değerlendirilmesinde infrared kamera ve termokupl kullanılmaktadır. İnfrared kamera kullanımı; uygulanan yüzeylerde sıcaklık değişimini değerlendirmektedir. Bu sebepten dolayı pulpa odasında sıcaklık artışının değerlendirilmesinde termocupllar kullanılmaktadır [49]. Yapılan birçok çalışmada termocupl; kompozit rezinin içine, kompozit rezinin ve dentin disklerinin alt yüzeyine, kavite açılmış dişlerin pulpa odasına yerleştirilerek kullanılmışlardır [50].

Tablo 3.4 Dentin ve Minenin yoğunluk ve özgül ısısı [51]

	Yoğunluk gm/cm ³	Özgül Isısı cal/gm.C
Mine	2,8	0,17
Dentin	1,96	0,38
Tüm Diş	2,2	0,3

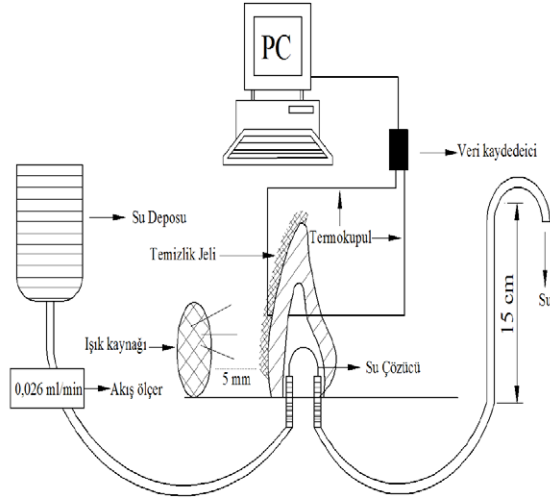
Tablo 3.5 Dişin ısı iletkenliği ve ısı yayılımı [51]

	Isıl İletkenlik cal/sn.cm.C	Isıl Yayılım cm ² /sn
Mine (Boyuna)	2,23x10 ⁻³	4,69x10 ⁻³
Dentin (tüplere dik)	1,39x10 ⁻³	1,87x10 ⁻³
Dentin (Tüplere paralel)	1,36x10 ⁻³	1,83x10 ⁻³

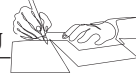
Pulpal mikrosirkülasyon pulpa içinde meydana gelebilecek ısı oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Pulpa dokusunun sahip olduğu mikrosirkülasyon ısınma esnasında soğutucu, soğutma esnasında ısıtıcı görev yapmaktadır. Sıcaklık değişimi pulpal kan dolaşımını etkilemektedir. Sağlam dişlerde pulpal kan akımı 100 gr'lık dokuda 40ml/dk olarak tahmin edilmektedir [52].

Pulpa dokusu içinde mikrosirkülasyonun ihmal edildiği çalışmalarda yüksek sıcaklık değerleri elde edilmiştir [53,54]. Pulpa içinde gerçekleşen mikrosirkülasyonu taklit edebilmek amacıyla [54] pulpa odasında 37° C'de, 1 ml/dk olacak şekilde basınçlı su kullanmışlardır. Bu çalışmada, beyazlatma sırasında geleneksel halojen ışık kaynağı, yüksek yoğunluğa sahip iki halojen ışık kaynağı, plazma ark ışık kaynağı ve diod lazer kullanılarak; daimi kanin, lateral ve santral dişlerinin pulpa içi mikrosirkülasyonlu ve mikrosirkülasyonsuz sıcaklık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Mikrosirkülasyonun gerçekleştiği bütün dişlerde ışık kaynaklarının oluşturdukları ortalama sıcaklık artış değerlerinin 5,5°C'yi geçmediği görülmüştür. En yüksek sıcaklık artış değerleri 23,2°C'lik ısı artışı ile diod lazerin kullanıldığı ve mikrosirkülasyonun olmadığı lateral dişlerde, en düşük ısı değerleri geleneksel halojen ışık kaynağının kullanıldığı ve mikrosirkülasyonun yapıldığı kanin dişlerde elde edilmiştir.

İn vitro ortamda pulpa içinde meydana gelen mikrosirkülasyonu taklit edebilmek için Sarı ve ark (2013), beyazlatma esnasında farklı ışık kaynaklarının maksiller santral dişlerde meydana getirdiği sıcaklık artışını mikrosirkülasyon düzenneği hazırlayarak kaydetmişlerdir. Bu çalışma düzenneğinde, su rezervuarı 15 cm yüksekliğe yerleştirilmiş ve dijital infüzyon seti ile 0.026 ml/dk olacak şekilde sıvı çıkışı ayarlanmıştır. Dişler metal plaka üzerine yapıştırılmış ve enjektör ucu ile sıvı girişi ve çıkışı sağlanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Pulpa mikrosirkülasyon düzenneğinin şematik çizimi (Sarı ve Ark. 2013)

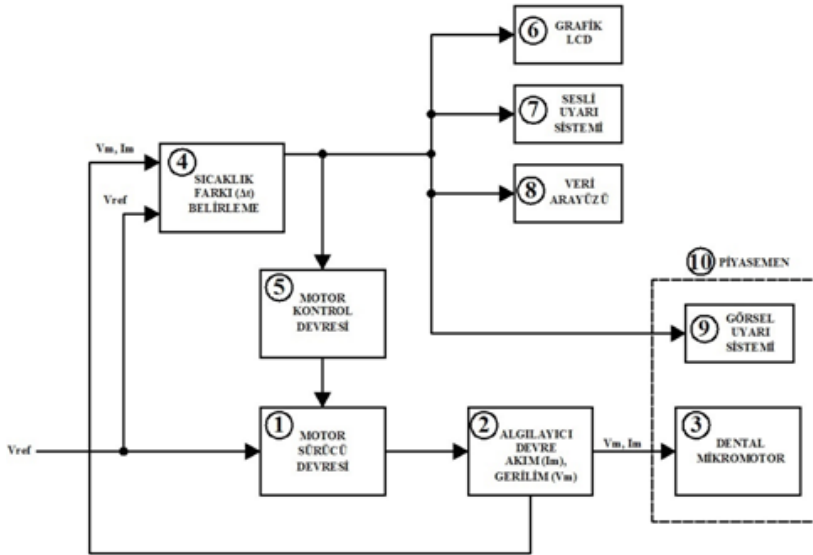


4. DIŞ SICAKLIK YÜZEYİNDEKİ SICAKLIK TAHMİNİ

Dental prosedürler, günümüz teknolojisiyle, diş hekiminin tecrübe ve el beceresine dayanmaktadır. Diş üzerinde yapılacak işlemler, diş yapısının hassas olması dolayısıyla, süre bakımından önem arz etmekte ve gereğinden fazla zaman işleme tabi tutulan diş yapılarında bozulmalar meydana gelmektedir. Diş üzerinde temizleme ve dişin şekillendirmesine olanak sağlayan mikromotor cihazları, diş hekimleri tarafından herhangi bir otomasyon programı olmaksızın kullanılmaktadır. Diş hekimlerinin tecrübesi dahilinde verimlilik gösteren bu cihazlar, fazla ısınma ya da dişin zarar görmesi anında kullanıcıyı bildirme özelliğine sahip değildirler. Bunun yanında, ısınan diş yüzeyine soğuk hava uygulaması ayrı bir kompresör cihaz yardımı ile gerçekleştirilmekte, yani ek bir cihaza ihtiyaç duyulmaktadır.

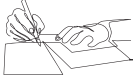
Bu çalışmada dişin zarar görmesini engelleyecek şekilde mikromotor kullanılarak gerçekleştirilen diş tedavisinde sıcaklık değişiminin belirlenmesinde kullanılabilecek bir algoritma önerilmiştir. Önerilen bu algortimada mikromotorun çalışması sırasında çektiği akım ve gerilim değerine bağlı olarak diş sıcaklığı joule kanunundan faydalanılarak belirlenebilecektir. Diş sıcaklık değerinin doğru belirlenmesi sonucunda hekimin görebileceği bir şekilde ekran üzerinde tahmini sıcaklık değeri görülebilecektir. Böylece bu durumla ilgili hekim hatalarının azaltılması sağlanacağı bir sistem geliştirilebilecektir.

Bu çalışmada önerilen sisteme ait blok şeması Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sıcaklık farkının belirlenmesinde kullanılacak blok şeması

Şekil 4.1 ‘de görülen blok şema motor sürücü devresi (1), akım ve gerilim algılayıcı devre (2), dental mikromotor (3), sıcaklık farkı belirleme birimi (4), motor kontrol ünitesi (5), grafik lcd ekranı (6), sesli uyarı sistemi (7), veri ara yüzü (8), görsel uyarı sistemi (9), piyasemen (10) parçalarından meydana gelmektedir.



Motor Sürücü Devresi:

Motor sürücü devresi pedaldan gelen vref gerilimine bağlı olarak, mikromotorun (3) devrinin kontrol edilebilmesini sağlamak için gerekli olan motor gerilimi ve motor akımını sağlamaktadır. Motor kontrol devresinden gelen uyarı sinyaliyle bağlı olarak gerekli durumlarda motorun çalışmasını durdurabilmektedir.

Algılayıcı Devre (Akım, Gerilim, Güç):

Tedavi anında mikromotorun (3) çekmiş olduğu akımın (I_m) ve mikromotor (3) uçlarında oluşan gerilimin (V_m) ölçülmesini sağlayacaktır. Bu değerleri sıcaklık farkı belirleme birimine (4) göndermektedir.

Dental Mikromotor:

Tedavi anında kullanılacak elmas uç veya frezin döndürülmesini sağlamaktadır.

Sıcaklık Farkı Belirleme Birimi:

Çalışma anındaki duruma göre pedaldan gelen Vref gerilimi ile algılayıcı devreden (2) gelen akım (I_m) ve gerilim (V_m) değerlerine bağlı olarak tedavi anında diş üzerinde oluşan sıcaklık farkının (Δt) °C olarak hesaplanmasını sağlayacaktır.

Motor Kontrol Devresi:

Tedavi sırasında diş üzerindeki sıcaklık farkı istenilmeyen değere ulaştığında mikromotorun (3) çalışmasını durduracaktır.

Grafik LCD:

Tedavi sırasında diş üzerinde oluşan sıcaklık farkı (Δt) değerini °C olarak gösterecektir.

Sesli Uyarı Sistemi:

Tedavi sırasında diş üzerindeki sıcaklık farkı istenilmeyen değere ulaştığında sesli bir uyarı verilecektir. Gerektiğinde hekim sesli uyarıyı kapatabilecektir.

Veri Arayüzü:

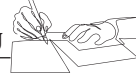
Yapılan çalışmada oluşan verilerin daha sonraki değerlendirmeler için kullanılabilmesi amacıyla kaydedilebilmesini sağlayacaktır.

Görsel Uyarı Sistemi:

Tedavi sırasında diş üzerindeki sıcaklık farkının yükselmesine bağlı olarak, sırasıyla ilk uyarı düzeyi için piyasemen üzerine yerleştirilen sarı renkteki ledlerin, ikinci uyarı düzeyi için piyasemen üzerine yerleştirilen kırmızı renkteki ledlerin yakılması ile görsel uyarı sağlanacaktır.

Piyasemen:

Görsel uyarı ve mikromotorun (3) bulunduğu el aparatıdır.

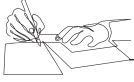


Şekil 4.1’de blok şeması verilen sistemin çalışması aşağıdaki gibidir. Diş hekimi tedaviye başladığında pedala basarak mikromotoru çalıştırmaya başlayacaktır. Çalışma sırasında pedalın konumuna göre motor sürücü devresine uygulanan V_{ref} gerilimi sürekli olarak ölçülerek mikromotora (3) ait olan daha önceden elde edilmiş matematiksel modelleme kullanılarak referans güç değeri (P_{ref}) sıcaklık farkı belirleme modülü tarafından hesaplanacaktır. Bu değer tedavi sırasında oluşan sıcaklık farkını (Δt) belirlemek için kullanılan algoritmanın referans değeri olarak kullanılacaktır.

Diş hekimi diş üzerinde çalışmaya başladığında mikromotorun üzerine etki eden yüke bağlı olarak mikromotorun çekeceği akım (I_m) ve uçlarında oluşan gerilim (V_m) değerleri değişiklik gösterecektir. Bu değerler algılayıcı devre ile akım ve gerilim sensörleri kullanılarak sürekli okunacaktır. Okunan bu akım (I_m) ve gerilim (V_m) değerine bağlı olarak sürekli olarak mikromotorun anlık güç (P_m) değeri sıcaklık farkı belirleme birimi (4) tarafından hesaplanacaktır. Mikromotor çalıştıkça referans güç değeri ile anlık güç değeri arasındaki farka bağlı olarak enerji hesabı yapılarak diş üzerinde biriken toplam enerji bulunacaktır. Hesaplanan enerji değerine bağlı olarak çalışmanın başlangıcından o ana kadar diş üzerinde oluşabilecek sıcaklık farkı sıcaklık farkı belirleme birimi tarafından tespit edilecek ve kaydedilecektir.

Hekimin tedavi sırasında pedal konumunda yapacağı değişiklikler V_{ref} geriliminin çok küçük örneklem aralıkları ile okunmasına bağlı olarak tespit edilecektir. Her bir ölçüm aralığı için okunan V_{ref} gerilimine bağlı olarak mikromotorun yüksüz çalışma durumunda harcayacağı referans güç değeri (P_{ref}) belirlenecektir. Aynı anda algılayıcı devrenin ölçmüş olduğu akım (I_m) ve gerilim (V_m) değerlerine bağlı olarak yük altında çalışan mikromotorun anlık güç değeri (P_m) hesaplanacaktır. Mikromotor üzerinden ölçülen akım (I_m) ve gerilim (V_m) değerine bağlı olarak hesaplanan anlık güç değeri (P_m) ve V_{ref} değerine bağlı olarak bulunan referans güç (P_{ref}) değeri arasındaki fark belirlenecektir. Bu güç farkına bağlı olarak ölçümün yapıldığı zaman aralığında dişte meydana gelen enerji girişi hesaplanacaktır. Devamında, bu enerjinin diş üzerinde meydana getireceği ısı farkı hesaplanarak, bu ölçüm aralığı içinde diş sıcaklığının ne kadar artabileceği tespit edilecektir. Bu işlemler tedavi devam ettiği sürece aynı sıklıktaki ölçüm aralıkları için sürekli olarak tekrarlanacak ve her bir ölçüm aralığında diş üzerinde oluşan enerji değerine göre birikmeli bir enerji hesabı olarak devam ettirilecektir. Enerji hesabı sonucunda elde edilen değere göre dişte o ana kadar oluşan sıcaklık farkı tespit edilecektir.

Tedavi sırasında dişte meydana gelen enerji girişine bağlı olarak oluşan sıcaklık farkı, kullanıcı tarafından belirlenen ilk ölçüm düzeyine ulaştığında, piyasemen’e yerleştirilen sarı renkli görsel uyarı ledi yanarak sıcaklığın tehlikeli sınıra geldiğini ifade etmek için hekimi uyaracaktır. Tedavinin devam etmesi durumunda sıcaklık farkı kullanıcı tarafından belirlenen ikinci ölçüm düzeyine ulaştığında ise dişin zarar görmemesi için mikromotor motor kontrol devresi ile durdurulacaktır. Aynı zamanda sesli uyarı sistemi ve piyasemen’e yerleştirilen kırmızı renkli görsel uyarı ledi ile sıcaklık farkının kullanıcı tarafından belirlenen ikinci ölçüm düzeyine ulaştığını ve tedavinin durdurulduğu ifade edilmiş olacaktır. Tedavi süresince oluşan sıcaklık farkı grafik LCD ile sürekli olarak gösterilecektir.



Tedavi işlemi sırasında mikromotorla birlikte piyasemen'e bağlı olarak çalışan vorteks tüplü soğutucu sayesinde tedavi yapılan diş soğuk hava uygulanacaktır. Soğutma işlemi sayesinde dişte tedavi anında oluşan sıcaklık düşürülerek, sıcaklık farkının kullanıcı tarafından belirlenen ikinci ölçüm düzeyine ulaşma süresi uzatılmış olacaktır. Soğutma işlemi ile daha düşük sıcaklıklarda tedavinin yapılması sağlanmış olacaktır. Böylece diş hekimi tedaviye ara vermeye gerek duymaksızın daha rahat bir süre içinde tedavisini tamamlayabilecek aynı zamanda tedavinin daha kısa süre içinde tamamlanması sağlanmış olacaktır.

Bu işlemler sırasında veri arayüzü modülü sayesinde tedavi süresince oluşan ısı farklılıkları her bir hasta için anlık olarak kaydedilecektir. Bu veriler diş hekimliği eğitiminde öğrencilerin mikromotoru kullanma becerilerini değerlendirmek, akademik çalışmalarda kullanmak ve tedavi performansını değerlendirmek için kullanılabilir.

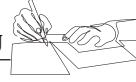
5. SONUÇ

Dental prosedürler, günümüz teknolojisiyle, diş hekiminin tecrübe ve el beceresine dayanmaktadır. Diş üzerinde yapılacak işlemler, diş yapısının hassas olması dolayısıyla, süre bakımından önem arz etmekte ve gereğinden fazla işleme tabi tutulan diş yapılarında bozulmalar meydana gelebilmektedir. Diş üzerinde temizleme ve şekillendirme işlemlerine olanak sağlayan mikromotor cihazları, diş hekimleri tarafından herhangi bir otomasyon programı olmaksızın kullanılmaktadır. Diş hekimlerinin tecrübesi dahilinde verimlilik gösteren bu cihazlar, fazla ısınma ya da dişin zarar görmesi durumunda kullanıcıyı bildirme özelliğine sahip değildirler. Bunun yanında, ısınan diş yüzeyine soğuk hava uygulaması ayrı bir kompresör cihaz yardımı ile gerçekleştirilmekte, yani ek bir cihaza ihtiyaç duyulmaktadır.

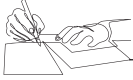
Bu çalışmada dental mikromotor kullanılarak gerçekleştirilen diş tedavilerinde, diş yüzeyinde meydana gelen sıcaklık farkının 5,5 °C'ye ulaşmasıyla hekime sesli, görsel uyarı veren ve devamında cihazın durdurulmasını sağlayacak bir algoritma sunulmuştur. Bu algoritma gerçekleştirildiğinde hekimlerin tedavi sürecini rahatlatan, dental mikromotorun kullanımına bağlı olarak diş sağlığını olumsuz etkileyebilecek hataların oluşmasını engelleyebilen bir cihaz tasarımının temel yapısının oluşturulması sağlanacaktır.

REFERANSLAR

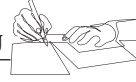
1. Tancan Uysal, Ayce Unverdi Eldeniz, Serdar Usumez, Aslihan Usumez "Thermal Changes in the Pulp Chamber during Different Adhesive Clean-up Procedures" Angle Orthodontist, Vol 75, No 2, pp 216-221, 2005
2. Silvana Jukic Krmek, Ivana Miletic, Paris Simeon, Goranka Prpic Mehicic, Ivica Anic, and Berislav Radisic "The Temperature Changes in the Pulp Chamber During Cavity Preparation with the Er:YAG Laser Using a Very Short Pulse" Photomedicine and Laser Surgery Volume 27, Number 2, pp. 351-355, 2009
3. Laforgia, Vito Milano, Camillo Morea, and Apollonia Desiate "Temperature change in the pulp chamber during complete crown preparation" Volume 65 Number 1, pp. 56-61, 1991



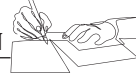
4. Peter Ottl, Hans-Christoph Lauer "Temperature response in the pulpal chamber during ultrahigh-speed tooth preparation with diamond burs of different grit" *The Journal of Prosthetic Dentistry* Volume 80 Number 1 pp. 12-19, 1998
5. Bora Öztürk, Aslihan Üşümez, A. Nilgun Öztürk And Füsün Özer "In vitro assessment of temperature change in the pulp chamber during cavity preparation" *The Journal of Prosthetic Dentistry* Volume 91 Number 5 pp. 436-440, 2004
6. Cavalcanti, B. N., C. Otani and S. M. Rode (2002). "High-speed cavity preparation techniques with different water flows." *J Prosthet Dent* 87(2): 158-161.
7. Brown, W. S., W. A. Dewey and H. R. Jacobs (1970). "Thermal properties of teeth." *J Dent Res* 49(4): 752-755.
8. T.A.M. Spierings, M. Peters, F. Bosman, A.J.M. Plasschaert "The Influence of Cavity Geometry on Heat Transmission in Restored Teeth" *Journal of Dentistry*, Vol 14, pp 47-51, 1986
9. M. Sulieman, M. Addy, J.S. Rees "Surface and Intra-Pulpal Temperature Rises During Tooth Bleaching: an In Vitro Study" *British Dental Journal*, Vol 199, No 1, 2005
10. H.O. Trowbridge, M. Franks, E. Korostoff, R. Emling "Sensory Response to Thermal Stimulation in Human Teeth" *Journal of Endodontics*, Vol 6, No 1, pp 405-412, 1980
11. H. Haskan, T. Boyraz, M.A. Kılıçarslan "Investigation of Thermal Stresses in Dental Restoration by Mathematical Method" *Journal of the European Ceramic Society*, Vol 27, pp 899-902, 2007
12. H.R. Jacobs, R.E. Thompson, W.S. Brown "Heat Transfer in Teeth" *Journal of Dental Research*, Vol 52, No 2, 248-252, 1973
13. M. Lin, S.B. Liu, L. Niu, F. Xu, T.J. Lu "Analysis of Thermal-Induced Dentinal Fluid Flow and Its Implications in Dental Thermal Pain" *Archives of Oral Biology*, Vol 56, pp 846-854, 2011
14. P. Linsuwanont, J.E.A. Palamara, H.H. Messer "An Investigation of Thermal Stimulation in Intact Teeth" *Archives of Oral Biology*, Vol 52, pp 218-227, 2007
15. Lin, M., Xu, F., Lu, T. J., & Bai, B. F. (2010). A review of heat transfer in human tooth—experimental characterization and mathematical modeling. *Dental Materials*, 26(6), 501-513.
16. M. Lin, Q.D. Liu, T. Kim, F. Xu, B.F. Bai, T.J. Lu "A New Method for Characterization of Thermal Properties of Human Enamel and Dentine: Influence of Microstructure" *Infrared Physics & Technology*, Vol 53, pp 457-463, 2010
17. Avery, J. K., P. F. Steele and N. Avery (2002). *Oral Development and Histology*, Thieme.
18. Cengiz, T. and E. Ü. D. H. Fakültesi (1983). *Endodonti: ders kitabı*, Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Yayınları.
19. Bajaj, D. and D. D. Arola (2009). "On the R-curve behavior of human tooth enamel." *Biomaterials* 30(23-24): 4037-4046.
20. Chuenarrom, C., P. Benjakul and P. Daosodsai (2009). "Effect of indentation load and time on knoop and vickers microhardness tests for enamel and dentin." *Materials Research* 12(4): 473-476.
21. Bar-On, B. and H. D. Wagner (2012). "Elastic modulus of hard tissues." *J Biomech* 45(4): 672-678.
22. O'Brien, W. J. (2008). *Dental Materials and Their Selection*, Quintessence Publishing Company.
23. McCabe, J. F. and A. W. G. Walls (2013). *Applied Dental Materials*, Wiley.



24. Stack, M. V., R. W. Fearnhead and W. Trust (1965). Tooth enamel: its composition, properties, and fundamental structure; report of the proceedings, J. Wright.
25. Termine, J. D., M. U. Nylen, I. S. o. T. Enamel and N. I. o. D. Research (1979). Tooth Enamel 3: Its Development, Structure, and Composition : Proceedings of the 3. International Symposium on Tooth Enamel, March 19-23, 1978, Washington, D.C. : Sponsored by the National Institute of Dental Research, National Institutes of Health, American Association for Dental Research.
26. Fischer-Cripps, A. and D. Nicholson (2004). "Nanoindentation. Mechanical engineering series." Applied Mechanics Reviews 57: B12.
27. Inoue, T., M. Saito, M. Yamamoto, K. Debari, K. Kou, F. Nishimura and T. Miyazaki (2009). "Comparison of nanohardness between coronal and radicular intertubular dentin." Dental materials journal 28(3): 295-300.
28. Rasmussen, S. T., R. E. Patchin, D. B. Scott and A. H. Heuer (1976). "Fracture properties of human enamel and dentin." Journal of Dental Research 55(1): 154-164.
29. Baume, L. J. (1980). The biology of pulp and dentine: a historic, terminologic-taxonomic, histologic-biochemical, embryonic and clinical survey, S. Karger.
30. Bayırlı, G. Ş. (1992). Pulpa patolojisi ve tedavileri, İstanbul Üniversitesi.
31. Okiji, T. (2002). Response of pulpal dendritic cells to microbial challenges across dentin. In Dentin/pulp complex. Proceedings of the International Conference on Dentin/Pulp Complex 2001(pp. 24-30). Quintessence.
32. Pereira, M. M., Ruano, F., Azenha, M. E. D., Burrows, H. D., Miguel, M. G., Douglas, P., & Eaton, K. (2006). Synthesis and photophysical properties of a covalently bonded palladium meso-sulfophenylporphyrin-poly (vinyl alcohol) polymer with potential applications as an oxygen sensor. Journal of Porphyrins and Phthalocyanines, 10(02), 87-95.
33. Staquet, M. J., Durand, S. H., Colomb, E., Romeas, A., Vincent, C., Bleicher, F., ... & Farges, J. C. (2008). Different roles of odontoblasts and fibroblasts in immunity. Journal of dental research, 87(3), 256-261.
34. Yamada, Y., Bilsky, M. H., Lovelock, D. M., Venkatraman, E. S., Toner, S., Johnson, J., ... & Fuks, Z. (2008). High-dose, single-fraction image-guided intensity-modulated radiotherapy for metastatic spinal lesions. International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics, 71(2), 484-490.
35. Tziafas, D., Koliniotou-Koumpia, E., Tziafa, C., & Papadimitriou, S. (2007). Effects of a new antibacterial adhesive on the repair capacity of the pulp-dentine complex in infected teeth. International endodontic journal, 40(1), 58-66.
36. Goldberg, M., & Smith, A. J. (2004). Cells and extracellular matrices of dentin and pulp: a biological basis for repair and tissue engineering. Critical Reviews in Oral Biology & Medicine, 15(1), 13-27.
37. Embery, G., Hall, R., Waddington, R., Septier, D., & Goldberg, M. (2001). Proteoglycans in dentinogenesis. Critical Reviews in Oral Biology & Medicine, 12(4), 331-349.
38. Mjör, I. A., Smith, M. R., Ferrari, M., & Mannocci, F. (2001). The structure of dentine in the apical region of human teeth. International Endodontic Journal, 34(5), 346-353.
39. Goldberg, M., & Smith, A. J. (2004). Cells and extracellular matrices of dentin and pulp: a biological basis for repair and tissue engineering. Critical Reviews in Oral Biology & Medicine, 15(1), 13-27.
40. Tziafas, D., Alvanou, A., Panagiotakopoulos, N., Smith, A. J., Lesot, H., Komnenou, A., & Ruch, J. V. (1995). Induction of odontoblast-like cell differentiation in dog dental



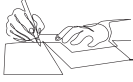
- pulps after in vivo implantation of dentine matrix components. *Archives of oral biology*, 40(10), 883-893.
41. Vițalariu, A. N. C. A., Căruntu, I. D., & Bolintineanu, S. (2005). Morphological changes in dental pulp after the teeth preparation procedure. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*, 46(2), 131-136.
 42. Fejerskov, O. (2008). Clinical appearance of caries lesions. *Dental caries. The disease and its clinical management*, 7-18.
 43. Grossman, L. I., S. Oliet and C. E. Del Rio (1988). *Endodontic practice*. Philadelphia, Lea & Febiger.
 44. Harty, F. J. and T. R. P. Ford (1997). *Harty's Endodontics in Clinical Practice*, Wright.
 45. Wang, R. R., & Chang, C. T. (1998). Thermal modeling of laser welding for titanium dental restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, 79(3), 335-341.
 46. Zach, L. and G. Cohen (1965). "Pulp Response to Externally Applied Heat." *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 19: 515-530.
 47. Zach, L. and G. Cohen (1962). "Thermogenesis in operative techniques: Comparison of four methods." *The Journal of Prosthetic Dentistry* 12(5): 977-984.
 48. Aydın, D. H. M. "Endodontik İmmünoloji."
 49. Anić, I., Pavelić, B., Perić, B., & Matsumoto, K. (1996). In vitro pulp chamber temperature rises associated with the argon laser polymerization of composite resin. *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*, 19(4), 438-444.
 50. de afdeling Dental, U., & Bolhuis, H. P. B. (2005). Endodontisch behandelde gebitselementen: weefselbehoud en adhesieve opbouw beste optie.
 51. Brown, W. S., Dewey, W. A., & Jacobs, H. R. (1970). Thermal properties of teeth. *Journal of dental research*, 49(4), 752-755.
 52. Matthews, B., & Andrew, D. (1995). Microvascular architecture and exchange in teeth. *Microcirculation*, 2(4), 305-313.
 53. Durey, K., Santini, A., & Miletic, V. (2008). Pulp chamber temperature rise during curing of resin-based composites with different light-curing units. *Primary Dental Care*, 15(1), 33-38.
 54. Kodonas, K., Gogos, C., & Tziafas, D. (2009). Effect of simulated pulpal microcirculation on intrapulpal temperature changes following application of heat on tooth surfaces. *International endodontic journal*, 42(3), 247-252.

**CHAPTER
8****BİR İNSANSIZ HAVA ARACININ
SEZGİSEL OPTİMİZASYON
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
KONTROLÜ VE SİMÜLASYONU****Hamdi ERCAN¹, Muharrem Selim CAN²****Giriş**

Günümüzde insansız hava araçlarına (İHA) olan ihtiyacın artmasıyla birlikte kullanım alanları da çok yaygınlaşmıştır. İHA'lar; harita, güvenlik, fotoğrafçılık gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, dört motorlu bir İHA için hareket denklemleri elde edilip, elde edilen denklemler ile birlikte oransal, integral ve türev (Proportional, integral, Derivative, PID) kontrol yöntemi kullanılarak İHA'nın konum ve denge kontrolü incelenmiştir. PID kontrol, endüstride birçok farklı kontrol sisteminde kullanılan bir yöntemdir. PID kontrol yönteminde en temel problem PID parametrelerinin belirlenmesidir. Uygun parametrelerin belirlenmesi, kontrolcünün performansını artırarak daha iyi bir kontrolün gerçekleştirilebilmesi için oldukça önemlidir. Buradan hareketle, en iyi PID kontrol parametrelerinin tespiti için nümerik optimizasyon yöntemlerinden faydalanılarak kontrol performansının artırılması amaçlanmıştır. En iyi kontrol parametrelerinin belirlenmesi için Guguk Kuşu Arama Algoritmasından (Cuckoo Search Algorithm, CSA) faydalanılmıştır. CSA, üreme süreçlerinde guguk kuşlarının yumurtalarını farklı yuvalara bırakmalarından hareketle geliştirilmiştir.

İHA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte, İHA'nın performansının artırılması için kontrol sistemlerinin yapısı da gelişmektedir. Bu amaçla, İHA'nın kontrol sisteminin geliştirilmesi üzerine çalışmalar da artmaktadır. Bu konuyla ilgili literatürde çeşitli çalışmalar vardır. Literatüre bakıldığında, altı serbestlik derecesine sahip bir insansız hava aracının PID kontrol yöntemiyle durum kontrolü incelenmiştir. Tasarlanan sistemin kontrolcü cevapları verilmiştir (Duc, 2015). Liu ve arkadaşları, Basit Parçacık Sürü Optimizasyonu (sPSO) yöntemini kullanarak bir İHA'nın durum kontrolünü araştırmışlardır. PID kontrolü için İHA'nın dinamik denklemlerini elde etmişlerdir. Elde edilen denklemlerden İHA'nın kontrol modelini çıkarmışlardır. İHA'nın dönme, yunuslama ve sapma açılarının kontrolünü gerçekleştirmişlerdir (Liu, 2015). Sabit kanatlı bir İHA için verilen bir trim koşulunda sürekli durum uçuş parametrelerinin optimizasyonu ve LQR yöntemi kullanılarak kontrolü yapılmıştır (Can, 2018). Diğer bir çalışma da, sabit kanatlı bir İHA'nın yuvarlanma kontrolü için LQR kontrolü kullanılmış ve LQR parametrelerinin optimize edilmesi için Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) kullanılmıştır (Ercan, 2018). Zhu ve arkadaşları, bir döner kanatlı İHA'nın hareket denklemlerinden yola çıkarak, İHA'nın kontrolü üzerinde

- 1 (Doç. Dr.); Erciyes Üniversitesi. Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü.
- 2 (Araştırma Görevlisi); İskenderun Teknik Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Havacılık Elektrik Elektroniği Bölümü.



durmuşlardır. İHA'nın kontrolü için PID kontrolcü seçmişlerdir ve PID parametrelerinin seçimi için gradyent optimizasyon yöntemi kullanmışlardır. Sonuçlara göre, kullanıcı tarafından belirlenen PID parametreleri kullanılarak elde edilen performansa göre gradyent optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilmiş parametreler ile ortaya konulan kontrol performansının daha iyi olduğu gösterilmiştir (Zhu, 2015). Booubertakh ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada bir İHA'nın dengesinin sağlanması için dağıtılmış PID kontrolü üzerinde durmuşlardır. PID parametrelerinin optimizasyonu için PSO algoritmasından yararlanmışlardır. Sonuçlara göre, İHA'nın dengesi sağlanmıştır (Boubertakh, 2013). İHA'ların durum ve pozisyon kontrolü için PID kontrol yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır (Cao, 2016). Başka bir çalışmada, İHA için motor asimetrisinin varlığında, kaskat durum kontrolü incelenmiştir. İç çevrimde PID kontrolü, dış çevrimde Oransal ve integral (Proportional and Integral, PI) kontrolünü kullanılmıştır (Njinwoua, 2018). İHA'nın yükünün artırıldığı durumda, dengesinin sağlanması için PID kontrolünden faydalanan çalışmalar mevcuttur (Pound, 2012). Çok motorlunun agresif manevra kontrolü ve davranış kontrolü için PID ve LQ kontrolcileri kullanılmıştır (Rinaldi, 2014).

Dinamik Hareket Denklemleri

Newton-Euler denklemleri kullanılarak İHA'ya etki kuvvetlerin toplamı aşağıda Denklem (1) elde edilmiştir. F İHA'ya etki eden kuvvetleri, m İHA'nın kütlesini ve $\ddot{v}$ İHA'nın ivmelenmesini göstermektedir.

$$F = m\ddot{v} + \omega \times v \quad (1)$$

M İHA'ya etki eden toplam momentler Denklem (2)'de gösterilmektedir. Denklem (3)'te L yuvarlanma momentini, M yunuslama momentini ve N sapma momentini göstermekte olup, M toplam momentini oluşturmaktadırlar.

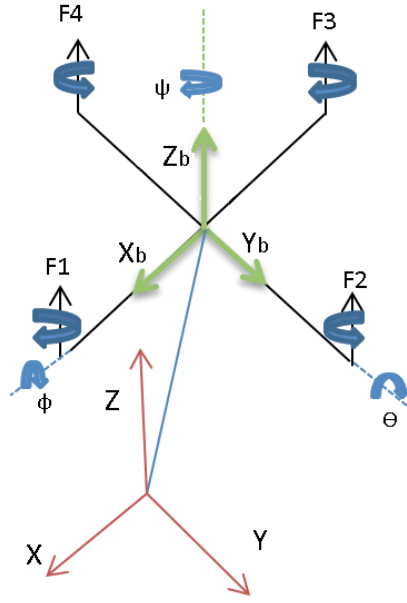
$$M = I\dot{\omega} + \omega \times I\omega \quad (2)$$

$$M = \begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} = I\dot{\omega} + \omega \times I\omega \quad (3)$$

İHA'ya etki eden kuvvetler yerçekimi kuvveti g ve itki kuvveti u_1 ile gösterilmiştir. u_1 motor itki kuvveti gövde ekseninden eylemsizlik eksenine çevrilerek x , y ve z eksenlerindeki ivmelenme Denklem (4) ile elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} + \frac{1}{m} R_b^v \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ u_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Şekil 1'de İHA'nın gövde eksen ve eylemsizlik eksen gösterilmiştir. ϕ , θ ve ψ Euler açıları olup sırasıyla eylemsizlik ekseninde yuvarlanma açısı, yunuslama açısı ve sapma açısını göstermektedir.



Şekil 1 İHA'nın gövde eksenleri ve eylemsizlik eksenleri

İHA'nın x, y ve z eksenlerindeki doğrusal ivmelenmeleri Denklem (5) ile elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} + \frac{1}{m} \begin{bmatrix} c\alpha c\gamma & s\alpha c\gamma & -c\alpha s\gamma & c\alpha s\gamma & +s\alpha s\gamma \\ c\alpha c\gamma & s\alpha c\gamma & +c\alpha s\gamma & c\alpha s\gamma & -s\alpha s\gamma \\ -s\alpha & s\alpha & c\alpha & c\alpha & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ u_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

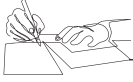
Eylemsizlik momenti I ile gösterilmektedir. Döner kanatlı İHA simetrik olduğu için eylemsizlik momenti matrisinde çapraz çarpan terimleri sıfır olur. Eylemsizlik momenti matrisi Denklem (6) ile gösterilmektedir.

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Tablo 1'de İHA'nın özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 1 İHA'nın özellikleri

Mass	0.5 kg
Arm Length	0.25 m
I_{xx}	0.006 kg m ²
I_{yy}	0.006 kg m ²
I_{zz}	0.02 kg m ²



v_x, v_y ve v_z İHA'nın x, y ve z eksenlerindeki hızlarını $\dot{v}_x, \dot{v}_y$ ve $\dot{v}_z$ ise x, y ve z eksenlerindeki ivlenmeyi göstermektedir. Denklem (7)'de, İHA'nın x, y ve z eksenlerine göre ivlenmeleri elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} u_1(\cos(f) \sin(q) \cos(y) + \sin(f) \sin(y)) \\ u_1(\cos(f) \sin(q) \sin(y) - \sin(f) \cos(y)) \\ mg + u_1(\cos(f) \cos(q)) \end{bmatrix} \quad (7)$$

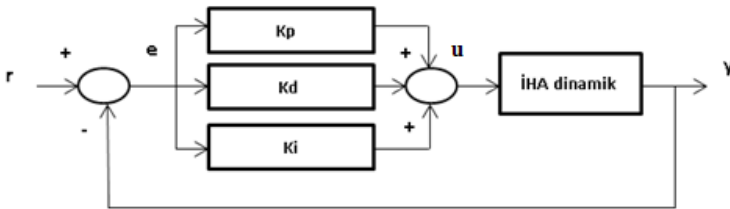
p, q ve r İHA'nın gövde eksenindeki açısal hızlarını göstermekte olup p yuvarlanma açısal hızını, q yunuslama açısal hızını ve r sapma açısal hızını göstermektedir. $\dot{p}, \dot{q}$ ve $\dot{r}$ sırasıyla gövde ekseninde yuvarlanma, yunuslama ve sapma açısal ivmelenmesi olup Denklem (8) ile gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} \frac{1}{I_{xx}}(I_{yy} - I_{zz})qr \\ \frac{1}{I_{yy}}(I_{zz} - I_{xx})pr \\ \frac{1}{I_{zz}}(I_{xx} - I_{yy})pq \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{I_{xx}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{I_{yy}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{I_{zz}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} \quad (8)$$

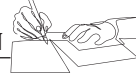
Kontrol Yöntemi

İHA'nın pozisyon ve durum kontrolü PID kontrol yöntemi kullanılarak yapılır (Yit, 2016). PID kontrol yapısı genel olarak Şekil 2'de gösterilmektedir. PID kontrol yönteminde K_p, K_d ve K_i parametreleri deneme yanılma yöntemiyle belirlenmesi performansı düşürmektedir. Performansın artırılması amacıyla K_p, K_d ve K_i parametrelerinin belirlenmesi sürecinde için optimizasyon algoritmalarından faydalanılmaktadır. Dengeli bir şekilde yer değiştirmesi için gerekli kontrolcünün tasarlanması ve bu kontrolcü parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. $e(t)$, hata sinyalini göstermekte olup İHA'nın çıkışındaki ölçülen hız ve konum bilgisi ile istenilen hız ve konum bilgilerinin farkıdır. İHA modeline giriş olan u sinyali Denklem (9) de gösterilmektedir.

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{d}{dt} e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (9)$$



Şekil 2 PID kontrolcünün yapısı

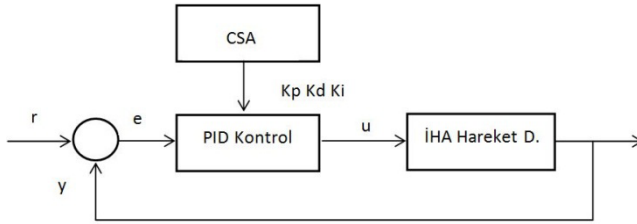


Optimizasyon Algoritması

Guguk Kuşu Arama Algoritması (Cuckoo Search Algorithm, CSA), guguk kuşlarının yaşam şekillerine göre geliştirdikleri alışkanlıklardan yola çıkılarak Yang tarafından geliştirilmiştir (Yang, 2009). Doğadan esinlenilerek geliştirilen ve birçok nümerik problemin çözümünde kullanılan optimizasyon algoritmalarından bir tanesi guguk kuşu arama algoritmasıdır. Guguk kuşlarının, doğadaki üremele-ri sırasında yaptıkları davranışlar geliştirilmesinde etkili olmuştur. Guguk kuşu, üreme zamanı başka kuş yuvasını gözetler ve yuva boş olduğu zamanda yuvaya gelerek kendi yumurtasını bırakır. Yuvanın sahibi olan kuş kendine ait olmayan yumurtayı fark edip yumurtayı yuvadan uzaklaştırması mümkündür. Ayrıca, guguk kuşu, yumurtasının yuvada kalıp büyümesi için yeni yumurtalara sahip yuvaları seçerek büyüme olasılığını artırabilir. Guguk kuşu yumurtadan çıkarak diğer kuş yumurtalarını yuvadan atar ve beslenme miktarını artırır (Yang, 2009).

Guguk Kuşu Arama Algoritması PID Parametreleri Optimizasyonu

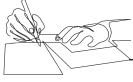
İHA'nın dengeli bir uçuşu için bazı parametrelerinin doğru ve etkili bir biçimde tespiti önemlidir. PID kontrolde, en iyi K_p , K_d ve K_i parametreleri belirlenerek, kontrol performansının artırılması için nümerik optimizasyon algoritmalarından faydalanılmıştır. K_p , K_d ve K_i oransal, türev ve integral kontrol parametrelerini göstermektedir. İHA'nın kontrol performansın artırılması en iyi PID parametrelerinin seçimine bağlıdır. CSA algoritması, parametrelerin nümerik olarak en iyi olanını arayarak performansı en yüksek olan parametreleri belirler. Şekil 3'de PID CSA kontrol sisteminin yapısı gösterilmiştir.



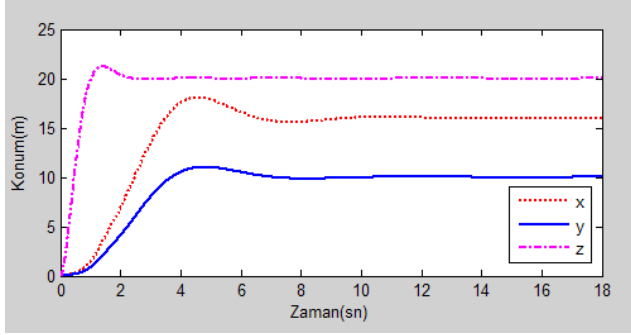
Şekil 3 PID CSA kontrol sistemi yapısı

Simülasyon Sonuçları

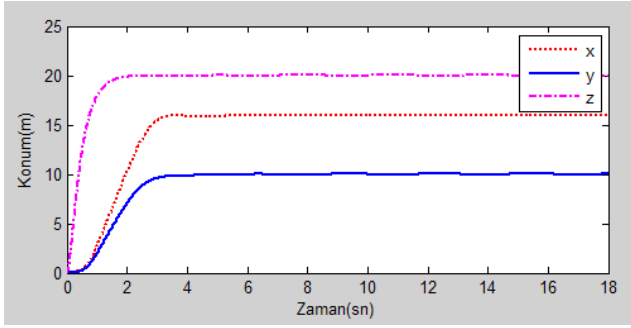
İHA'nın dengeli bir şekilde istenilen konuma gitmesi için PID kontrolü kullanılmıştır. PID kontrolünün performansının artırılması amacıyla K_p , K_d ve K_i parametrelerinin en iyi şekilde belirlenmesi probleminin çözümünde nümerik optimizasyon algoritmalarından biri olan ve birçok nümerik optimizasyon probleminin çözümünde uygulanan Guguk Kuşu Arama algoritmasından faydalanılmıştır. Şekil 4'de PID kontrol parametrelerinin deneme yanılma yoluyla elde ederek İHA'nın x, y ve z eksenlerinde konumları gösterilmektedir. Şekil 5'de ise PID kontrol parametrelerinin belirlenmesinde CSA algoritması kullanılarak, İHA'nın x, y ve z eksenlerindeki konumları gösterilmektedir. Şekil 4'te Şekil 5'tekine göre z konumu için aşımın daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 4'te Şekil 5'e göre x ve y konumlarına ulaşma süresinin daha uzun olduğu görülmektedir. PID para-



metrelerinin belirlenmesinde CSA yöntemi ile optimize edilmiş kontrol sisteminin daha hızlı olduğu görülmektedir.

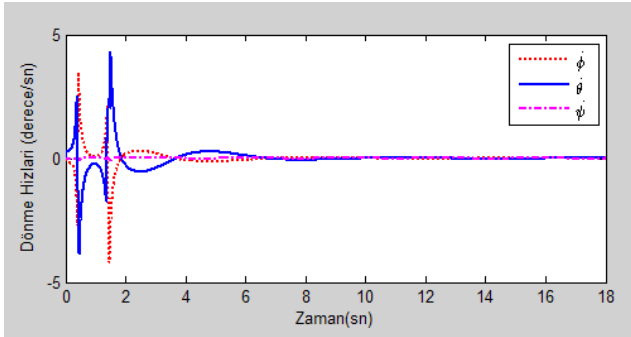


Şekil 4 PID kontrolde konum kontrol

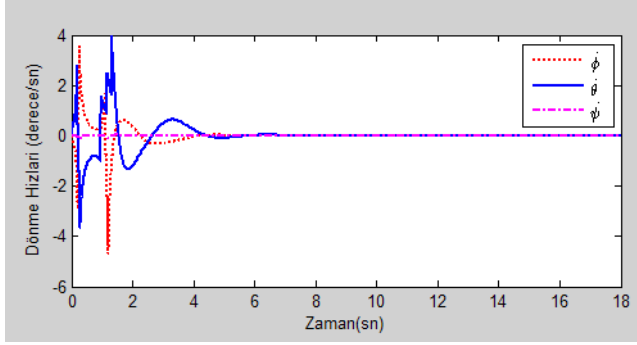


Şekil 5 PID + CSA kontrolde konum kontrol

Şekil 6'daki grafik PID kontrol yöntemi ile elde edilen İHA'nın eylemsizlik ekseninde yuvarlanma $\dot{\phi}$, yunuslama $\dot{\theta}$ ve sapma $\dot{\psi}$ hızlarını göstermektedir. Şekil 7 ise PID kontrol parametrelerinin CSA algoritması ile optimize edilerek elde eylemsizlik ekseninde yuvarlanma $\dot{\phi}$, yunuslama $\dot{\theta}$ ve sapma $\dot{\psi}$ edilen hızlarını göstermektedir.

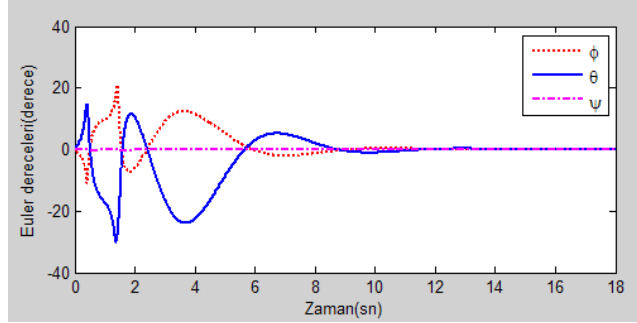


Şekil 6 PID kontrolde yuvarlanma, yunuslama ve sapma hızları

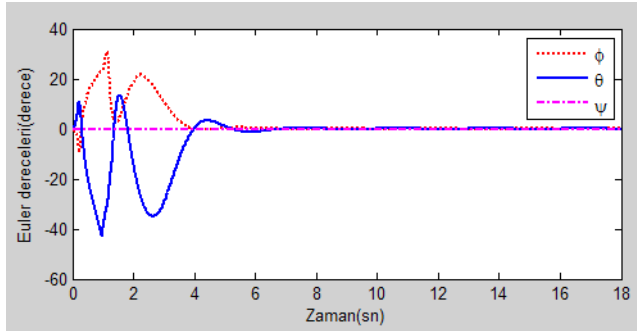


Şekil 7 PID+CSA kontrolde yuvarlanma, yunuslama ve sapma hızları

Şekil 8 ve şekil 9 sırasıyla İHA'nın PID kontrol yöntemi kullanılarak eylemsizlik ekseninde yuvarlanma ϕ , yunuslama θ ve sapma ψ Euler açılarını ve CSA algoritması ile optimize edilerek PID kontrolcüsüne göre eylemsizlik ekseninde yuvarlanma ϕ , yunuslama θ ve sapma ψ Euler açılarını göstermektedir. Şekil 8 ile Şekil 9'dan CSA ile optimize edilerek elde edilen PID kontrol yönteminin daha hızlı sıfıra ulaştığı görülmektedir.

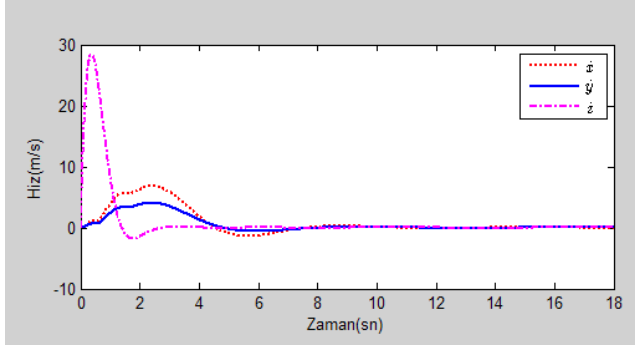
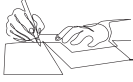


Şekil 8 PID kontrolde Euler Dereceleri

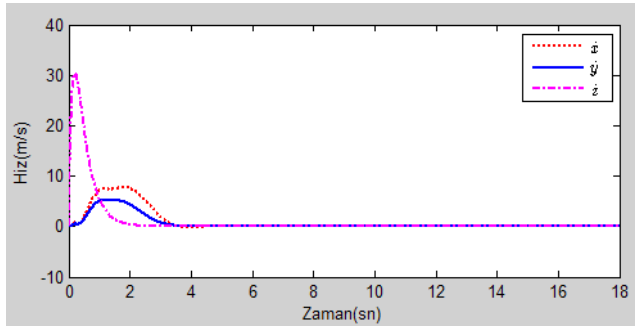


Şekil 9 PID+CSA kontrolde Euler Dereceleri

Şekil 10 ve şekil 11'de PID kontrolcüsü ile İHA'nın x, y ve z eksenlerindeki hızları ile PID parametrelerinin CSA algoritması ile optimize edilerek elde edilmiş İHA'nın x, y ve z eksenlerindeki hızlarını göstermektedir.



Şekil 10 PID kontrolde Hız Kontrol



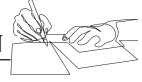
Şekil 11 PID + CSA kontrolde Hız kontrol

Tablo 2'de x eksenı boyunca performans kriterleri gösterilmiştir. PID parametrelerinin CSA ile optimize edilerek elde edilen kontrol sisteminin optimize edilmeden elde edilen kontrol sistemine göre Yükselme zamanı, oturma süresi, aşım yüzdesi, tepe noktası ve Sürekli zaman hatası bakımından daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 2 x eksenı boyunca performans kriterleri

	PID	PID+CSA
Yükselme Süresi(s)	2.1239	1.8472
Oturma Süresi (s)	8.3637	3.1413
Aşım Yüzdesi (%)	12.9446	0.0797
Tepe Noktası (m)	18.0711	16.0127
Sürekli Zaman Hatası	0.3967	0.0057

Tablo 3'de x eksenı boyunca performans kriterleri gösterilmiştir. PID parametrelerinin CSA ile optimize edilerek elde edilen kontrol sisteminin optimize edilmeden elde edilen kontrol sistemine göre Yükselme zamanı, oturma süresi, aşım yüzdesi, tepe noktası ve Sürekli zaman hatası bakımından daha başarılı olduğu görülmektedir.



Tablo 3 y eksenı boyunca performans kriterleri

	PID	PID+CSA
Yükselme Süresi(s)	2.2420	1.8003
Oturma Süresi (s)	6.5630	3.4496
Aşım Yüzdesi (%)	10.1597	0.0033
Tepe (m)	11.0160	10.0003
Sürekli Zaman Hatası	0.1550	0.0018

Tablo 4’de x eksenı boyunca performans kriterleri gösterilmiştir. PID parametrelerinin CSA ile optimize edilerek elde edilen kontrol sisteminin optimize edilmeden elde edilen kontrol sistemine göre oturma süresi, aşım yüzdesi, tepe noktası ve Sürekli zaman hatası bakımından daha başarılı olduğu görülmektedir. Sadece yükselme zamanı PID için daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca, z eksenı için sürekli durum hatası x ve y eksenlerine göre daha az olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4 z eksenı boyunca performans kriterleri

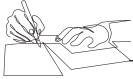
	PID	PID+CSA
Yükselme Süresi(s)	0.6704	0.8941
Oturma Süresi (s)	1.9965	1.6133
Aşım Yüzdesi (%)	6.1715	4.4362×10^{-5}
Tepe (m)	21.2343	20
Sürekli Zaman Hatası	2.1219×10^{-6}	2.7062×10^{-6}

Sonuçlar

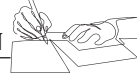
Bu çalışmada, İHA’nın kontrolü için gerekli hareket denklemleri elde edilerek PID kontrol sistemi modellenmiştir. CSA algoritması kullanılarak PID kontrol sisteminin parametreleri belirlenmiş ve kontrol performansı artırılmıştır. PID kontrolünde performansı etkileyen K_p , K_d ve K_i parametrelerinin tespiti için nümerik optimizasyon algoritmalarından faydalanılarak elde edilen kontrol sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; CSA algoritmasıyla optimize edilerek bulunan parametrelerin, kullanıcı tarafından belirlenene göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

1. Boubertakh, H., Bencharef, S., & Labiod, S. (2013, October). PSO-based PID control design for the stabilization of a quadrotor. In *Systems and Control (ICSC), 2013 3rd International Conference on* (pp. 514-517). IEEE
2. Can, S., M., Ercan, H., Tekin, A., S. (2018). Optimization of Steady State Flight Parameters for a Given Trim Condition. 4th International Conference On Engineering And Natural Sciences (ICENS 2018) (pp.672-679)
3. Cao, N., & Lynch, A. F. (2016). Inner-Outer Loop Control for Quadrotor UAVs With Input and State Constraints. *IEEE Trans. Contr. Sys. Techn.*, 24(5), 1797-1804.
4. Duc, M. N., Trong, T. N., & Xuan, Y. S. (2015, August). The quadrotor MAV system using PID control. In *Mechatronics and Automation (ICMA), 2015 IEEE International Conference on* (pp. 506-510). IEEE.



5. Ercan H., Can, S., M. (2018). Roll Control Of Aircraft Using Optimization Algorithms And Lqr Method. 2nd International Congress on Multidisciplinary Studies 4th-5th May, 2018.
6. Liu, X., Zhao, D., & Wu, Y. (2015, December). Application of improved PSO in PID parameter optimization of quadrotor. In *Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP), 2015 12th International Computer Conference on* (pp. 443-447). IEEE.
7. Njinwoua, B. J., & Wouwer, A. V. (2018). Cascade attitude control of a quadcopter in presence of motor asymmetry*. *IFAC-PapersOnLine*, 51(4), 113-118.
8. Pounds, P. E., Bersak, D. R., & Dollar, A. M. (2012). Stability of small-scale UAV helicopters and quadrotors with added payload mass under PID control. *Autonomous Robots*, 33(1-2), 129-142.
9. Rinaldi, F., Gargioli, A., Quagliotti, F. (2014). PID and LQ regulation of a multirotor attitude: mathematical modeling, simulations and experimental results. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Vol.73 (1-4), pp. 33-50.
10. Yang, X. S., & Deb, S., 2009. Cuckoo search via Lévy flights, pp. 210-214. World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing, NaBIC. 9-11 December 2009. Coimbatore, India
11. Yit, K. K., Rajendran, P., Wee, L. K. (2016). Proportional-derivative linear quadratic regulator controller design for improved longitudinal motion control of unmanned aerial vehicles. *International Journal of Micro Air Vehicles*, Vol.8 (1), pp. 41-50.
12. Zhu, J., Liu, E., Guo, S., & Xu, C. (2015, May). A gradient optimization based PID tuning approach on quadrotor. In *Control and Decision Conference (CCDC), 2015 27th Chinese* (pp. 1588-1593). IEEE.

**CHAPTER****9****KANSER EPİDEMİYOLOJİSİNDE
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
KULLANIMI****Hatice Canan GÜNGÖR, Gülgün ÖZKAN****GİRİŞ**

Sağlık insanoğlunun en temel ihtiyacıdır. Bu temel ihtiyacın korunması için, her çağda disiplinler arası çalışmalarla pek çok yeni yöntemlerin geliştirildiği görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tanımına göre sağlık, beden ve ruhen iyilik halidir, (Kesgin ve Topuzoğlu, 2006) aksi durum ise hastalık olarak nitelendirilmektedir. Hastalıktan korunma, önleme çalışmaları hastalıkları meydana getiren risk faktörlerini tanımlamakla başlamaktadır. (TSB, 2011) Hastalıkları meydana getiren risk faktörleri, dar anlamda davranışsal risk faktörleri, çevresel risk faktörleri, biyolojik risk faktörleri ve genetik risk faktörleri olmak üzere 4 başlıkta gruplanabilmektedir. (TSB, 2018) Her bir faktörün hastalığa etki derecesini tespit etmede ise pek çok farklı bilim dalının yeteneğinden faydalanmak, korunma ve önleme politikaları için yerinde tercih olacaktır. Bu bağlamda, özellikle çevresel risk faktörlerinin ortaya çıkarılmasında, günümüz teknolojisinde pek çok çalışmada ve planlamada yer bulan Coğrafi Bilgi Sistemi(CBS) teknolojisi dikkat çekmektedir. Bilim olarak, CBS'nin teorik kökleri coğrafya, kartografi ve mekansal analize uzanır. (Aronoff, 1989)

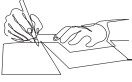
CBS veri toplama ve analiz, iletişim, karar destek vericilerden oluşan üç tip temel destekle nüfus tabanlı sağlık analizlerine katkıda bulunmak için geniş potansiyele sahiptir.

CBS ve Epidemiyoloji

Mekanla ilişkilendirilebilen her türlü veriyi işleyip anlamlı hale getiren; donanım, yazılım, metod ve insan bileşenlerinden oluşan CBS, bugün pek çok disiplin içinde Mekansal Karar Destek Sistemlerine (MKDS) yardımcı olarak, alınacak her kararda ekonomik ve zamansal karlar sağlamaktadır. Bu disiplinlerden birisi de sağlık uygulamalarıdır. Sağlık alanında CBS'den faydalanılması iki yaklaşımla incelenmektedir. Bunlardan birincisi sağlık hizmetlerinin konuşlandırılması, ikincisi de hastalıkların mekânsal dağılımı şeklindedir. İkinci yaklaşımdaki çalışmalar, bugün hastalıkların nedenlerini tespit etmek için, epidemiyolojik çalışmalar şeklinde CBS'yi de içine alarak önem teşkil etmektedir. (Plant et.al., 2003)

Epidemiyoloji, nüfus içindeki hastalık ve sağlığın incelenmesidir. CBS hastalığa neden olabilecek yerleşimlerin tespitini yaparak epidemiyolojide bir avantaj olarak kullanılmaktadır. (Freedman et.al.,2006)

Epidemiyologlar için “mekansal düşün” kavramı, mekansal çalışmaların gereksinimini ortaya koymaktadır. (Tunstall et.al., 2004) CBS' nin epidemiyolojide kullanımının önemli başarıları ve eşsiz sonuçları kaynaklarca araştırılıp, ortaya konmuştur.



Hastalık Haritalama

CBS'nin analiz çıktısı haritadır. Sağlık alanındaki yetkililer hastalık verilerinin mekansal analizlerle işlenmesiyle, büyük miktarlardaki bilgileri mekansal sorgulamalarla yönetebilmektedirler.

Hastalıkların dağılımının çevresel faktörlerle ve sosyoekonomik çevreyle ilişkisini inceleyerek haritalarla görselleştirebilmektedirler. (Bray et.al.,2004) Ayrıca geleceğe dair sağlık tesisi ihtiyaç duyulan konumlara dair şehir planlarına altlık oluşturarak sağlık politikalarına yön verilebilmektedir. (Gatrell et.al., 2004)

Konumsal epidemiyoloji, hastalıkların riskinde ya da görülme oranlarındaki konumsal değişimlerin izlenmesidir. Kısaca, hastalığın insidansının yani nüfus içindeki görülme frekansının konumsal/coğrafi dağılımının analizi ile ilgilenir. Bazı hastalıkların çevreyle ilişkili olduğu önceki çalışmalardan tespit edilmiştir. Çevreyle ilişkili olan hastalıklardan biri de kanser hastalığıdır. Organizmada meydana gelen ve hücreleri kontrolsüz büyüyen kötü huylu tümörlere verilen genel ad kanserdir (Koyi et.al, 2002).

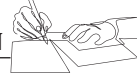
Çağın vebası olarak bilinen kanser hastalığının, bazı türlerinin de, kişinin yaşadığı çevreyle ilişkili olabileceği daha önceki çalışmalarla tespit edilmiştir. (TSB, 2018) Çeşitli kanserlerin çevreye bağlı olarak oluşum oranı günümüzde %80-90'dır. Sağlık açısından çevre; toprak, su ve havayı içeren fiziksel çevre, biyolojik çevre ve sosyal çevre olarak tanımlanabilir ve hepsi birbiriyle etkileşim halinde olup genlerin yapısını da etkiler (Chauan et.al., 1998) Kanser hakkındaki epidemiyolojik düşünme şeklinin başlangıcı R. Stern'in çalışmasıyla, 1842 de Verona'da kanserden ölüm oranlarının istatistiksel verilerini bir araya getirmesiyle olmuştur. Kanser coğrafi dağılımı 19.yy. ikinci yarısında gittikçe artan bir ilgi görmüş, 1915'de Hoffman kitabında dünya genelinde kanserin coğrafi patolojisi ve kanserden ölüm oranlarını yazmıştır. Yaşanılan coğrafya ile kanser sıklığı arasındaki ilişkiye pek çok çalışmayla vurgu yapılmıştır.

UYGULAMA

Kanser dağılımı için yapılan analiz çalışmalarına temel olan kanser kayıtlarının derlenmesinde ve modellemesinde, CBS'nden yararlanılması önemlidir. Böylece kanser hastalığı dağılımı analizi ve mekansal verilerin ilişkilendirilmesi için veri modelinin, yapısının ve formatının ortaya konması ve veri yapısı ile ilgili temel prototiplerin standartlaştırılması sağlanabilir. Bu yönüyle de uygulamanın, ülkemizdeki diğer kanser hastalığı mekânsal dağılım analizi çalışmaları için de önemli bir örnek olabileceği umulmaktadır. Ayrıca çalışmada epidemiyolojik çalışmalar için bir yol haritası çizilmesi planlanmıştır.

Çalışmayla, kanser vakalarının tespitinde ve kontrolünde CBS destekli olarak ortaya konulan mekânsal istatistik ve mekânsal analiz tekniklerinin de ciddi anlamda AR-GE değeri olacağı düşünülmektedir

Bu çalışmada 2010-2016 yılları arasında Konya iline ait kanser vakalarının mekânsal ve zamansal olarak dağılımı ve çevresel faktörlerin etkisi incelenmiştir. İlin jeoloji haritası, arazi kullanım haritası, topografik eş yükseklik haritası, güneşlenme şiddeti haritası, baz istasyon dağılımı haritası ve maden haritaları



altlık olarak kullanılarak kanserin mekânla ilişkisi araştırılmıştır. Kanser türleri gruplara ayrılarak, kanser hastalarının yaşı, cinsiyeti, eğitimi, mesleği ve kan bağı gibi beşeri bilgileri birbirleriyle ve mekânla ilişkileri istatistiksel olarak incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Kısıtlar

Sağlık verilerinin ulaşılabilirliği ülkemizde bilimsel çalışma gereği de olsa oldukça güçtür. Kayıt altına alınan hastaların mahremiyeti hassasiyetiyle de olsa akademik alanda yapılacak çalışmalar için tutulan veri kayıtlarının ihtiyaç olanı kadarı data olarak ulaşılabilir olmalıdır.

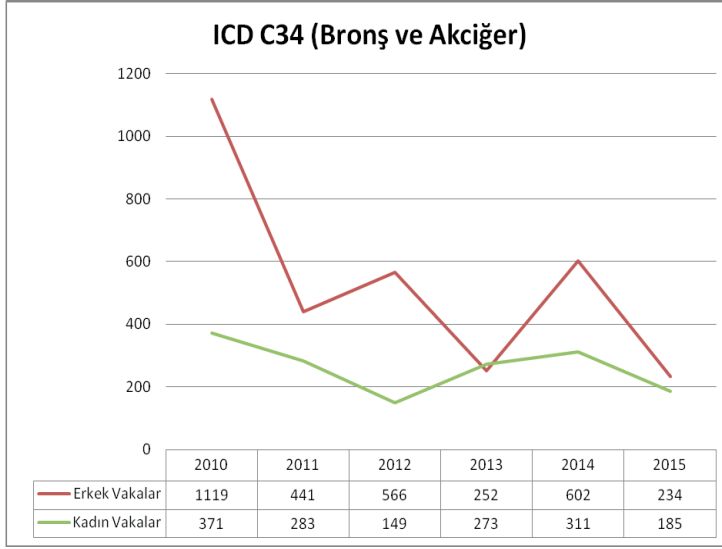
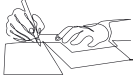
Bu çalışmada kullanılması gereken kanser hastaları kayıtları Konya İl Sağlık Müdürlüğü'nden Bakanlığın olumsuz görüşüyle elde edilememiştir. Dolayısıyla Konya Büyükşehir belediyesi sınırları içindeki hastanelerin kayıtları talep edilmiş, ancak Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi'nden olumlu yanıt alınarak veriler elde edilmiştir. Bu durum, çalışma için önemli bir kısıttır. Hastane kayıtları nüfustaki tüm kanser hastaları kayıtlarını içermemektedir. Sadece Meram Tıp Fakültesine muayene gelen hasta kayıtlarını içermektedir. Dolayısıyla yapılan çalışma tüm idari sınır içinde gerçeği açıkça yansıtamayacaktır. Ancak eldeki verilerle amaçlanan çalışmanın yöntemi anlatılmış olacaktır.

İkinci bir kısıt ise hasta veri tabanı oluşturulurken sorulması gereken soruların standartlaşmamış olması ve de tüm soruların cevabının alınamamış olmasıdır. Örneğin hastanın yaşı yazılamamış ya da epidemiyoloji için önemli olan adres bilgisi yazılamamış bir kayıt veri tabanından çıkartılmak zorunda kalmaktadır. Bu da veri tabanında eksiklere neden olarak veri kaybına neden olmaktadır.

Kanser ve mekan

Meram Tıp Fakültesi'nden ICD10 (Uluslar arası hastalık kodlama) sistemi ile kayıt altında tuttuğu, ICD C34 (Bronş ve Akciğer), ICD C61 (Prostat), ICD C81-85 (Lenfoma) kanserlerinin kayıtlarını, vakanın yaşı, cinsiyeti, adresi şeklinde veriler temin edildikten sonra çalışmaya başlanılmıştır.

ICD C34 kodu altında incelenen akciğer kanserli vakalar toplam 2010-2015 yılları arası 5570 kişidir. 5570 vakanın 3906 sı erkek vaka, 1664 ü kadın vaka olarak tespit edilmiştir. Yıllara göre dağılım grafiği Şekil 1. De görülmektedir.



Şekil1 . Yıllara göre akciğer kanserli vakaların dağılım grafiği

Yıllar grafiğine bakıldığında 2010 yılında en yüksek vakaların seyrettiği görülmektedir.2013 yılında ise erkek vakaların sayısında ciddi bir azalma söz konusudur. Genel grafik incelendiğinde kadın vakaların erkek vakalarda az olduğu tüm yıllarda görülmektedir.

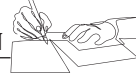
Salt sayılar toplumda görülen yeni kanserli vakaların mekanla ilişkisi hakkında berrak bir fikir vermemektedir. Bu sebeple asıl bakılması gereken nüfusta görülen orandır. Bu oran literatürde insidans olarak adlandırılmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)' nün belirttiğine göre dünyada her yıl 100.000 nüfus için 150-300 kişinin kansere yakalanması beklenmektedir. Buna göre, insidans değeri 300'den büyük olan yerleşim alanları kanser yoğunluğu açısından riskli bölgeler olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, üretilen kanser insidans haritası üzerinde yapılan analizler sonucunda, yerleşim birimlerinin insidans büyüklükleri DSÖ' nün belirttiği sınır değerinin üzerinde olan ilçelere dikkat çekilmektedir

Buna göre Konya iline ait 2010 yılındaki akciğer kanserli vakalarının ilçelere göre insidans değerleri hesaplanmıştır. Tablo1.de bazı ilçeler gösterilmektedir. İnsidans değerleriyle oluşturulan insidans haritası Şekil5.'te resmedilmiştir.

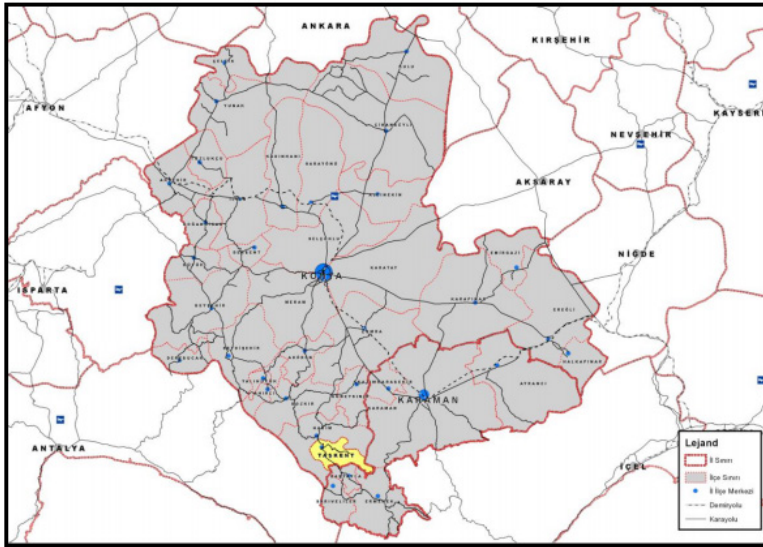
Tablo1. 2010 yılı insidans dağılımı

İlçe Adı	Baz İstasyon	İnsidans		İnsidans
	Sayısı	Kadın	Erkek	Toplam
AKÖREN	7	137.817	316.9116	225.3839
EMIRGAZI	6	120.8946	550.1481	330.2714
GUNEYSINIR	6	19.30502	247.4305	134.1767



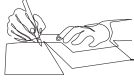
KARATAY	148	28.14801	66.09787	47.13556
MERAM	156	38.71246	103.2841	70.92402
SELÇUKLU	229	52.52425	150.3383	101.0981
TAŞKENT	10	151.5917	715.0424	426.6874
YALIHÜYÜK	2	335.9462	477.327	404.3905

Taşkent ilçesi erkek vakalarda başta olmak üzere sırasıyla, Emirgazi ve Yalıhüyük ilçeleri sınır değer in oldukça üstünde tespit edilmiştir. Toplam vakalar-
daki insidansa bakıldığında yine Taşkent, Yalıhüyük ve Emirgazi ilçeleri başta
görülmektedir. Bunun sebebi olarak çevresel etkenler incelenmiştir. İnsidansı
yüksek olan ilçeler mercek altına alınmıştır. Şekil2 Taşkent İlçesinin Konya ilin-
deki konumunu göstermektedir.



Şekil2. Taşkent ilçesi

Aynı zamanda toprak kullanımına ilişkin araştırmalar yapılmıştır. Taşkent ilçesi 42.763,35 hektar'lık alan ile Konya'nın %1,05'ini, Göller Havzası'nın %3,09'unu, Türkiye'nin ise %0,05'ini kapsamaktadır. İlçe toplam alanının %13,80'i tarım arazilerine ayrılmış olup, bu oran Türkiye ve Konya ortalamasının oldukça altındadır. Toplam alanın %16,84 oranı çayır-mera alanları Taşkent İlçe Raporu, 2014 Sayfa 3 için ayrılmıştır. Ormanlık alan ise toplam alanın %38,94 gibi büyük bir alanı kapsamaktadır. İlçenin orman alanı Konya toplam ormanlık alanın %3,08'ini oluşturmaktadır.



Alan Adı	Taşkent Alan Kullanım Türü		Konya Alan Kullanım Türü		Türkiye Alan Kullanım Türü		Taşkent Alan Kullanım/			
	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)	Konya (%)	TR52 (%)	30. Göller Havzası (ile düşen) Arazi (%)	Türkiye (%)
Tarım Arazisi	5.900,00	13,80	2.247.856,60	55,08	24.294.680,8	31,00	0,26	0,23	1,43	0,02
Çayır-Mera	7.200,00	16,84	761.460,70	18,66	14.616.687,3	18,65	0,95	0,68	5,71	0,05
Orman	16.650,00	38,94	540.189,00	13,24	21.389.783,0	27,30	3,08	2,37	3,41	0,08
Diğer	13.013,35	30,43	531.845,65	13,03	18.056.548,9	23,04	2,45	1,86	3,62	0,07
Toplam	42.763,35	100	4.081.351,95	100	78.357.700,0	100	1,05	0,86	3,09	0,05

Şekil3. Taşkent alan kullanım tablosu

Coğrafi bölge olarak Akdeniz bölgesinde, Orta Torosların Taşeli mevkiinin oldukça yüksek bir bölgesinde yer alan Taşkent'in yerleşim alanında topoğrafya engebeldir.

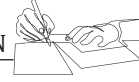
İşlenen Arazi Türü	Taşkent İşlenen Arazi		Konya İşlenen Arazi		Taşkent İşlenen Arazi/	
	(da)	(%)	(da)	(%)	Konya İşlenen Arazi (%)	TR52 İşlenen Arazi (%)
Tarla arazisi	10.634	32,81	12.588.987	66,19	0,08	0,07
Nadas	11.783	36,35	5.865.622	30,84	0,2	0,18
Sebze	700	2,15	176.516	0,93	0,39	0,22
Meyve, içecek ve baharat	9.292	28,67	385.753	2,03	2,40	1,3
Süs bitkileri	0	0	1.506,80	0,01	0,00	0,00
Toplam	32.409	100,00	19.018.384,80	100	0,17	0,14

Şekil4. Taşkent işlenen arazi kullanım durum tablosu

Taşkent'te işlenen toplam arazi 32.409 da olup, Konya toplam işlenen alanın % 0,17'sini oluşturmaktadır. Bu arazilerin %32,81 gibi büyük bir oranında tarla tarımı yapılmaktadır. Tarım arazilerinin toplam işlenen araziye oranı, Konya (%30,84) oranına göre yüksektir. İlçede genellikle kuru tarım yapıldığından nadas için ayrılan alanların oranının yüksek olduğu görülmektedir. Buna karşın, ilçede bağcılık faaliyetinin çok az olduğu görülmektedir. Meyvecilik için ayrılan alanın %28,67 oranla önemli paya sahip olduğu görülmektedir. Taşkent ilçesi dağlık yapısı ve küçük tarım alanları ile meyvecilik anlamında potansiyel taşımaktadır. Özellikle kiraz ekonomik değeri olan bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bölgedeki kiraz alanlarının artırılması sulama imkânlarında ki kısıttan dolayı mümkün görünmemektedir. Diğer alanlar da yüksek telli terbiye sistemi bağcılık faaliyetlerinin geliştirilmesi uygun olacaktır. Çünkü üzüm bu bölgenin vazgeçilmezi konumundadır.

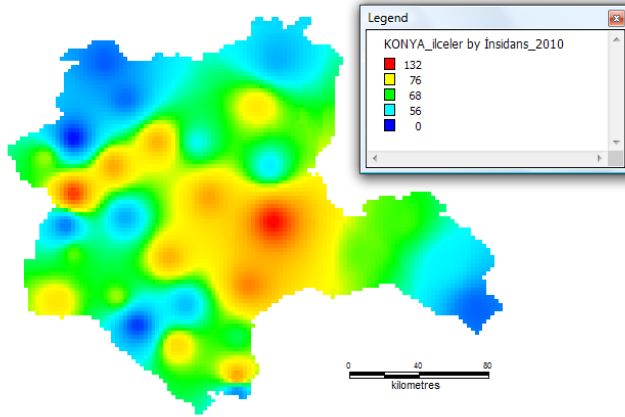
Madencilik faaliyetleri incelendiğinde ise Taşkent ilçesinde ekonomik değeri bulunan bilinen herhangi bir rezerv bilinmemektedir.

Kanser hastalığını etkisi bilinen linyit, kömür, asbest, radon gibi etkenlere ilçede rastlanmamaktadır. Bu durum da insidans değerinin yüksekliği hastalığa etki eden diğer etkenlerde aranmalıdır. Genetik faktörler, beslenme alışkanlıkları



gibi faktörler hastalığın nedenleri arasında izlenmelidir.

İnsidans oranı yüksek çıkan diğer ilçelerde aynı özellikleriyle incelenmiştir. Genel itibarıyla 2010-2015 yılları arasında zamansal değişimiyle incelenen akciğer kanseri ilin her yıl farklı bölgelerinde yüksek sınırlarda ya da yakın değerlerde tespit edilmiştir. Çevresel etkisiyle anlamlı bir sonuç ilişkilendirilememiştir. Bunun temel nedenlerinden biri de ilde sağlıklı olarak tutulamayan hava kirliliği değerleridir. Bu değerler her ilçe için elde edilememektedir. Hava kirliliği haritalarıyla tematik katmanlarda analizin yapılması sonucu daha geçerli çıkaracaktır. Ancak bu durumda çalışmanın diğer kısıtlarından biridir.



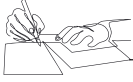
Şekil5. 2010 yılı insidans haritası

Eldeki verilerle akciğer kanseri haritaları 2010-2015 yılları arasında düzenlenerek insidans haritalarıyla zamansal değişiminin tematik olarak izlenmesi sağlanmıştır.

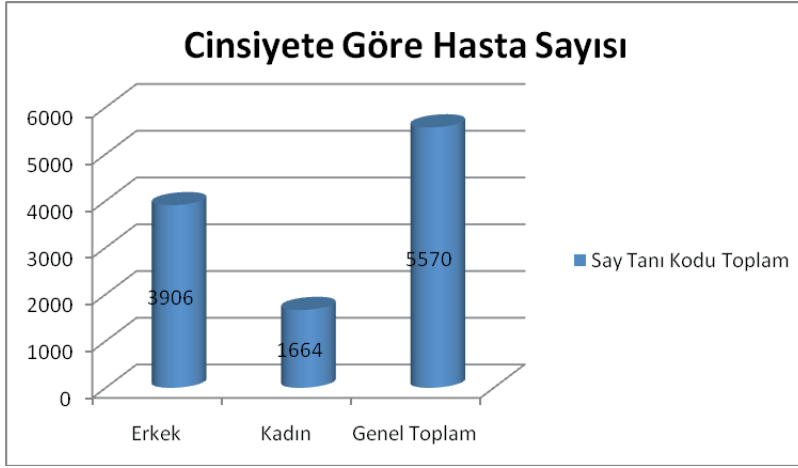
SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan araştırmada elde edilen sonuçlar ve analizler tablolar ve şekiller halinde verilerek açıklanmıştır. Ülkemizde kanser kayıtlılığı 2012 den bu yana Sağlık Bakanlığı'nın hassasiyetle takip ettiği bir konudur. İl Sağlık Müdürlüklerinin şubelerinde ilde bulunan tüm hastane kayıtları alınarak merkezde düzenlenip veri tabanı oluşturulmaktadır. Kişi mahremiyeti nedeniyle veriler paylaşılmamaktadır. Ancak bilimsel araştırmalar, çalışmaların yapılmasında ayrıcalık tanınmalıdır. Ki veri paylaşımı yapılmadan farklı disiplinler sorun olan bir konuya çözüm üretmekte yetersiz kalmaktadırlar.

Bu çalışmada karşılaşılan güçlükler, verilere ulaşım problemi kısıtlı vakalarla çalışma da olsa sonucuna ulaşmıştır. Farklı kanser türleri yerine çağın vebası olarak da bilinen Akciğer kanseri detaylı olarak Konya ili ve ilçelerinde incelenmiştir. İlçelerdeki zamansal değişim insidansları yorumlanmıştır. Toplam 5570 vakanın 3906 sı erkek, 1664 ü kadın vaka olarak tespit edilmiştir. Bu kanser türünden erkek vakaların sayısı kadın vakaların 2 katını geçmektedir.



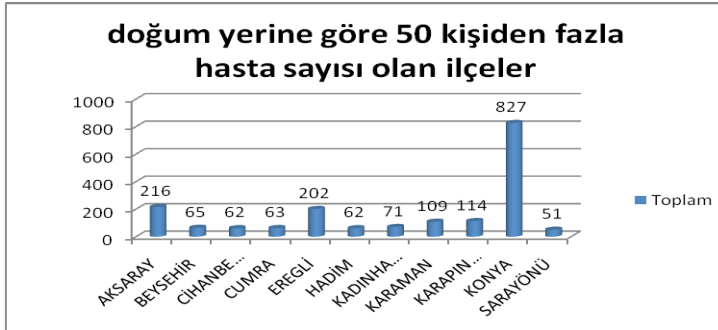
Şekil6.Cinsiyete göre hasta yüzdesi pasta grafik



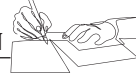
Şekil7.Cinsiyete göre toplam hasta sayısı

Bu durum erkek vakaların ülkemizde sigara kullanımının daha çokluğuyla örtüşmektedir keza akciğer kanserlerinin en baştaki nedenlerinden biri de literatürlerde belirtildiği üzere sigara ve tütün ürünleridir.

Elde edilen sonuçlardan biri de vakaların doğum yerleri ile kayıtlı belirttikleri adreslerinin incelemesi olmuştur.

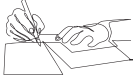


Şekil8.Doğum yerine göre toplam hasta sayısı



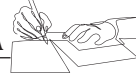
En fazla hasta sayısı Konya merkez doğumlu olarak 827 kişidir. İkinci en yüksek doğum yeri 216 sayısı ile Aksaray ilidir. 202 vaka Ereğli doğumludur. Bu araştırmada, görülen eksiklerden biri de doğduğu yerde ne kadar süre kaldığı ve yaşadığı yerde ne kadar süre barındığı kayıt altına alınmalı epidemiyoloji böylelikle daha anlamlı şekilde incelenmelidir.

Tüm bu sonuçlar göstermektedir ki, sağlık alanında önlem ve koruma tedbirlerini oluşturabilmek için risk faktörlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Risk faktörlerinin tespiti için ise veri tabanı doğru şekilde tutulmalı ve yetkili mercilerle doğru amaç için paylaşılabilir. Yapılan çalışmaların geleceğe ışık tutabilmesi için, pek çok disiplinin işbirliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Sağlık alanına bilgi teknolojisi hususunda yapılan yatırımlar geri dönüşü en karlı yatırımlardır. Bu yatırımın dahilinde yetişmiş nitelikli insan gücüne, veri tabanı oluşturabilmeye doğru sistem kurulumuna ihtiyaç duyulmaktadır.



KAYNAKLAR

1. ARONOFF, Stan. Geographic information systems: a management perspective. 1989.
2. BRAY, Freddie; MCCARRON, Peter; PARKIN, D. Maxwell. The changing global patterns of female breast cancer incidence and mortality. Breast cancer research, 2004, 6.6: 229.
3. CHAUHAN, A.J., KRİSHNA, M.R., FREW, A.J., HOLGATE, S.T., "Exposure to nitrogen oxide and respiratory disease risk", Rev. Environ. Health 13, 73. (1998)
4. FREEDMAN, Laurence S., et al. Cancer incidence in four member countries (Cyprus, Egypt, Israel, and Jordan) of the Middle East Cancer Consortium (MECC) compared with US SEER. Cancer incidence in four member countries (Cyprus, Egypt, Israel, and Jordan) of the Middle East Cancer Consortium (MECC) compared with US SEER., 2006.
5. GATRELL, Anthony C.; RIGBY, Janette E. Spatial perspectives in public health. Spatially Integrated Social Science, 2004, 366-380.
6. KESGIN, Coşkun; TOPUZOĞLU, Ahmet. Sağlığın tanımı: başa çıkma. 2006.
7. KOYI, Hirsh; HILLERDAL, Gunnar; BRANDÉN, Eva. A prospective study of a total material of lung cancer from a county in Sweden 1997-1999: gender, symptoms, type, stage, and smoking habits. Lung Cancer, 2002, 36.1: 9-14.
8. PLANT, J.A., SMITH, D., SMITH, B. & REEDER, S., Environmental geochemistry on a global scale. In: "Geology and Health: closing a gap", H.C.W. Skinner & A.R. Berger (Eds.), Oxford University Press, Oxford, 129-134., 2003.
9. TSB., 2011. TEŞVİKİ, Sağlığın; SÖZLÜĞÜ, Geliştirilmesi. TC Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Bakanlık Yayın No: 814 ISBN: 978-975-590-361-3 1. Baskı Ankara Nisan, 2011, 1-5.
10. TSB, 2018. Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü Kanseri Dairesi Başkanlığı, <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/kanser-nedir-belirtileri/kanser-nedir-belirtileri1/380-risk-fakt%C3%B6rleri.html> (Accessed Date: 01.12.2018)
11. TÜİK, 2018. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> (Accessed Date: 01.12.2018)
12. TUNSTALL, Helena VZ; SHAW, Mary; DORLING, Danny. Places and health. Journal of Epidemiology & Community Health, 2004, 58.1: 6-10.

**CHAPTER
10****İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE
KONTROL YÖNTEMLERİ ÜZERİNE BİR
İNCELEME****Murat SELEK¹, Hayri İNCEKARA²****1. GİRİŞ**

İnsansız Hava Araçları (İHA), insan taşıma amacı olmayan, askeri ve sivil uygulamalar için kullanılabilen son nesil hava araçlarıdır. İHA'lar insanlı uçaklardan farklı olarak üzerinde personele ihtiyaç duymamakta ve uçuşun çoğunluğunda otonom yapılar ile desteklenmektedir [1]. İHA'ların insanlı sistemlere göre düşük maliyet, uzun dayanım, manevra kabiliyeti, düşük radar belirtileri ve ekip için düşük risk gibi belli temel avantajları vardır [2], [3]. İHA'lar güvenlik, toplum sağlığı, haberleşme gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir ve gün geçtikçe de kullanım alanları artmaktadır [4]. Daha güvenli ve yaşanılabilir bir dünya için, İHA sistemleri ciddi bir çözüm aracı olarak önem kazanmaktadır.

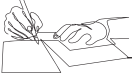
Birleşmiş Milletler (BM) tarafından 2007 yılında hazırlanan bir raporda [5]; doğadaki değişiklikler, yoksulluk, göç, nüfus artışı ve küreselleşme gibi faktörlerden dolayı felaket riskleri de değişmiştir. BM tarafından 2013 yılında hazırlanan başka bir raporda ise [6] bu yüzyıl içinde felaketlere bağlı oluşan maddi kayıpların 2,5 trilyon dolar olduğu belirtilmektedir. Çernobil nükleer santral patlaması gibi felaketler, küresel ısınmaya bağlı orman yangınları, nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı aşırı kentleşmenin beraberinde getirdiği olumsuz sonuçların en az zararlı atlatılabilmesi, zamanında ve yeterli tedbirlerin alınmasıyla mümkün olabilir. Tüm bu olumsuzluklara karşı dünya genelinde ve Türkiye de her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulan İHA sistemleri uygun çözümler sunabilmektedir.

İHA'lar herhangi bir yer istasyonu veya kumanda aracılığıyla uzaktan kumanda edilerek veya çeşitli sensör ve kontrolcü kartları kullanılarak otonom uçuş yapabilir [7], [8]. Günümüzde farklı sensör ve işlemcilerin bulunduğu geliştirilmeye kapalı otopilot sistemlerinin yanı sıra yazılımsal ve donanımsal olarak geliştirilmeye açık otopilot sistemleride bulunmaktadır. Otopilot sistemleri sayesinde İHA'lar belirlenen rotada uçuş görevini otonom olarak yerine getirmekte ve otonom olarak iniş-kalkış yapabilmektedir. Ayrıca otonom kontrol sistemleri ile insana bağlılık her geçen gün azalarak İHA kullanımı sivil ve askeri alanlarda vazgeçilmez hale gelmektedir.

Havacılık teknolojisinin gelişimiyle birlikte otopilot sistemleri de gelişim göstermiştir. İnsan müdahaleli sistemler eksik ve yavaş kalabilmekte, tehlikeli ve riskli görevlerde otopilot sistemleri kaçınılmaz hale gelmektedir. İlk uçak ta-

1 Dr. Öğr. Üyesi Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 42003

2 Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Teknolojileri Mühendisliği



sarımcılarının uçak tasarlarken kullandıkları yaklaşımlar, mekanizmaları kararlı tasarlamak ve pilotun tek görevi olan uçağın yönlendirilmesi idi [9], [10]. Ancak bu tasarımların manevra kabiliyetleri sınırlı kalmakta ve atmosferik bozuculara karşı çok duyarlı olmaktadır. Bundan dolayı ilk otopilot yaklaşımlarının amacı bozucu etkilere rağmen uçağın dengede kalmasını ve istenilen duruşu sergileyebilmesini sağlamaktı [11]. Ancak uçak teknolojisi geliştikçe, yakıt tasarrufunun sağlanması, çeşitli yükseklik ve hızlarda en iyi uçuş performansının sergilenmesi, olumsuz doğa koşullarına karşı kararlı sistemlerin tasarlanması için daha gelişmiş kontrol yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur.

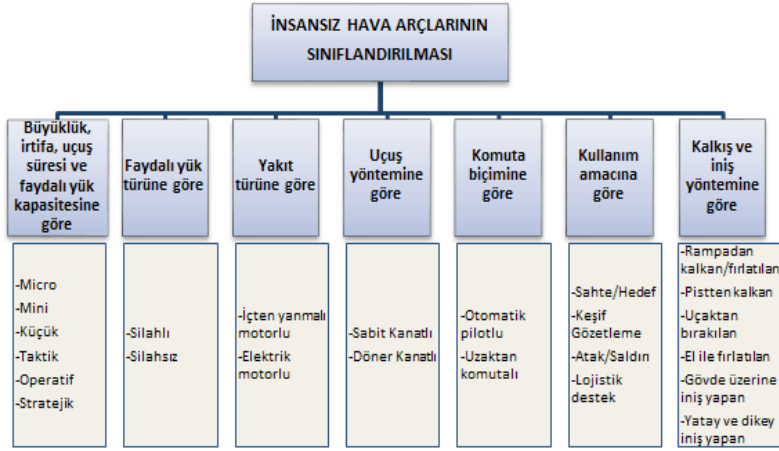
Günümüzde yapılan çalışmalara bakıldığında insansız hava araçlarında kullanılan kontrol yöntemleri şu şekilde sıralanabilir: Proportional Integral Derivative (PID) [12], [13], [14],[15], Linear Quadratic Regulator (LQR) [16], [17], Kayan Kipli Kontrol (KKK) [18], [19], Geri Adımlamalı Kontrol [20], [21], Geri Beslemeli Doğrusallaştırma [22], [23], H_∞ [24], [25], Bulanık Mantık Kontrol [26], [27], YSA Kontrol [28], [29], Model Öngörülü Kontrol [30], [31], Genetik Algoritmalar [32], [33] [34].

Bu çalışmada, her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulan İHA'lar tanıtılmış, İHA'ların kullanım alanları ve sınıflandırılması yapılmıştır. Daha sonra İHA sistemi bileşenleri üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde İHA kontrolünde kullanılan kontrol yöntemleri ve bunlarla ilgili literatür araştırması sunulmuştur. Son bölümde ise sonuçlar verilmiştir.

2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

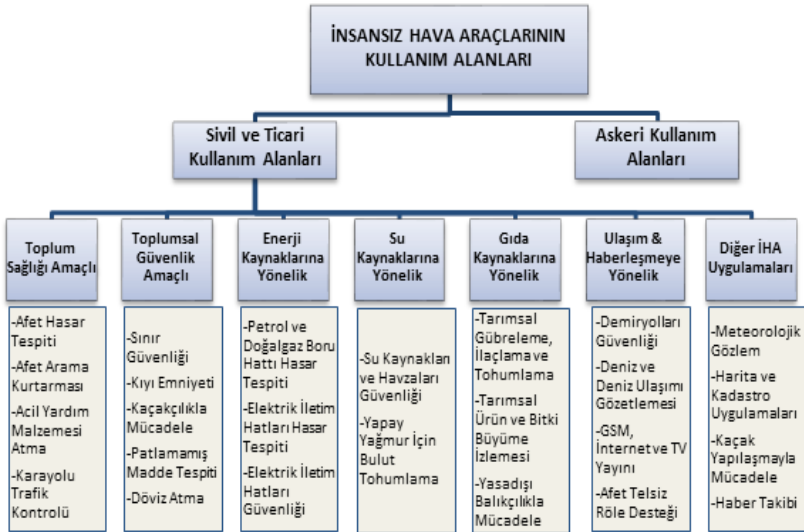
İnsansız hava araçları, istenilen uçuşu veya görevi uzaktan kumanda ile veya otonom olarak yerine getirebilen [1], otonom olarak iniş-kalkış yapabilen, üzerinde faydalı yük taşıyabilen ve herhangi bir pilot idaresinde olmayan uçaklar olarak tanımlanabilir [8]. İHA'lar günümüzde "Drone", "pilotsuz uçak", "robot uçak" gibi kavramlarla da adlandırılmaktadır.

Günümüzde çok farklı sayıda İHA bulunmaktadır ve bu yüzden dünya genelinde İHA'ların sınıflandırılması üzerine henüz uzlaşılmış bir yaklaşım yoktur. Bu konuda en kabul edilen sınıflandırma NATO'ya aittir [35]. Aşağıdaki Şekil 2.1'de başlıklar halinde İHA'ların sınıflandırılması gösterilmiştir [36], [37], [38].

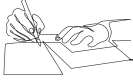


Şekil 2.1 İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

İnsansız hava araçlarının kullanım alanları, askeri kullanım alanları ile sivil ve ticari kullanım alanları olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. İHA'lar askeri alanda istihbarat, gözetleme ve keşif gibi görevleri yerine getirmektedirler. Dost olmayan hava sahalarında uzun süreli görev yapabilen, insan hayatını tehlikeye atmayan, kamera takılarak keşif ve gözetleme yapıp istihbarat toplayabilen İHA'ların askeri alanda kullanımı yaygınlaşmıştır [39]. İHA'ların bir başka kullanım alanını ise İnsansız Savaş Uçağı (İSU) sistemleri oluşturmaktadır [40]. Askeri alan dışındaki sivil ve ticari İHA uygulamalarının ise temel olarak 7 farklı alanda gerçekleşeceği öngörülmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.2'de İHA'ların kullanım alanları gösterilmiştir.

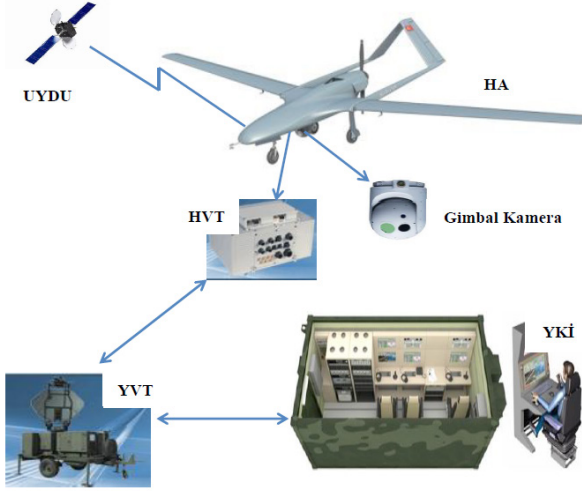


Şekil 2.2 İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları



2.1 İnsansız Hava Aracı Bileşenleri

Genel olarak insansız hava aracı sistemi aşağıdaki Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, hava aracı (HA) platformu, uydu sistemi, hava veri terminali (HVT), yer veri terminali (YVT), yer kontrol istasyonu (YKİ) ve gimbal kamera'dan oluşmaktadır. Aşağıdaki Şekil 2.3'de insansız hava aracı sisteminin gösterimi yapılmıştır [38], [8].



Şekil 2.3 İnsansız Hava Aracı Sistemi

2.1.1 İnsansız Hava Aracı Platformu

İHA platformu, hava aracının yapısal bileşenleri ile birlikte hava aracının uçabilmesi için birinci derecede önemli kontrol komutlarını üreten uçuş kritik bilgisayarı, uçuş için kritik olmayan havalandırma gibi ikinci derecede önemli işlemlerin gerçekleştirildiği yardımcı görev bilgisayarı, hava aracına güç sağlayan güç sistemi, hava aracını motorlarını kontrol eden servo sistemi, küresel konumlama sistemi, hava aracının hızını ölçmek için pitot tüpü, lazer mesafe ölçer, radar yükseklik ölçer ve ataletsel seyrüsefer sistemlerinden oluşmaktadır.

2.1.2 Yer Kontrol İstasyonu Sistemi

Yer kontrol istasyonu sisteminde, kullanıcı arayüzü, pilot, yardımcı pilot vb tüm elektronik ve yazılımsal alt sistemler yer almaktadır. Yer kontrol istasyonundan hava aracını kontrol, komuta ve izleme işlemleri gerçekleştirilir. Küçük boyutlu mini ve mikro hava araçlarında bu işlemler uzaktan kumanda modülleri ile sağlanmaktadır.

2.3.3 Yer Veri Terminali

Yer veri terminali uçuş esnasında hava aracı ile iletişimi sağlayan birimdir. Yer veri terminali, elektronik donanım, mekanik bileşenler ve yazılımdan oluşmaktadır. Mini ve mikro sistemlerde bu işlem tek kart üzerinden yapılırken diğer

sistemlerde uydu aracılığıyla yapılan özel sistemlerde geliştirilmiştir. Yer kontrol istasyonu, hava veri terminali ve yer veri terminali aracılığıyla çift yönlü haberleşme sağlayabilmektedir.

2.1.4 Hava Veri Terminali

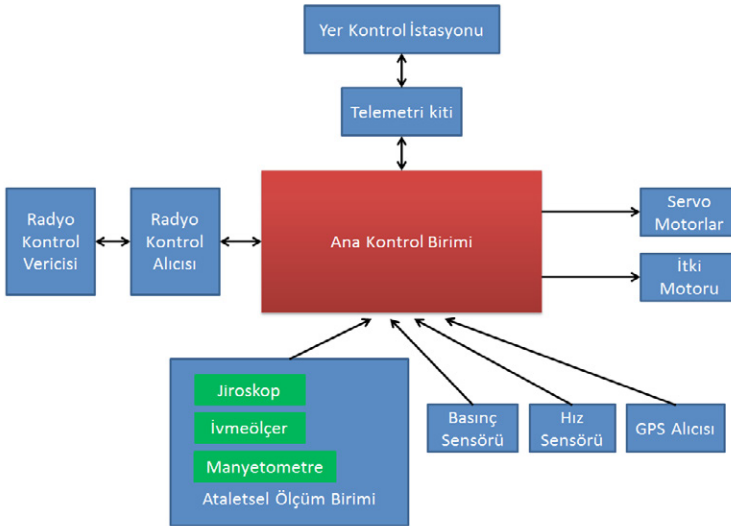
Hava veri terminali İHA'nın üzerinde bulunmaktadır. Hava veri terminali kullanılarak yer veri terminaliyle haberleşme gerçekleşmektedir. Hava aracı üzerindeki sensörlerden gelen veriler bu birim aracılığı ile yer kontrol istasyonuna iletilmektedir.

2.1.5 Faydalı Yük Ekipmanı

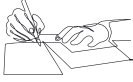
Faydalı yük ekipmanı hava aracının farklı koşullar altında görev yapmasına olanak sağlayan gece ve gündüz kamera sistemi, termal kamera gibi ünitelerin bulunduğu ekipmanlardır.

2.2 Otopilot Sistemleri

Otopilot, bir hava aracını insan müdahalesi gerektirmeden uçurabilen, önceden belirlenmiş bir rotayı takip edebilen veya bir uçuş görevini otonom ve güvenli şekilde yerine getiren, otomatik iniş ve kalkış yapabilen sistem olarak adlandırılır. Günümüzde hava araçlarının çoğunda otopilot sistemleri bulunmaktadır. Otopilot sistemleri, uzun uçuşlarda pilotlarda oluşan yorgunluğa, dikkat dağınıklığına ve insan unsurundan kaynaklanan birçok olumsuz etkiye karşı bir çözüm sunmaktadır. Otopilotlarda manyetometri, jiroskop, ataletsel ölçü birimi, barometre gibi temel donanım birimlerinden alınan veriler otopilot kontrol algoritmasından geçerek bir çıkış tepkisi oluşturulur. Bir İHA'nın uçuş kontrol sistemi aşağıdaki Şekil 2.4'de gösterilmiştir [41].



Şekil 2.4 İHA Uçuş Kontrol Sistemi



3. KONTROL YÖNTEMLERİ

İHA, manuel olarak radyo kontrollü bir kumanda aracılığıyla pilot tarafından kontrol edilebildiği gibi çeşitli sensörler ve kontrolcü kartları kullanılarak otonom uçuşta yapabilir. Önceden belirlenen bir uçuş rotasını takip edip, çeşitli uçuş görevlerini otonom olarak yerine getirebilir. Böylece insana bağlılığın azalması İHA kullanımını birçok alanda vazgeçilmez hale getirmiştir [7], [8].

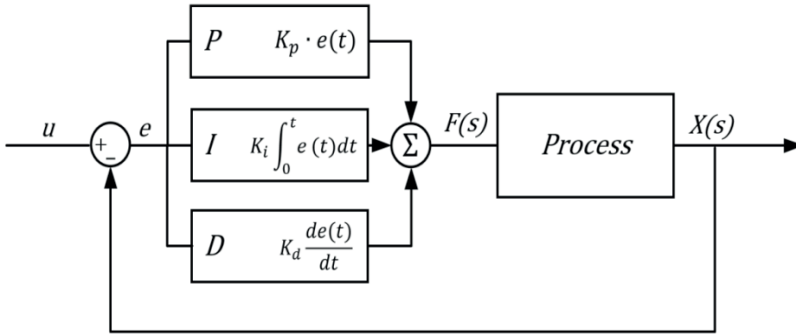
Günümüzde yazılımsal ve donanımsal olarak değişiklikler yapılmasına ve geliştirilmeye tamamen kapalı sistemlerin yanısıra değişiklikler yapılmaya ve geliştirilmeye izin veren açık kaynaklı ve düşük maliyetli otopilot sistemleri de bulunmaktadır.

Kontrol sistemleri genellikle geri besleme prensibine dayalı olarak çalışır. Bu sistemde kontrol edilen sinyal, olması istenilen referans sinyal ile karşılaştırılır ve bu karşılaştırmanın farkı kontrol etkisini düzeltmek için kullanılır. Genel olarak bir kontrol sisteminin amacı, çıkış değerlerinin giriş değerlerinin ayarlanması ile istenilen hale getirilmesidir [42], [11].

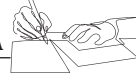
Günümüzde kullanılan otopilot sistemlerinin büyük çoğunluğunda PID tabanlı kontrol algoritmaları kullanılmaktadır. Ancak gelişen teknoloji ve farklı gereksinimlerin ortaya çıkmasından dolayı farklı kontrol yöntemleri de sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

3.1 PID (Proportional Integral Derivative) Kontrol

PID kontrolcüler, geri beslemeli kontrol mekanizmalarında yaygın bir biçimde kullanılırlar. Hatanın geçmiş, mevcut ve gelecek durumunu dikkate alabilen PID kontrolde P katsayısı anlık hataya bağlıdır, I katsayısı geçmiş hata değerlerinin toplamına bağlıdır ve D katsayısı ise gelecekte ortaya çıkacak hata değerlerinin anlık hata değişim oranına göre tahmin edilmesine bağlıdır [8, 43]. Çoğu sisteme entegre edilebilmesi, basitliği ve yeterli verimliliği sağlamasından dolayı endüstride kullanılan kontrolörlerin çoğu PID ve türevleridir [44], [45]. Şekil 3.1’de PID kontrol yapısı gösterilmiştir [46].



Şekil 3.1 PID Kontrol Yapısı

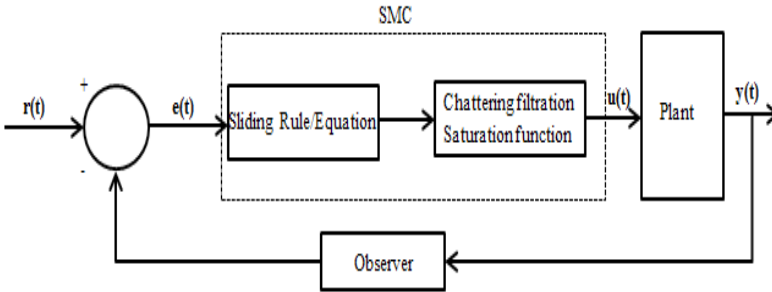


Kaçar ve Köse [47] , benzetim ortamında gerçek zamanlı bir İHA tasarımı yapmışlardır. Kanatçık, dümen, irtifa dümeni ve rotorun dönüş hızının ayrı ayrı denetlenmesi için PID denetleyici kullanmışlardır. Jie ve Junk [48] yaptıkları çalışmada turbo jet motorlu bir İHA'nın hız ve dalgalanma kontrolü için Bulanık bir PID kontrolcü kullanmışlardır. Yu ve ark. [49], quadrotor'un pozisyon ve yüksekliğini ölçmek için çeşitli sensörlerden faydalanmışlar ve PID kontrol yöntemini kullanmışlardır. Hanköylü ve ark. [50] yaptıkları çalışmada bir İHA'nın iniş otopilotunun yanal kontrol algoritmalarına değinmişler ve yanal hareket için gerekli olan yön kontrolcüsünde PID kontrolcü kullanmışlardır.

3.2 Kayan Kipli Kontrol (Sliding Mode Control)

Kayan Kipli Kontrol (KKK), doğrusal olmayan kontrol yöntemlerinden birisidir. KKK yaklaşımında amaç; durum uzayında uygun bir şekilde ifade edilmiş bir kayma yüzeyi aracılığı ile seçilen durum değişkenlerinin, hatasını ve hatanın zamana bağlı türevini sıfır yaparak durum değişkenlerini tanımlanan bir denge noktasına taşımaktır [51], [52], [53]. KKK uygun şartlar oluştuğunda son derece verimli bir kontrol tekniğidir. 1950'li yıllarda Emelyanov tarafından ortaya atılan teknik 1977'de Utkin'in makalesi ile ciddi anlamda gündeme gelmiştir [45].

Şekil 3.2'de KKK genel yapısı gösterilmiştir.

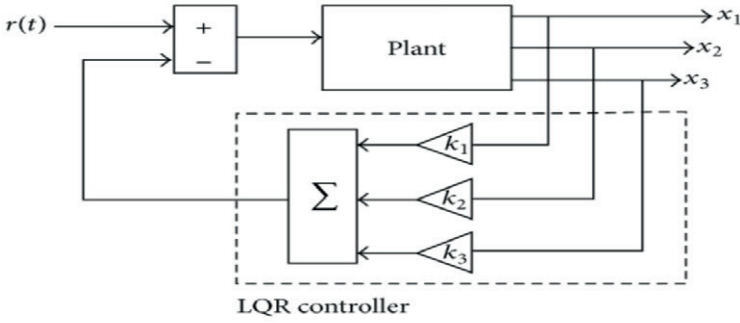
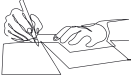


Şekil 3.2 Kayan Kipli Kontrol

Arısoy ve Bayrakçeken [54] yaptıkları çalışmada dört rotorlu bir İHA'nın yalpa, yunuslama ve sapma eksenlerinde kontrolünü sağlamak için kayan kipli kontrol yöntemi ile bir kontrolcü tasarlamışlardır. Xu ve Özgüner [55] yaptıkları çalışmada, KKK yöntemine dayalı otonom bir quadrotor helikopterin uçuş kontrolü için yeni bir tasarım yöntemi sunmuşlardır. Sunulan kontrol yönteminin model hatalarına, parametrik belirsizliklere ve diğer bozuculara karşı duyarsız olduğu belirtilmiştir.

3.3 LQR (Linear Quadratic Regulator)

Optimal bir kontrol yöntemi olan LQR kontrol, yapısı belirlenen bir maliyet fonksiyonunu minimum yapacak şekilde tasarlanan durum geri beslemeli bir kontrol yöntemidir. LQR kontrol yönteminin şematik gösterimi Şekil 3.3'deki gibidir [56] . Şekil 3.3'de LQR genel yapısı gösterilmiştir.

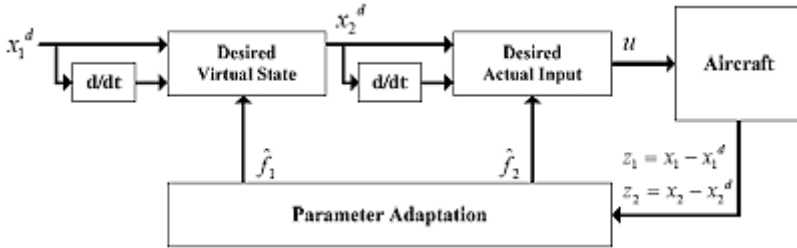


Şekil 3.3 LQR yapısı

Cowling ve ark. [57], dört rotorlu bir İHA için otonom hareket edebilen tam gerçek zamanlı bir kontrol algoritması tasarlamışlardır. Tasarladıkları kontrol algoritması hem rota takibini hem de rota planlamasını yapmaktadır. Ayrıca üzerinde çalışılan LQR kontrolcünün uygunluğu ile ilgili benzetim sonuçları da yapılan çalışmada sunulmuştur. Öner ve ark. [58], yatay ve dikey uçuş yapabilen bir dört rotorlu İHA'nın dikey uçuş kipi için dinamik modellemesini yapmışlar ve bu model üzerinden geliştirilen bir LQR tabanlı kontrolör tasarlamışlardır. Daha sonra tasarlanan kontrolör benzetimler ile incelenmiş ve bu inceleme sonucunda kontrolör performansının başarılı olduğu belirtilmiştir

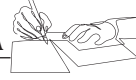
3.4 Geri Adımlamalı Kontrol

Kararlılık analizi Lyapunov fonksiyonundan yararlanılarak gerçekleştirilen geri adımlamalı kontrol yöntemi doğrusal olmayan sistemlerin uyarlamalı kontrol edilmesi için geliştirilmiştir [59]. Kısaca her durum değişkeninin bir diğerini kararlılaştırma temeline dayalı olan geri adımlamalı kontrolör tasarımı ile her bir durum değişkeninin kararlılığı tek tek sağlanmış olmaktadır [60]. Şekil 3.4'de geri adımlamalı kontrol yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Geri Adımlamalı Kontrol

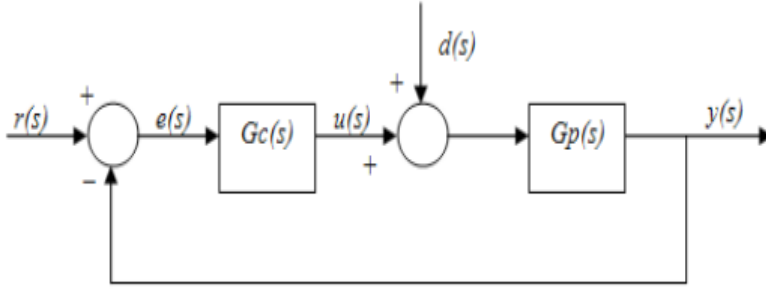
Can ve Başçı [61], geri adımlamalı kontrol yöntemi kullanarak bir Quadro-tor'un gerçek zamanlı yörünge takibini gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan geri adımlamalı kontrolcünün düşük maliyetli bir İHA üzerinde yüksek verimlilikte çalıştığı belirtilmiştir. Castillo ve ark. [62] dört rotorlu bir hava aracının duruşunu dengelemek için basit bir kontrol algoritması sunmuşlardır. Kontrolör tasarımı



mı, geri adımlamalı kontrol tekniği kullanılarak ve saturation fonksiyonu eklenecek elde edilmiştir.

3.5 Geri Beslemeli Doğrusallaştırma

Geri besleme ile doğrusallaştırma, doğrusal olmayan kontrol yöntemlerinden birisidir. Bu yöntem, uygun bir kontrol girişi ve değişkenlerin değişimi ile doğrusal olmayan bir sistemin doğrusallaştırılması temeline dayanmaktadır. Doğrusal model elde edildikten sonra ise sistemin kararlı hale getirilmesi için doğrusal kontrol yöntemleri uygulanmaktadır. Sistemin dezavantajı ise sistem modelinin iyi biliniyor olmasının gerekliliğidir [63], [64]. Şekil 3.5'de geri beslemeli doğrusallaştırma yönteminin blok diyagramı gösterilmiştir.

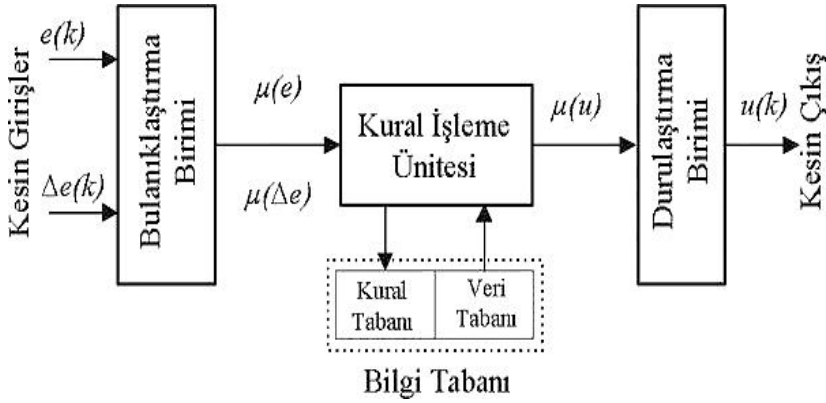
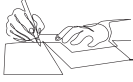


3.5 Geri Beslemeli Doğrusallaştırma

Lee ve ark. [65] yaptıkları çalışmada dört rotorlu otonom bir helikopter için doğrusal olmayan iki denetleyici sunmuşlardır. Bu denetleyiciler geri beslemeli doğrusallaştırma ve kayan kipli kontrol'dür. Yapılan çalışmada KKK gürültülü koşullarda çok iyi performans gösterirken geri beslemeli doğrusallaştırmanın, yüksek dereceden türev terimlerini içerdiği ve modelleme belirsizliğinin yanı sıra sensör gürültüsüne karşıda oldukça hassas olduğu belirtilmiştir. Benallegue ve ark. [63], paralel çalışan kayan kipli kontrolör ile geri beslemeli doğrusallaştırma tabanlı kontrolörü dört rotorlu insansız bir hava aracı üzerinde uygulamışlardır. Daha sonra kontrolörlerin performansları dış bozucular ve parametre belirsizlikleri dikkate alınarak bir simülasyon çalışması ile gösterilmiştir.

3.6 Bulanık Mantık Kontrol

Son yıllarda İHA'larda bulanık mantık kontrolör tasarımına sıkça rastlanılmaktadır. Bulanık mantık, Zadeh'in 1965 yılında yaptığı çalışmalar ile ortaya çıkmıştır [66]. Bulanık mantık kontrol'de modern ve klasik kontrol yöntemlerinde olduğu gibi tam ve kesin matematiksel modellere ihtiyaç duyulmamaktadır. Bulanık mantıkta üyelik fonksiyonları ile etiketlenmiş dilsel değişkenler mevcuttur. Bulanık kümede her bir öğenin üyelik derecesi vardır ve bunların üyelik dereceleri, kümenin üyelik fonksiyonu tarafından [0,1] arasında sayısal bir değer olarak belirlenir. Klasik kümenin aksine kümedeki elemanların üyelik dereceleri [0,1] arasında sonsuz sayıda değişebilir [67]. Şekil 3.6'da bulanık mantık denetleyicinin yapısı gösterilmiştir

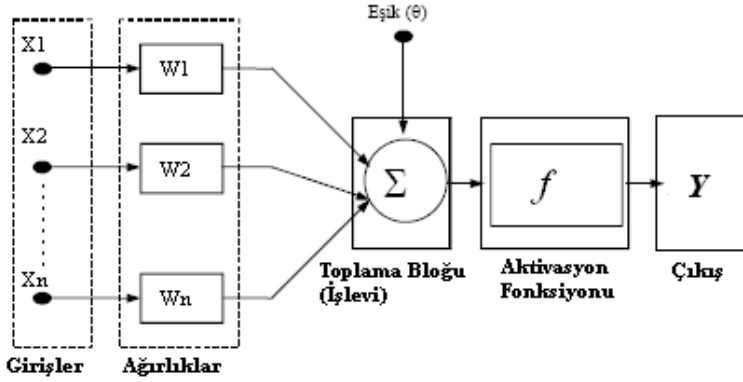


Şekil 3.6 Bulanık Mantık Denetleyici Yapısı

Gül ve Arısoy [68], yaptıkları çalışmada gerçek zamanlı bir deneysel ortam kullanarak dört rotorlu bir insansız hava aracı için bulanık mantık ile kontrolör tasarlamışlardır. Tasarlanan kontrolörün performansını klasik bir PID kontrolörün performansı ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucu tasarlanan bulanık kontrolörün rota takibi ve bozuculara karşı dayanıklılık açısından PID kontrolörden daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Ören ve Koçyiğit [69], altı adet İHA'nın iniş sıralamasını Matlab/Simulink editörü kullanarak bulanık mantık ile modellemişlerdir. Kullanıcı ara yüzünü ise Matlab/GUI yardımıyla tasarlamışlardır.

3.7 YSA Tabanlı Kontrol

Yapay Sinir Ağları (YSA) insanın sinir hücrelerinin birbiriyle etkileşiminden esinlenerek geliştirilmiştir. İnsan sinir sistemine benzer şekilde YSA'da bir girdi hücresinden gelen sinyaller bir toplama fonksiyonu ile toplanır ve aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek üretilen çıktı ağ bağlantıları ile diğer hücrelere gönderilir. Farklı aktivasyon ve toplama fonksiyonları vardır. Sinir ağlarını birbirine bağlayan ağ bağlantılarının değerlerine ağırlık değerleri denilmektedir [70]. Bir YSA üç katmandan oluşmaktadır. Ağa girdiler giriş katmanından iletilir. Ağın ağırlık dereceleri kullanılarak ağa gelen girdiler ara katmanda işlenerek son katman olan çıktı katmanına gönderilir. Ağın girdiler için doğru çıktı üretebilmesi için ağırlık değerlerinin doğru değerler olması gerekmektedir. En doğru ağırlık değerlerinin bulunmasına ise ağın eğitilmesi denilmektedir [71] [72]. Aşağıdaki Şekil 3.7'de bir yapay sinir hücresinin yapısı gösterilmiştir.

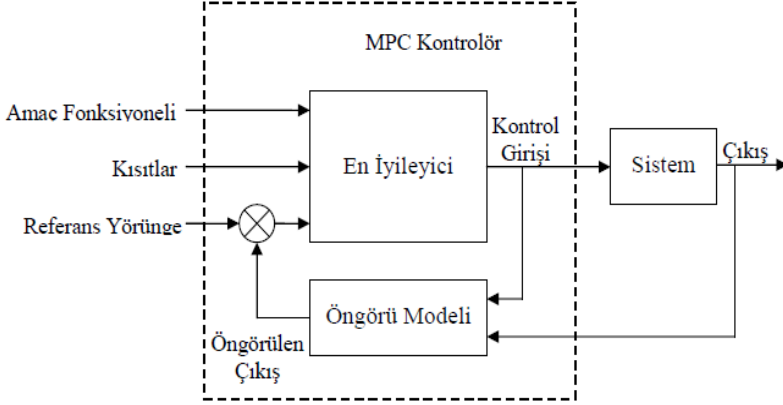
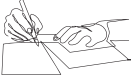


Şekil 3.7 Yapay Sinir Hücresinin Genel Yapısı

Albayrak ve Arısoy [73], gerçek zamanlı deney düzeneği kullanarak dört rotorlu bir İHA'nın kontrolü için YSA yöntemi kullanarak bir kontrolör tasarlamışlardır. Tasarladıkları YSA kontrolörü Klasik PID kontrolör ile karşılaştırmışlar ve karşılaştırma sonucunda YSA kontrolörün sistem dayanıklılığı ve yörünge takibi açısından PID kontrolörden başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Bauhali ve Boudjedir [74], dört rotorlu helikopter için adaptif bir YSA kontrol şeması önermişlerdir. Önerilen teknik, quadrotorun her bir alt sistemi için iki paralel ileri beslemeli YSA kullanılarak gerçekleştirilir.

3.8 Model Öngörülü Kontrol (MÖK)

1978 yılında Richalet ve ark. klasik PID kontrolcüyle kontrol edilmesi zor olan sistemlerde kontrol parametrelerinin ayarlarını kolayca yapabilmek için Model Öngörülü Deneyisel Kontrol ismiyle bir yöntem önermişlerdir [75]. MÖK'de gelecek zaman dilimleri hesaba katılarak mevcut zaman diliminin optimize edilmesi sağlanabilmektedir. Pek çok farklı isme sahip olan MÖK temelde tek bir kontrol yönteminden oluşmaz. Bu yöntemlerin temel özelliği içsel model içermesi, kayan ufuk prensibi ve sistemin tahmin edilen cevaplarına göre kontrol sinyali hesaplanmasıdır [76], [77]. Şekil 3.8'de MÖK yapısı gösterilmiştir.

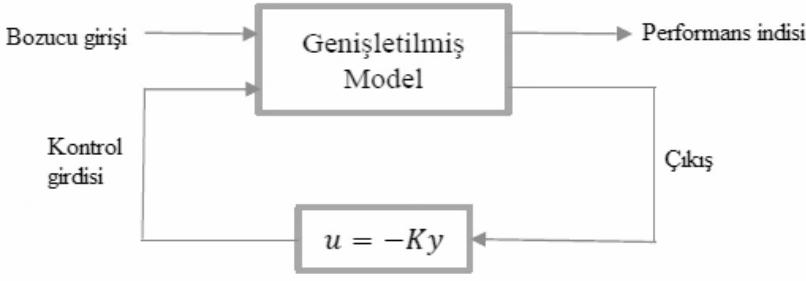


Şekil 3.8 Model Öngörülü Kontrol Yapısı

Çelik ve ark. [78], MÖK yöntemini kullanarak insansız hava aracı ZANKA için bir kontrol sistemi tasarlamışlar ve tasarladıkları sistemin performansını değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada İHA'nın yanlamasına ve uzunlamasına hareketlerinin matematiksel modelini çıkarmışlardır. Ayrıca uçuş esnasında hava aracını etkileyecek rüzgar akışı da matematiksel olarak modellenmiştir. Yaptıkları benzetim sonucunda ise MÖK'ün performansının çok iyi olduğunu belirtmişlerdir. Alpagut [79] yaptığı çalışmada bir İHA'nın otopilot sistemi için MÖK yaklaşımını önermiştir. Oluşturulan otopilot sistemi farklı şartlar altında denenmiştir. Benzetim için MATLAB/ Simulink kütüphanesi kullanılmıştır. Ayrıca sonuçların görselleştirilmesi içinde açık kaynak kodlu FlightGear yazılımından yararlanılmıştır.

3.9 H Sonsuz

Geleneksel kontrol yaklaşımlarının parametre belirsizlikleri ve bozucu girişlerin büyüklüğü arttığında başarılı olmadığı gözlenmektedir. Böyle durumlarda H sonsuz kontrolcü tercih edilebilmektedir. Ancak ağırlık fonksiyonları ve çalışma frekans değerlerindeki artışa paralel olarak kontrolcü matris boyutlarının artması ve daha yüksek işlem hızına gereksinim duyulması H sonsuz kontrol yönteminin uygulama alanlarını kısıtlamaktadır [80], [81]. Şekil 3.9'da H sonsuz kontrol yapısı görülmektedir.

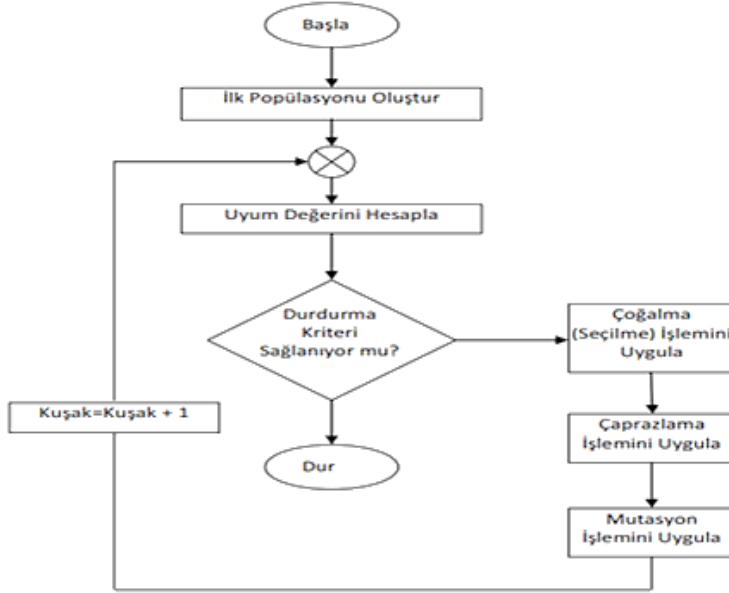
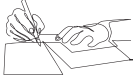


Şekil 3.9 H Sonsuz Kontrolör Yapısı

Akyürek [11] yaptığı çalışmada sabit kanatlı insansız bir hava aracının H sonsuz çevrim şekillendirme kontrol metoduyla otomatik uçuşunu sağlamıştır. Önce otopilotun dengeleyici modu olan iç döngü, daha sonrada yükseklik kontrolünü sağlayan dış döngü MATLAB/ Simulink ortamında modellenmiştir. Prach [82], bir İHA'nın yunuslama ve yalpalama otopilotunun uygulama ve tasarımını anlatmaktadır. Bu amaçla PID ve H sonsuz kontrolcüler tasarlanmıştır. Daha sonra benzetim sonuçları ile tasarlanan kontrolcülerin performansları gösterilmiştir.

3.10 Genetik Algoritma ile Kontrol

Canlılardaki doğal gelişim prensibine dayanan Genetik Algoritma (GA) ilk defa Holland tarafından 1975 yılında ortaya konulmuştur. GA doğadaki en iyi olan yaşar kuralına dayalı olarak popülasyonu oluşturan bireylerin rekabet etmeleri ve rekabet sonucu elenmelerini sağlayan genetik kurallar ve doğal seçmeye dayalı bir sürecin benzetimini yapmaktadır [34]. Algoritmada uygulanan temel işlemler seçim, çaprazlama ve mutasyondur. GA ile problemlere çözümleri birbirinden bağımsız birden çok çözüm üretilebilmekte ve bu sayede çözüme ulaşma olasılığı artmaktadır [83] [84] [85, 86], Şekil 3.10'da genetik algoritmanın yapısı gösterilmiştir.



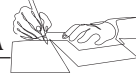
Şekil 3.10 Genetik Algoritma Yapısı

Pakkan ve Ermiş [84], hava kuvvetlerinde kullanılacak gözlem amaçlı insansız hava araçlarının hedeflere yönelik çevrim dışı olarak görev planlamasını etkin ve hızlı bir şekilde yapabilmesi amacıyla GA tabanlı bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Dinç [87] yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, görev tanımlaması yapılmış bir İHA için uygun güç sistemi seçimi ve uçağın güç grubu ön tasarım optimizasyonunu seçkin GA yöntemiyle yapmıştır. Bu çalışmada bir yazılım geliştirilmiş ve bu yazılıma GA eklenerek orman, arazi keşfi, sınır güvenliği gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir bir İHA ve motor ön boyutlandırılması yapılmıştır.

4. SONUÇ

Günümüzde askeri alanlar başta olmak üzere birçok alanda kullanım örnekleri bulunan ve her geçen gün gelişim gösteren İHA'lar üzerinde durulması ve incelenmesi gereken alanların başında gelmektedir. Sınır güvenliği, kaçak avlanma, askeri kullanım alanları, tarımsal kullanım alanları ve insan sağlığını tehlikeye atacak durumlarda kullanım başta olmak üzere birçok kullanım alanının bulunan İHA'lar güvenli ve yaşanabilir bir dünya için en önemli çözüm araçlarında biri olmaktadır.

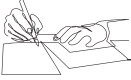
Yapılan çalışmada İHA sistemleri tanıtılmış ve İHA'lar üzerinde kullanılan birçok kontrol yöntemi incelenmiştir. İHA sistemlerinde performansı; dayanıklılık, uygun rota takibi, maliyet, hızlı yanıt verme kabiliyeti, uyum, bozucu etkilere karşı stabil uçuş gibi farklı özellikler etkilemektedir. Ancak yapılan inceleme ve literatür araştırmasından da anlaşılacağı üzere her durum için en iyi performansı sağlayacak tek bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır. İHA kullanım alanlarının



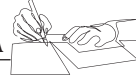
çok geniş ve farklı olmasından dolayı her İHA sistemine uygun kontrol yönteminin belirlenmesi ve bu kontrol yönteminin kullanılması İHA performansını etkileyen en önemli unsurlardan birisidir. Bundan dolayı yapılan çalışma ile İHA sistemlerinde kullanılan kontrol yöntemleri incelenmiş ve bunlardan en sık kullanılanları ile ilgili inceleme ve literatür araştırması sunulmuştur.

REFERANSLAR

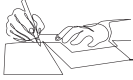
1. Bayraktar, O., et al., *İnsansız Hava Araçları İçin Otonom İniş Sistemi Simülatorü Tasarımı*. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 2012. 5(2): p. 1-8.
2. Tarhan, M., *Control of a quadrotor air vehicle by vanishing points in catadioptric images*, in *Mechanical Engineering*. 2009, İstanbul Teknik University.
3. Yiğit, C.B., *Vision based control of micro air vehicles in unknown environments*, in *Mechatronics Engineering*. 2012, İstanbul Teknik University.
4. Castillo, P., R. Lozano, and A.E. Dzul, *Modelling and control of mini-flying machines*. 2005: Physica-Verlag.
5. UNION, I.-P., *The Millennium Development Goals Report 2007*. 2008.
6. UNISDR, *The Millennium Development Goals Report 2007*. 2013.
7. Stojcsics, D. and A. Molnar. *Fixed-wing small-size UAV navigation methods with HIL simulation for AEROBOT autopilot*. in *Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2011 IEEE 9th International Symposium on*. 2011. IEEE.
8. Korkmaz, H., *Development autopilot system on the purpose of tracking and stabilization for fixed wing unmanned aerial vehicle*, in *Electrical and Electronics Engineering*. 2013, TOBB ETU University.
9. Nelson, R.C., *Flight stability and automatic control*. Vol. 2. 1998: WCB/McGraw Hill New York.
10. Blakelock, J.H., *Automatic control of aircraft and missiles*. 1991: John Wiley & Sons.
11. Akyürek, Ş., *Modeling and loop-shaping control design for fixed-wing unmanned aerial vehicles*. 2015, TOBB Ekonomi ve Teknoloji University.
12. Mian, A.A., M.I. Ahmad, and D. Wang. *Backstepping based nonlinear flight control strategy for 6 DOF aerial robot*. in *Smart Manufacturing Application, 2008. ICSMA 2008. International Conference on*. 2008. IEEE.
13. Nemati, A. and M. Kumar. *Modeling and control of a single axis tilting quadcopter*. in *American Control Conference (ACC), 2014*. 2014. IEEE.
14. Efe, M.Ö., *Neural Network Assisted Computationally Simple PI λ D^μ Control of a Quadrotor UAV*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2011. 7(2): p. 354-361.
15. Coşkun, İ. and H. Terzioğlu, *HIZ PERFORMANS EĞRİSİ KULLANILARAK PID PARAMETRELERİNİN GERÇEK ZAMANDA BELİRLENMESİ*. Journal of Technical-Online, 2007. 6(3): p. 180-205.



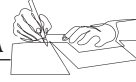
16. Khatoon, S., D. Gupta, and L. Das. *PID & LQR control for a quadrotor: Modeling and simulation*. in *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI, 2014 International Conference on*. 2014. IEEE.
17. Bouabdallah, S., A. Noth, and R. Siegwart. *PID vs LQ control techniques applied to an indoor micro quadrotor*. in *Intelligent Robots and Systems, 2004.(IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on*. 2004. IEEE.
18. Durmaz, O., *Robust Flight and Landing Autopilot*. Y. Lisans Tezi, ODTÜ, 2015.
19. Bouabdallah, S. and R. Siegwart. *Backstepping and sliding-mode techniques applied to an indoor micro quadrotor*. in *Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on*. 2005. IEEE.
20. Madani, T. and A. Benallegue. *Backstepping control for a quadrotor helicopter*. in *Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on*. 2006. IEEE.
21. Frazzoli, E., M.A. Dahleh, and E. Feron. *Trajectory tracking control design for autonomous helicopters using a backstepping algorithm*. in *American Control Conference, 2000. Proceedings of the 2000*. 2000. IEEE.
22. Özbek, N.S., M. Önkol, and M.Ö. Efe, *Donerkanat Tipinde Bir İnsansız Hava Aracının Farklı Yöntemlerle Kontrolü ve Performans Karşılaştırması*. TOK-2014, 2014: p. 139-146.
23. Rashid, M.I. and S. Akhtar. *Adaptive control of a quadrotor with unknown model parameters*. in *Applied Sciences and Technology (IBCAST), 2012 9th International Bhurban Conference on*. 2012. IEEE.
24. Raffo, G.V., M.G. Ortega, and F.R. Rubio, *An integral predictive/nonlinear H_∞ control structure for a quadrotor helicopter*. Automatica, 2010. **46**(1): p. 29-39.
25. Gadewadikar, J., et al., *Structured H-infinity command and control-loop design for unmanned helicopters*. Journal of guidance, control, and dynamics, 2008. **31**(4): p. 1093-1102.
26. Rabhi, A., M. Chadli, and C. Pegard. *Robust fuzzy control for stabilization of a quadrotor*. in *Advanced Robotics (ICAR), 2011 15th International Conference on*. 2011. IEEE.
27. Erginer, B. and E. Altuğ, *Design and implementation of a hybrid fuzzy logic controller for a quadrotor VTOL vehicle*. International Journal of Control, Automation and Systems, 2012. **10**(1): p. 61-70.
28. Nicol, C., C. Macnab, and A. Ramirez-Serrano. *Robust neural network control of a quadrotor helicopter*. in *Electrical and Computer Engineering, 2008. CCECE 2008. Canadian Conference on*. 2008. IEEE.
29. Nodland, D., H. Zargarzadeh, and S. Jagannathan. *Neural network-based optimal control for trajectory tracking of a helicopter UAV*. in *Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC), 2011 50th IEEE Conference on*. 2011. IEEE.
30. Kang, Y. and J.K. Hedrick, *Linear tracking for a fixed-wing UAV using nonlinear model predictive control*. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2009. **17**(5): p. 1202-1210.



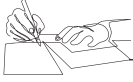
31. Garcia, G. and S. Keshmiri. *Nonlinear model predictive controller for navigation, guidance and control of a fixed-wing UAV*. in *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Portland, OR, Aug. 2011*.
32. Ozalp, N., O.K. Sahingoz, and U. Ayan. *Autonomous multi unmanned aerial vehicles path planning on 3 dimensional terrain*. in *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2014 22nd*. 2014. IEEE.
33. Yılgin, S., *MISSION PLANNING FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) TEAMS*. 2014, MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY.
34. Terzioğlu, H., S. Herdem, and B. Güngör, *The Minimization of Torque Ripples of Segmental Type Switched Reluctance Motor by Particle Swarm Optimization*. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 2013. 4(Special Issue-1): p. 199-203.
35. Center, J.A.P.C., *Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO*. 2010.
36. Karaağaç, C., *Geleceğin Harekât Ortamında İHA Sistemleri: Askeri Uygulamalar & Teknoloji Gereksinimleri*. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret AŞ, 2014.
37. Barnes, O., *Air Power: UAVs: The Wider Context*. Royal Air Force Directorate of Defence Studies, 2009.
38. Donbaloğlu, H.İ., *Development of optionally piloted unmanned aerial vehicle system*, in *Computer Engineering and Computer Science and Control 2014*, İstanbul Teknik University.
39. Özalp, N., *Autonomous multi unmanned aerial vehicles path planning on 3 dimensional terrain*, in *Computer Engineering and Computer Science and Control*. 2013, Air Force School Command.
40. Müsteşarlığı, S.S., *Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011-2030)*. 2011, Ankara.
41. Ertin, O.B., *Hardware in the loop based approach for development of fixed wing UAV autopilot*. 2013, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi p. 88.
42. Doyle, J.C., B.A. Francis, and A.R. Tannenbaum, *Feedback control theory*. Macmillan Publishing Company. New York, 1992.
43. COŞKUN, İ. and H. TERZİOĞLU. *GERÇEK ZAMANDA DEĞİŞKEN PARAMETRELİ PID HIZ KONTROLÜ IN REAL TIME VARIABLE PARAMETER WITH PID SPEED CONTROL*. in *IV. International Advanced Technologies Symposium 2009*.
44. Åström, K.J. and T. Häggglund, *PID controllers: theory, design, and tuning*. Vol. 2. 1995: Isa Research Triangle Park, NC.
45. Kalaycı, M.B. and İ. Yiğit, *PRATİKTE KULLANILAN BAZI KAYAN KİPLİ KONTROL TEKNİKLERİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ*. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2015. 30(1).
46. Coşkun, İ. and H. Terzioğlu, *HIZ PERFORMANS EĞRİSİ KULLANILARAK PID*



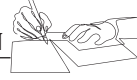
- PARAMETRELERİNİN GERÇEK ZAMANDA BELİRLENMESİ*. Journal of Technical-Online, 2011. **10**(2): p. 169-183.
47. Kaçar, A. and S. Köse, *İNSANSIZ HAVA ARACI İÇİN BENZETİM ORTAMINDA GERÇEK ZAMANLI OTO-PILOT TASARIMI*. IV. Ulusal Havacılık Ve Uzak Konferansı, UHUK-2012-072, 2012.
 48. Jie, M.-S. and B.-I. Jung, *Speed and Surge Control for an Unmanned Aircraft Vehicle with Turbojet Engine*, in *Computer Science and Convergence*. 2012, Springer. p. 735-743.
 49. Yu, Y., X. Ding, and J.J. Zhu, *Attitude tracking control of a quadrotor UAV in the exponential coordinates*. Journal of the Franklin Institute, 2013. **350**(8): p. 2044-2068.
 50. Hanköylü, M., S. Arıbal, and K. Leblebicioğlu, *BİR İNSANSIZ HAVA ARACI İÇİN TASARLANAN YÖN KONTROL CÜSÜ VE YATAY EKSENDE HAREKET ALGORİTMALARI*. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu 2011, 2011: p. 249-253.
 51. Utkin, V., *Variable structure systems with sliding modes*. IEEE Transactions on Automatic control, 1977. **22**(2): p. 212-222.
 52. Şabanoviç, A., *SMC framework in motion control systems*. International journal of adaptive control and signal processing, 2007. **21**(8-9): p. 731-744.
 53. Efe, M.O. *Robust low altitude behavior control of a quadrotor rotorcraft through sliding modes*. in *Control & Automation, 2007. MED'07. Mediterranean Conference on*. 2007. IEEE.
 54. Arısoy, A. and M.K. Bayrakçeken, *Kayma Kipli Kontrol Yöntemi İle Dört Rotorlu Hava Aracının Kontrolü*. TOK-2012, 2012: p. 8-13.
 55. Xu, R. and U. Ozguner. *Sliding mode control of a quadrotor helicopter*. in *Decision and Control, 2006 45th IEEE Conference on*. 2006. IEEE.
 56. Muratoğlu, Y. and A. Alkaya, *Kalman Filtresi ile LQR ve PI Denetleyicilerin DC Motor Sistemine Uygulanması LQR and PI Controller with Kalman Filter Applied to DC Motor System*. Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 2014: p. 322-326.
 57. Cowling, I.D., et al. *A prototype of an autonomous controller for a quadrotor UAV*. in *Control Conference (ECC), 2007 European*. 2007. IEEE.
 58. Öner, K.T., et al., *Yeni bir insansız hava aracının (SUAVi) dikey uçuş kipi için dinamik modeli ve yörünge kontrolü*. 2008.
 59. Kokotovic, P.V., *The joy of feedback: nonlinear and adaptive*. IEEE Control systems, 1992. **12**(3): p. 7-17.
 60. Önkol, M. and M. Efe. Ö., *Experimental Model Based Nonlinear Control Algorithms for a Quadrotor Unmanned Vehicle*. in *2 nd International Symposium on Unmanned Aerial Vehicles, Reno, USA, Haziran*. 2009.
 61. CAN, K. and A. BAŞÇI, *Dört Rotorlu bir İHA'nın Geri Adımlamalı Kontrolcü ile Gerçek Zamanlı Yörünge Kontrolü*. Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech. **6**(3):, 2016: p. 77-85.
 62. Castillo, P., et al. *Simple real-time attitude stabilization of a quad-rotor aircraft with bounded signals*. in *Decision and Control, 2006 45th IEEE Conference on*. 2006. IEEE.



63. Benallegue, A., A. Mokhtari, and L. Fridman. *Feedback linearization and high order sliding mode observer for a quadrotor UAV*. in *Variable Structure Systems, 2006. VSS'06. International Workshop on*. 2006. IEEE.
64. Önkol, M., *Dönerkanat tipinde bir insansız hava aracının tasarımı, modellenmesi ve kontrolü*. 2010, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü-Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı-Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bilim Dalı.
65. Lee, D., H.J. Kim, and S. Sastry, *Feedback linearization vs. adaptive sliding mode control for a quadrotor helicopter*. *International Journal of control, Automation and systems*, 2009. **7**(3): p. 419-428.
66. Zadeh, L.A., *Fuzzy sets*, in *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Systems: Selected Papers by Lotfi A Zadeh*. 1996, World Scientific. p. 394-432.
67. Baykal, N. and T. Beyan, *Bulanık mantık ilke ve temelleri*. 2004: Bıçaklar Kitabevi.
68. Gül, G. and A. Arısoy, *DÖRT ROTORLU HAVA ARACI İÇİN GERÇEK ZAMANDA BULANIK MANTIKLA KONTROLÖR TASARIMI*. *Journal of Aeronautics & Space Technologies/Havacılık ve Uzak Teknolojileri Dergisi*, 2013. **6**(2).
69. Ören, A. and Y. Koçyiğit, *Unmanned Aerial Vehicles Landing Sequencing Modelling Via Fuzzy Logic/İnsansız Hava Araçları İniş Sıralamasının Bulanık Mantık Modellemesi*. *Celal Bayar University Journal of Science*, 2016. **12**(1).
70. Altınışık, A., et al., *ANALYSIS OF TRACTOR TRACTION FORCE WITH ARTIFICIAL NEUROL NETWORKS IN CULTIVATION*. 2012.
71. Öztemel, E., *Yapay Sinir Ağları*. 2003: PapatyaYayincilik, İstanbul.
72. Terzioğlu, H., S. Herdem, and G. Bal. *The Modelling of Variation Inductance For Segmental Type Switched Reluctance Motors*. in *7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13)* 2013.
73. Albayrak, M. and A. Arısoy, *DÖRT ROTORLU HAVA ARACI İÇİN GERÇEK ZAMANDA YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KONTROLÖR TASARIMI*. *Journal of Aeronautics & Space Technologies/Havacılık ve Uzak Teknolojileri Dergisi*, 2013. **6**(2).
74. Bouhali, O. and H. Boudjedir. *Neural network control with neuro-sliding mode observer applied to quadrotor helicopter*. in *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2011 International Symposium on*. 2011. IEEE.
75. Richalet, J., et al., *Model predictive heuristic control: Applications to industrial processes*. *Automatica*, 1978. **14**(5): p. 413-428.
76. Franko, S., *Model predictive control of unmanned helicopter*, in *Sistem Dinamiği ve Kontrol Bilim Dalı*. 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi. p. 173.
77. Rossiter, J.A., *Model-based predictive control: a practical approach*. 2003: CRC press.
78. Çelik, H., T. Oktay, and İ. Türkmen, *İNSANSIZ KÜÇÜK BİR HAVA ARACININ (ZANKA-I) FARKLI TÜRBÜLANS ORTAMLARINDA MODEL ÖNGÖRÜLÜ KONTROLÜ VE GÜRBÜZLÜK TESTİ*. *Journal of Aeronautics & Space Technologies/Havacılık ve Uzak Teknolojileri Dergisi*, 2016. **9**(1).



79. Alpagut, O.M., *İnsansız Hava Araçlarının Doğrusal Sistem Tanılaması Ve Öngörülü Yörünge Kontrolü*. 2010, Fen Bilimleri Enstitüsü.
80. Zhou, K. and J.C. Doyle, *Essentials of robust control*. Vol. 104. 1998: Prentice hall Upper Saddle River, NJ.
81. Chen, M. and M. Huzmezan. *A combined mbpc/2 dof h infinity controller for a quad rotor uav*. in *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*. 2003.
82. Prach, A., *Robust Controller Design for a Fixed Wing UAV*. The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 2009.
83. Holland, J.H., *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. 1992: MIT press.
84. Pakkan, B. and M. Ermiş, *İnsansız Hava Araçlarının Genetik Algoritma Yöntemiyle Çoklu Hedeflere Planlanması*. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 2010. **4**(3): p. 77-84.
85. Terzioğlu, H. and M. Selek. *Farklı Sürme Yöntemleriyle Çalışan Asenkron Motorların Eşdeğer Devre Parametrelerinin Belirlenmesi*. in *7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13)* 2016.
86. SELEK, M. and H. TERZİOĞLU, *DETERMINATION OF EQUIVALENT CIRCUIT PARAMETERS OF INDUCTION MOTORS BY USING HEURISTIC ALGORITHMS*. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2017. **5**(2): p. 170-182.
87. Dinç, A., *İnsansız Hava Aracı Ve Güç Grubu Müşterek Ön tasarımının Seçkinci Genetik Algoritma Yöntemiyle En İyilemesi*, in *Sivil Havacılık Anabilim Dalı*. 2010, Anadolu Üniversitesi. p. 161.

**CHAPTER
11****BORLAMANIN TİTANYUM
ALAŞIMLARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ****İbrahim AYDIN¹****GİRİŞ**

Titanyum (Ti) ve alaşımları, düşük özgül ağırlıkları, yüksek dayanım, kırılma tokluğu ve korozyon direnci sebebiyle, otomotiv, havacılık, kimya ve biyomedikal alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3].

Ancak Ti ve alaşımları, bu üstün mekanik özelliklerinin yanında, yüksek sürünme katsayısına ve düşük adhesiv ve abrasiv aşınma dayanımına sahiptirler. Bu durum Ti alaşımlarından üretilen parçaların tribolojik kontak şartları altında çalışmasını kısıtlamaktadır [3, 4].

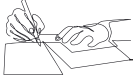
Bu sebeple bilim insanları Ti ve alaşımlarının aşınma dayanımlarını arttıracak yüzey modifikasyonları (kaplama, sertleştirme, vb.) üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır [3, 4]. Ti ve alaşımlarında yaygın olarak kullanılan kaplama yöntemleri nitrürleme ve borlamadır [5-8]. Nitrürleme işlemi ile Ti alaşımı parçanın yüzeyinde titanyum nitrür (TiN) tabakası oluşturularak parçanın sertliği ve aşınma dayanımı artırılır [5-7].

Borlama işleminin aşınma ve korozyona olan olumlu etkileri, çelik alaşımlarından pek çok kez yapılan çalışmalar ve uygulamalar ile bilinmektedir. Bu olumlu etki borlama işlemi ile çelik alaşımı yüzeyinde demir borürlerinin (FeB ve Fe₂B) oluşması ile meydana gelmektedir [9-12]. Titanyum alaşımlarında yüzeyde titanyum borürleri (TiB ve TiB₂) oluşacaktır. Özellikle Titanyum diborür (TiB₂) doğada bilinen en sert malzemelerden biridir ve titanyum alaşımı parçanın yüzeyinde oluşacak birkaç µm kalınlığındaki TiB₂ katmanı ile parçanın aşınma dayanımı çok yüksek olmaktadır [13-15].

Titanyum ve alaşımlarının borlama işleminde pek çok yöntem kullanılmaktadır. Elektrokimyasal, lazer ve plazma borlama yöntemleri gibi nispeten düşük sıcaklık ve/veya yüksek hızların mümkün olduğu yöntemler bulunmaktadır [3, 16-20]. Ancak hala en yaygın kullanılan yöntem termal difüzyon prensibi ile gerçekleştirilen kutu borlama yöntemidir [8, 21, 22]

Ti6Al4V Titanyum alaşımı ilk olarak 1950' li yıllarda üretilmeye başlanmıştır. Günümüzde toplam titanyum üretimi ve kullanımının yaklaşık % 50' sini bu alaşımı oluşturmaktadır. Ti6Al4V alaşımları dişliler ve protezler gibi aşınmaya maruz kalan parçaların üretiminde kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada Ti6Al4V titanyum alaşımı numuneler 1000 °C' de 6, 8 ve 10 saat süre boyunca kutu borlama yöntemi ile borlanarak, borlama sonrası yüzey özellikleri incelenmiştir.

¹ (Manisa Celal Bayar Üniversitesi)



MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada borlama işlemi için en yaygın kullanılan Ti alaşımı olan Ti6Al4V alaşımı seçilmiştir. Kullanılan alaşıma ait kimyasal kompozisyon ve mekanik özellik bilgileri Tablo 1 ve 2’ de verilmiştir.

Tablo 1. Ti6Al4V malzemeye ait kimyasal kompozisyon (%)

Ti	N	C	H	Fe	O	Al	V	Diğer
Kalanı	0,05	0,08	0,0125	0,25	0,13	5,5-6,5	3,5-4,5	0,1-0,4

Table 2. Ti6Al4V malzemeye ait mekanik özellikler

Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Uzama Oranı (%)	Büzülme Oranı (%)
883	960	13	50

20 mm çapındaki Ti6Al4V alaşımı çubuk tel erezyon ile 10 mm kalınlıkta parçalar halinde kesilmiştir. Elde edilen numunelerin borlama işlemi öncesinde 1200 grid zımpara ile yüzeyleri temizlenmiştir. Kutu borlama işlemi için borlama tozu olarak EKABOR® II borlama tozu kullanılmıştır. Borlama kutusu olarak 304 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Numuneler borlama kutusu içerisine alt, üst, sağ ve solunda en az 10 mm bor tozu olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Borlama işlemi, 1200 °C kapasiteli Protherm kül fırınlarında 1000 °C’ de 6, 8 ve 10 saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemi sonrasında numuneler havada soğutulmuştur. Numunelerin borlama işlemi öncesinde ve sonrasında yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo marka yüzey profilometresi ile ölçülmüştür.

Kaplama işlemi sonrasında numunelerin sertlikleri dijital Future-Tech FM-700 mikrosertlik cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Kullanılan sertlik cihazı Şekil 1’ de görülmektedir.



Şekil 1. Mikrosertlik Ölçüm Cihazı

Borlanmış numunelerin CSM Tribometer aşınma cihazında sürtünme katsayısı belirlenmiştir. Aşınma testlerinde karşı eleman olarak 6 mm çapında 100Cr6 çelik bilyalar kullanılmıştır. Aşınma testi 750 m mesafede 5 N yük altında gerçekleştirilmiştir.

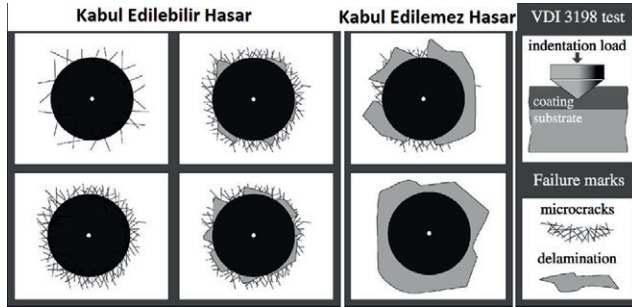


Şekil 2. CSM Tiribometer Aşınma Cihazı

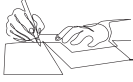
Malzemelerin kaplama adhezyonu karakterizasyonu VDI 3198 standartlarına uygun olarak BMS Analog Rockwell & Brinell Sertlik Ölçme Cihazında(Şekil 3) Rockwell C sertlik ucu ile gerçekleştirilmiştir. VDI 3198 standartlarında hangi hasarın kabul edilebilir hasar olduğu Şekil 4’te görülmektedir [23].



Şekil 3. Rockwell Sertlik Cihazı

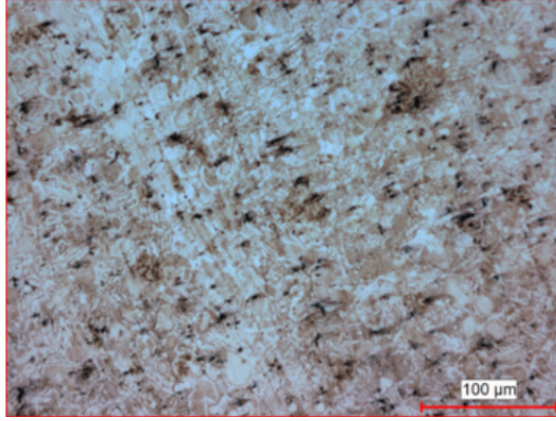


Şekil 4. VDI 3198 Kaplama Adhezyonu Tesbiti Testinde Kabul Edilebilir-Edilemez Hasar Türleri

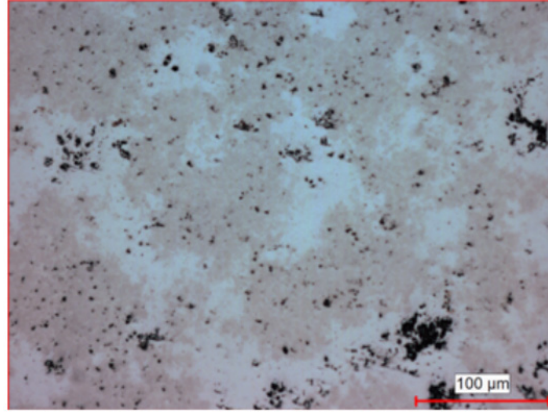


DENEYSEL BULGULAR

Şekil 5' te borlanmamış Ti6Al4V alaşımı ve 1000 °C' de 6 saat borlanmış Ti-6Al4V alaşımının yüzeylerinden alınan optik mikroskop görüntüleri görülmektedir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, borlama işlemi için seçilen minimum süre olan 6 saatte Ti6Al4V alaşımı numunelerin yüzeyinde borür kaplamasının oluştuğu net şekilde görülmektedir. Ayrıca borlama işlemi sonrasında yüzeylerin oldukça temiz olduğu tesbit edilmiştir.



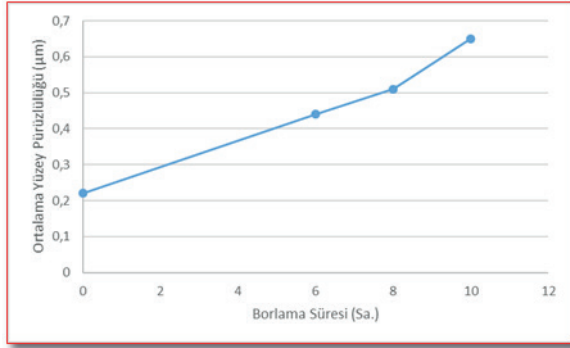
(a)



(b)

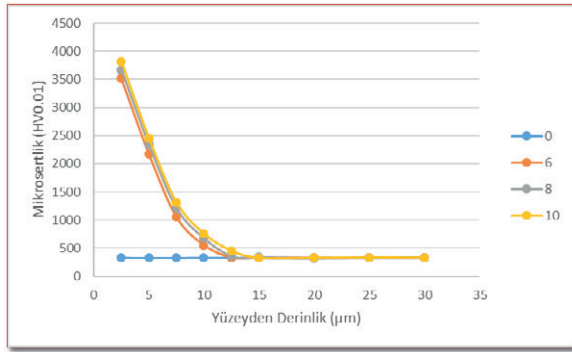
Şekil 5. Borlanmamış Ti6Al4V Alaşımı ve 1000 °C'de 6 Saat Borlanmış Ti6Al4V Alaşımının Yüzeylerinden Alınan Optik Mikroskop Görüntüleri

Şekil 6' da Ti6Al4V numunelerinde borlama süresi ile ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere, borlama süresi arttıkça numune yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Bor (B) atomları difüzyonu ve bu difüzyon ile oluşan titanyum borür tabakalarının (TiB ve TiB₂) farklı yönlenmelerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. Borlama Süresine Bağlı Ortalama Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim

Mikrosertlik testleri her bir numunede her bir derinlik için 5 kez tekrarlanmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Şekil 7’ de borlanmış Ti6Al4V alaşımı numunelerin kesitinden alınan mikrosertlik değerlerinin borlama süresine bağlı olarak kesit boyunca değişimi görülmektedir.



Şekil 7. Borlama Süresine Bağlı Mikrosertlik Değişimi

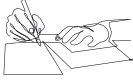
En yüksek yüzey sertliği 10 saat borlanan numunede 3817 HV olarak ölçülmüştür. 2,5 µm yüzeyden derinde alınan bu ilk sertlik ölçümlerinde, sertlik değerinin borlama süresi azaldıkça azaldığı belirlenmiştir. En düşük sertlik 6 saat borlanan numunede 3351 HV olarak ölçülmüştür.

Bu sertlik değişimleri ayrıca borür tabakasının kalınlığı hakkında da bilgi vermektedir. Borür tabakasının kalınlığının borlama süresi arttıkça artmakta olduğu verilen mikrosertlik testi sonuçlarından tesbit edilmiştir.

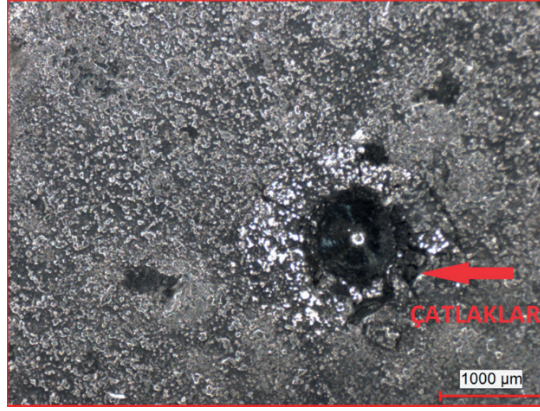
Tablo 3. Borlama Süresine Bağlı Sertlik Değişimi

Yüzeyden Derinlik(µm)		2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25	30
Sertlik (HV)	Borlanmamış	330	325	326	332	328	338	326	330	335
	6 Sa.	3512	2169	1051	550	331	326	329	325	331
	8 Sa.	3672	2344	1216	679	360	330	321	329	327
	10 Sa.	3817	2450	1312	756	450	328	325	337	329

Şekil 8’ de 6 saat borlanan numunelerde VDI 3198 kaplama adhezyon testi sonrası numunenin yüzeyinden alınan makro görüntü görülmektedir. Şekil ince-

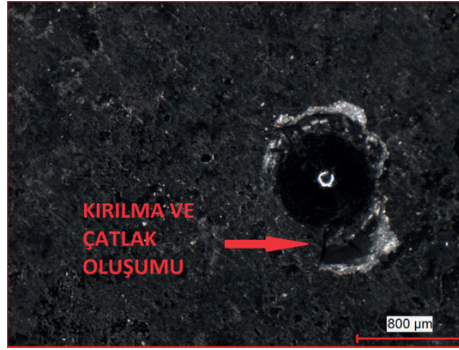


lendiğinde, kaplamada bazı çatlaklar olsada, test standartlarına göre kabul edilebilir bir altlık-kaplama adhezyonu olduğu tesbit edilmiştir.



Şekil 8. 6 Saat Borlanan Numunelerde VDI 3198 Adhezyon Testi Sonrası Alınan Yüzey Görüntüsü

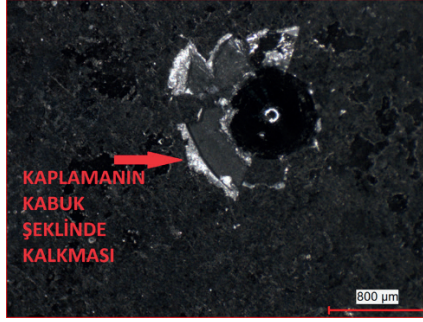
Şekil 9’ da 8 saat borlanan numunelerde VDI 3198 kaplama adhezyon testi sonrası numunenin yüzeyinden alınan makro görüntü görülmektedir. Test sonucunda 8 saatlik borlanan numunelerde oluşan kaplamanın adhezyonunun zayıf olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9. 8 Saat Borlanan Numunelerde VDI 3198 Adhezyon Testi Sonrası Alınan Yüzey Görüntüsü

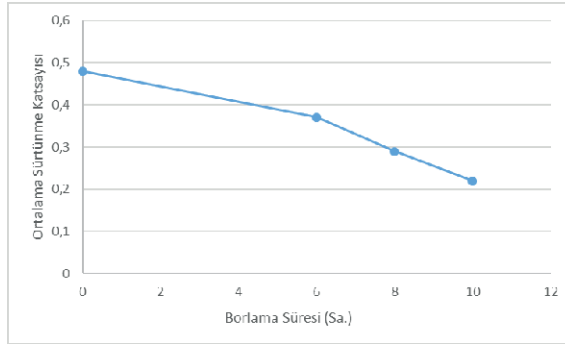
Şekil 10’ da 10 saat borlanan numunelerde VDI 3198 kaplama adhezyon testi sonrası numunenin yüzeyinden alınan makro görüntü görülmektedir. Şekil incelendiğinde kaplamanın adhezyonunun çok düşük olduğu ve kabuk şeklinde kalktığı görülmektedir.

VDI 3198 adhezyon testleri Ti6Al4V alaşımı numunelerde borür tabakasının kalınlığının arttıkça adhezyonunun düştüğünü göstermiştir.



Şekil 10. 10 Saat Borlanan Numunelerde VDI 3198 Adhezyon Testi Sonrası Alınan Yüzey Görüntüsü

Şekil 11’ de aşınam testleri ile tespit edilen borlama süresine bağlı ortalama sürtünme katsayıları görülmektedir. Borlanmamış numunelerin ortalama sürtünme katsayısı ile karşılaştırıldığında, 6 saat borlama ile sürtünme katsayısında yaklaşık olarak % 23, 8 saat borlama ile % 40 ve 10 saat borlama ile % 54,1 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

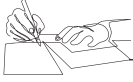


Şekil 11. Ortalama Sürtünme Katsayısının Borlama Süresine Bağlı Değişimi

SONUÇ

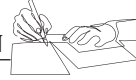
Bu çalışmada Ti6Al4V titanyum alaşımları 1000 °C’ de 4,6 ve 8 saat kutu borlama yöntemi ile borlanmışlardır. Borlama işlemi sonrası elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Borlama süresi arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.
- Borlama süresi arttıkça borlama tabakasının kalınlığı artmaktadır.
- Borlama süresi arttıkça yüzey sertliği ve sertlik derinliği artmaktadır.
- Borlama süresindeki artış ile, altlık ve borür tabakası arasındaki adhezyon düşmektedir. Bu durum kaplamanın darbeli yüklemeler için zayıf olduğunu göstermektedir.
- Borlama süresinin artması ile ortalama sürtünme katsayıları büyük oranda düşmektedir. Bunun sonucu olarak Ti6Al4V numuneler için önemli bir kullanım kısıtlaması olan aşınma dayanımı artmaktadır.

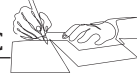


Kaynaklar

- [1] Konstantinov, A.S., Bazhin, P.M., Stolin, A.M., Kostitsyna, E.V., Ignatov, A.S. Ti-B-based composite materials: Properties, basic fabrication methods, and fields of application (review). *Composite Part A*. 2018,108, 79-88.
- [2] Petrova, R.S., Suwattananont, N., Samardzic, V. The Effect of Boronizing on Metallic Alloys for Automotive Applications. *JMEPEG*. 2008, 17, 340-345.
- [3] Selvan, J.S., Subramanian, K., Nath, A.K., Kumar, H., Ramnachandra, C., Ravindranathan, S.P. Laser Boronising, of Ti-6Al-4V as a Result of Laser Alloying with pre-placed BN. *Materials Science and Engineering A*. 1999,260, 178-187.
- [4] Lepicka, M., Gradzka-Dahlke, M. Surface Modification of Ti6Al+V Titanium Alloy for Biomedical Applications and Its Effects on Tribological Performance- A review. *Rev. Adv. Mater. Sc.*, 2016, 46, 86-103.
- [5] Kikuchi, S., Akebono, H., Ueno, A., Ameyama, K. Formation of Commercially Pure Titanium with a Biomodal Nitrogen Diffusion Phase Using Plasma Nitriding and Spark Plasma Sintering. *Powder Technology*. 2018, 330. 349-365.
- [6] Borisyuk, Y.V., Oreshnikova, N.M., Berdnikova, M.A., Tumarkin, A.V., Khodachenko, G.V., Pisarev, A.A. Plasma Nitriding of Titanium Alloy Ti5Al4V2Mo. *Physics Procedia*. 2015, 71, 105 – 109.
- [7] Pohrelyuk, I.M., Fedriko, V.M., Tkachuk, O.V., Proskurnyak, R.V. Corrosion Resistance of Ti-6Al-4V alloy with Nitride Coatings in Ringer's Solution. *Corrosion Science*. 2013, 66, 392-398.
- [8] Jelis, E., N. Suwattananont, and R.S. Petrova. Boronizing of Ti-6Al 4-V Eli by powder pack method for biomedical application. in *Bioengineering Conference*, 2775. *Proceedings of the IEEE 31st Annual Northeast*. 2775
- [9] Tabur, M., Izciler, M., Gul, F., Karacan, I. Abrasive Wear Behavior of Boronized AISI 8620 Steel. *Wear*. 2009, 266, 1106-1112.
- [10] Carrera-Espinoza, R., Figueroa-Lopez, U., Martinez-Trinidad, J., Capos-Silva, I., Hernandez-Sanchez, E., Motallebzadeh, A. Tribological Behavior of Borided AISI 1018 Steel under Linear Reciprocating Sliding Conditions. *Wear*. 2016, 362-363, 1-7.
- [11] Krelling, A.P., Costa, C.E., Milan, J.C.G., Almeida, E.A.S. Micro-Abrasive Wear Mechanisms of Borided AISI 1020 Steel. *Tribology International*. 2017, 111, 234-242.
- [12] Capos, I., Ramirez, G., Villa Velazquez, C., Figueroa, U., Rodrigez, G. Study of Microcracks Morphology Produced by Vickers Indentation on AISI 1045 borided Steels. *Materials Science and Engineering A*. 2008, 475, 285-292.
- [13] Sarma, B., Tikekar, N.M., Chandran, K.S.R. Kinetics of Growth of Superhard Boride Layers During Solid State Diffusion of Boron into Titanium. *Ceramics International*. 2012, 38, 6795-6805.
- [14] Munro, R.G. Materials Properties of Titanium Diboride. *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.* 2000, 105(5), 709-720.
- [15] Taazim, N.T., Jauhari, I., Miyashita, Y., Sabri, M.F.M. Development and Kinetics of TiB₂ Layers on the Surface of Titanium Alloy by Superplastic Boronizing. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2016, 46, 2217- 2222.
- [16] Kılıç, A., Kartal, G., Ürgen, M., Timur, S. Effects of Elektrochemical Boriding Process



- Parameters on the Formation of Titanium Borides. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2013, 49(2), 168-175.
- [17] Çelikkan, H., Öztürk, M. K., Aydın, H., Aksu, M.L. Boriding Titanium Alloys at Lower Temperatures Using Electrochemical Methods. *Thin Solid Films*. 2007, 515, 5348-5352.
- [18] Kartal, G., Timur, S., Ürgeni M., Erdemir, A. Electrochemical Boriding of Titanium for Improved Mechanical Properties. *SurfaceCoating Technology*. 2010, 204, 3935, 3939.
- [19] Huang, Y.G., Chen, J.R., Zhang, M.L., Zhong, X.X., wang, H.Q., Li, Q.Y. Electrolytic Boronizing of Titanium in Na₂B₄O-20%K₂CO₃. *Materials and Manufacturing Processes* 2013, 28, 1310-1313.
- [20] Makuch, N., Kulka, M., Keddam, M., Taktak, S., Ataibış, V., Dziarski, P. Growth Kinetics and Some Mechanical Properties of Two-Phase Boride Layers Produced on Commercially Pure Titanium During Plasma Paste Boriding. *Thin Solid Films*. 2017, 626, 25-37.
- [21] Popela, T., Vojtech, D. Characterization of Pack-Borided Last-Generation TiAl Intermetallics, *Surface and Coating Technology*. 2012, 209, 90-96.
- [22] Tsipas, S.A., Vazquez-Alcazar, M.R., Navas, E.M.R., Gordo, E. Boride Coating Obtained by Pack Cementation Deposited on Powder Metallurgy and Wrought Ti and Ti-6Al-4V. *Surface & Coatings Technology*. 2010, 205, 2340-2347.
- [23] Vidakis, N., Antoniadis, A., Bilalis, N. The VDI 3198 Indentation Test Evaluation of Reliable Qualitative Control for Layered Compounds. *Journal of Materials Processing Technology*. 2003, 143-144, 481-485.



CHAPTER 12

PEKLEŞME KURALLARI

İlyas KACAR, Süleyman KILIÇ

GİRİŞ

Malzemede akma kavramı, malzemelerin plastik davranışını tanımlamak için kullanılan bir terim olup katı cisim mekaniği konusudur. Plastisite teorileri ise, malzemedeki plastik deformasyon (şekil değiştirme) miktarını (ϵ^p) belirlemek için kullanılırlar. Bir cisimdeki toplam deformasyon; elastik (ϵ^e) ve plastik (ϵ^p) kısımların toplamı (veya çarpımı) olarak ayrılabilir. Deformasyonun elastik kısmı, elastik veya hiperelastik bünye denklemleri ile hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte, deformasyonun plastik kısmının belirlenmesi, bir akma kriteri, bir pekleşme modeli ve nihayetinde de bir akış kuralının uygulanmasını gerektirmektedir. Plastisite modeli için kullanılması gereken bu üç temel husus aşağıda detayları ile birlikte sıralanmıştır. Bu çalışma kapsamında ise pekleşme kuralları detaylıca incelenmiştir.

Akma kriteri $f(\sigma_{ij}) = \bar{\sigma} - \sigma_0 = 0$. Asal gerilme uzayında elastik bölgeyi sınırlayacak bir akma yüzeyi fonksiyonu $f(\sigma_{ij})$ tanımlar.

İzotropik (Von Mises, Tresca, vs...)

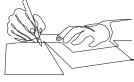
Anizotropik (Hill48, Yld91, BBC2005, Hu2003, vs...)

Pekleşme (veya yumuşama) kuralı. Akma yüzeyi fonksiyonunun, plastik deformasyon esnasında değişip-değişmediğini, değişiyorsa nasıl değişeceğini tanımlar.

İzotropik pekleşme kuralı, $\bar{\sigma} - \sigma(h) = 0$. Akma yüzeyi fonksiyonunun çizdiği sınırın, plastik deformasyon esnasında sabit bir şekilde **kalmayacağını**, pekleşmenin hem çekme hem de basma bölgelerinde **eşit olarak** ve sadece **akma eğrisi fonksiyonu $\sigma(h)$** ’a bağlı olarak değişeceğini söyler. Bazı akma eğrisi fonksiyonları şunlardır:

- Power law, $\sigma(h) = \sigma_A + K(\epsilon^p)^n$
- Hollomon law, $\sigma(h) = K(\epsilon^p)^n$
- Krupskowski law, $\sigma(h) = K(\epsilon_0 + \epsilon^p)^n$
- ...

Kinematik pekleşme kuralı, $\bar{\sigma}(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) - \sigma_0 = 0$. Akma yüzeyi fonksiyonunun çizdiği sınırın, plastik deformasyon esnasında sabit bir şekilde **kalacağını** ancak pekleşme nedeni ile fonksiyonun orijininin, merkezden α_{ij} kadar kayması türünde bir değişim olacağını söyler. Böylece çekme ve basma bölgelerinde **farklı** pekleşme oluşumları mümkündür. Merkezden kayma için kullanılan α_{ij} fonksiyonlarından bazıları şunlardır:



- Prager
- Armstrong-Frederic
- Chaboche
- Yoshida-Uemori
- ...

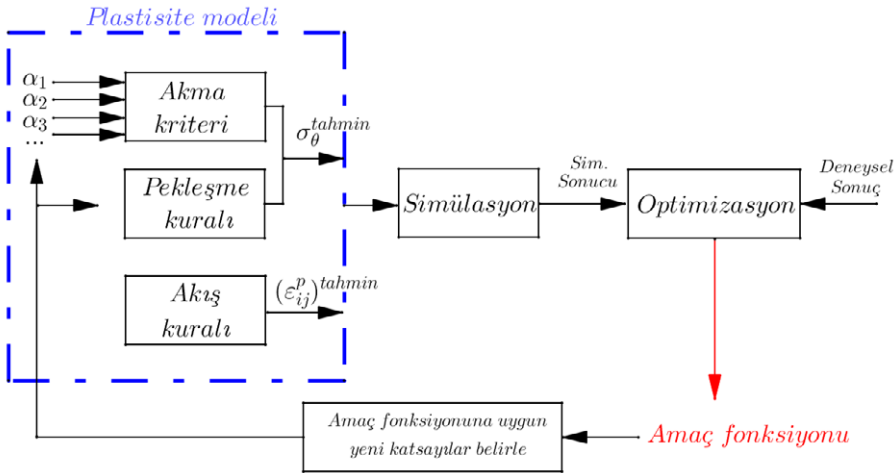
Kombine pekleşme kuralı, $\bar{\sigma}(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) - \sigma(h) = 0$. Bir plastik deformasyon boyunca, akma yüzü fonksiyonu hem akma eğrisi fonksiyonu $\sigma(h)$ 'a uyarak ve hem de merkezinin α_{ij} kadar kayması türünde aynı anda değişime maruz kalacağını söyler. Ancak bütün bu değişimler de ayrıca bir sınır içerisinde kalmalıdır.

Akış kuralı: Plastik deformasyon esnasında oluşan genel bir gerilme halinde, gerilmenin bir miktar artırması halinde, plastik şekil değişimindeki artım $d\varepsilon_{ij}^p$ 'ın ne kadar olacağını ve yönünün ne olacağını belirler.

İlişkili akış kuralı, $d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}}$. Burada f ; akma fonksiyonu, λ plastik çarpan, ε_{ij}^p plastik şekil değişimi. Metaller için uygundur.

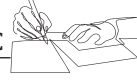
İlişkisiz akış kuralı, $d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}}$. Burada g ; akma fonksiyonu dışında bir plastik fonksiyon. İç sürtünmeler nedeni ile kayma oluştuğu için toprak ve kaya için uygundur.

Unutulmamalıdır ki, kurulmuş olan bütün plastisite modellerinin muhakkak deneysel bir çalışma sonucu ile kıyaslamak sureti ile aradaki hatayı minimize edecek şekilde optimizasyon işlemine tabi tutularak, kalibre edilmeleri gerekmektedir. Şekil 1 de genel olarak bir plastisite modelinin kurulması ve model parametrelerinin kalibrasyonu işlemleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1: Bir plastisite modelinin kurulması ve parametrelerinin kalibrasyonu

Esasen pekleşme kuralı ve akış kuralı; akma kriteri fonksiyonuna uygulanan işlemlerdir. Bu nedenle bir plastisite modeli ancak bir bütün olarak anlam ifade etmektedir. Halen pek çok akma kriteri, akış kuralı, pekleşme modeli mevcuttur.



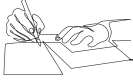
Fakat her biri belli bir duruma göre iyi sonuç verirken diğer durumlarda isabetli olamamaktadır. Bu nedenle plastisite modelinin uygun seçimi plastik deformasyon içeren işlemler üzerinde büyük bir etkiye sahip olmaktadır.

Hasarlar, en genel olarak *akma* veya *kırılma* şeklinde oluşmaktadır. Kırılma kelimesi *gevrek* hasarları tarif etmek için kullanırken, akma kelimesi *sünek* hasarlar için kullanılmaktadır. Esasen bir makina elemanı tasarlanıyorken akma istenmeyen bir durumdur ve kriter olarak akma mukavemeti esas alınır. Zira elemenda akma başladığında hasar zaten oluşmuş demektir. Ancak akma olayı, plastik deformasyon esaslı imalat işlemlerinde (örneğin saç metal şekillendirme işlemleri, dövme, haddeleme, ekstrüzyon, tel çekme vs...) istenen bir durumdur ve bu gibi işlemlerde akmanın kendisi hasar olarak değerlendirilmemektedir. Bu gibi durumlarda ancak kopma oluştuğunda hasar oluşmuş demektir.

Akma kriterleri, işlem esnasında uygulanan yükleme durumuna göre yapıda oluşacak genel gerilme halini (σ_{ij}), eşdeğer gerilme $\bar{\sigma}(\sigma_{ij})$ olarak adlandırılan bir adet değere (akma fonksiyonu sayesinde) dönüştürmek sureti ile çekme deneyinden elde edilmiş olan akma mukavemeti değeri (σ_0) ile kıyaslama yapabilmeye olanak sağlayan matematiksel fonksiyonlardır. Bir plastisite modelinin vazgeçilmez unsuru olup, *akma başladı mı, başlamadı mı* sorusunun cevabı bu fonksiyonlar sayesinde elde edilebilmektedir. Malzeme davranışına göre (sünek, gevrek), mekanik özelliklerine göre (izotropik, anizotropik), metoda göre (gerilme esaslı, şekil değiştirme esaslı, enerji esaslı) farklı farklı sınıflandırmaları mevcuttur. Plastik akma oluşuyorken (mükemmel plastik davranış durumunda) $f(\sigma_{ij}) = 0$ şartı sağlanmış olunur. $f(\sigma_{ij})$ fonksiyonu seçilen akma kriterine göre değişmektedir.

Ancak hiçbir malzeme mükemmel plastik akma sergilemez. Muhakkak pekleşme (veya yumuşama) davranışı içerir. Plastik akma oluşuyorken (pekleşme durumunda) pekleşmenin sebep olduğu akma mukavemetindeki değişim, *pekleşme kuralı* olarak adlandırılan fonksiyonlar ile plastisite modeline katılırlar ve akma kriteri artık, $f(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}, \sigma(h)) = 0$ halini alır. Denklemdaki α_{ij} , $\sigma(h)$ terimleri müteakip başlıklar altında detaylıca açıklanacaktır.

Peki, gerilmeyi bir miktar artırdığımızda, plastik şekil değişimindeki artım $d\varepsilon_{ij}^p$, ne oranda olacaktır? *Akış kuralı*, plastik akışın miktarını ve yönünü belirler. İlişkili akış kuralı durumunda, plastik deformasyon artımlarının yönü, akma yüzeyinin normali doğrultusunda olacaktır. Akma yüzeyine normal vektör $\frac{\partial f(\sigma_{ij})}{\partial \sigma_{ij}}$ ile bulunur. İlişkili akış kuralı; plastik şekil değişimi artım vektörünün, akma yüzeyine dik olduğunu göstermektedir. Mevcut gerilme haline uygulanan bir gerilme artımı $d\sigma_{ij}$ neticesinde ortaya çıkan plastik şekil değiştirme artımının $d\varepsilon_{ij}^p$ işaretinin, gerilme artımı ile aynı olduğunu da vermektedir. d işareti türevin yanı sıra "artım" anlamına da gelmekte olup, pratikte, çekme deney sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme tablosunun her bir satırı arasındaki fark olarak da değerlendirilebilmektedir.



AKMA EĞRİSİ FONKSİYONLARI

Akma eğrisi, bir gerilme şekil değiştirme grafiğinde, akma noktasından sonraki plastik deformasyonları içeren eğridir (flow curve). Akma kuralı (flow rule) ile karıştırmayınız! Pekleşme (veya yumuşama) olarak adlandırılan husus nedeni ile bu eğrinin şekli gerçekte nonlineer olarak değişmektedir. Bu eğrinin fonksiyonunun belirlenmesi, pekleşmenin de bilinmesi anlamına gelmektedir. Pekleşme (veya yumuşama); malzemenin şekil değiştirmeye tabi tutulması esnasında oluşan gerilmeler, akma sınırını geçtikten sonra dislokasyon hareketlerinin kilitlenmesi (veya serbest kalması) ile akma mukavemetinin yükselmesi (veya düşmesi) olarak gerçekleşmektedir. Bu yükselme (veya düşme) nedeni ile akma noktasından sonra gerilme sabit kalmaz, yükselir (veya düşer).

Literatürde birçok akma eğrisi fonksiyonu bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında en yaygın kullanılan Power [1], Hollomon [2] ve Krupskowski [3] fonksiyonları incelenmiştir Denk. (1-3).

$$\text{Power fonksiyonu} \quad \sigma(h) = \sigma_A + K(\varepsilon^p)^n \quad (1)$$

$$\text{Hollomon fonksiyonu} \quad \sigma(h) = K(\varepsilon^p)^n \quad (2)$$

$$\text{Krupskowski fonksiyonu} \quad \sigma(h) = K(\varepsilon_0 + \varepsilon^p)^n \quad (3)$$

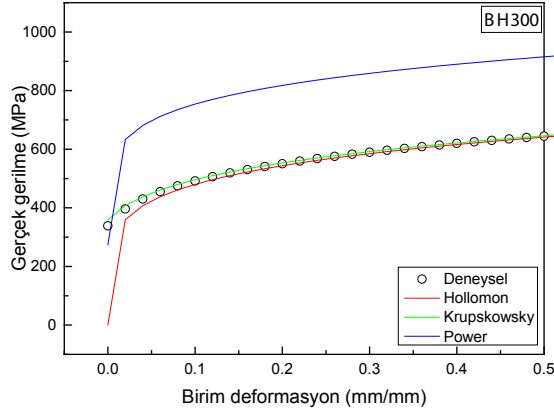
Denklemlerdeki K ve n sırasıyla mukavemet katsayısı ve pekleşme üssünü ifade etmektedir. $n = 0$ hali mükemmel akma, $n = 1$ hali ise lineer fonksiyon anlamına gelmektedir ki plastik akma gerçeğine uygun değildir. Gerçekte $n \neq 1$ olur ve bu durumda, verilmiş olan bütün fonksiyonlar nonlineer fonksiyonlardır. Bu akma eğrilerinin şeklini grafik üzerinde görebilmek için σ_A , K , n ve ε_0 terimlerine sayısal değerler vermek gerekmektedir. Tablo 1’de bu katsayılar verilmiştir.

Tablo 1: Akma eğrisi fonksiyonları oluşturmak için kullandığımız katsayı/üs değerleri

	σ_A (MPa)	K (MPa)	n	ε_0
Power fonksiyonu	274	726,4	0,18	-
Hollomon fonksiyonu	-	726,4	0,18	-
Krupskowski fonksiyonu	-	726,4	0,18	0,02

Tablodan anlaşılacağı üzere mukavemet katsayısı ve pekleşme üsteli her fonksiyon için özellikle aynı seçilmiş olup ($K=726,4$ MPa ve $n=0,18$) böylece, aynı parametrelere sahip farklı fonksiyonlardan elde edilmiş olan eğrilerin, birbirlerine göre oluşturdukları farklılıklar daha açık bir şekilde kıyaslanabilmektedir.

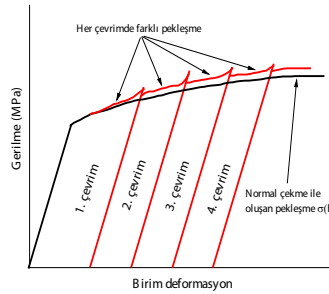
Elde edilmiş olan gerilme birim deformasyon eğrileri Şekil 1’de verilmiştir. Şekilde ayrıca çekme deneyinden elde edilmiş olan gerilme plastik birim deformasyonun deneysel değerleri de gösterilmiş olup, böylece grafik üzerinde deneysel veri ile de kıyaslama yapılabilmesine olanak sağlanmıştır.



Şekil 1: Farklı akma eğrisi fonksiyonlarında elde edilen gerilme birim deformasyon eğrileri ile deneysel verilerin karşılaştırılması

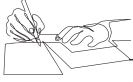
Akma eğrisinin değişimi

Akma eğrisinin şekli, matematiksel olarak $\sigma(h)$ nonlineer bir fonksiyondur ancak pekleşme her daim, sadece bu fonksiyona bağlı olarak aynı şekilde mi oluşmaktadır, pekleşme de bir değişime sahip midir? Bir plastik deformasyon işlemi, üstelik te bu işlem tekrarlamalar içeriyorsa, uygulanan yükün yönü değişiyorsa pekleşme de (akma eğrisi fonksiyonu da) değişmektedir. Şekil 2 de görüldüğü üzere gerçekte pekleşme sadece bu akma eğrisi fonksiyonuna bağlı kalmamaktadır.

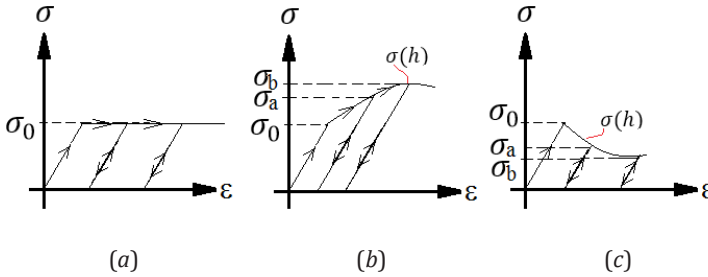


Şekil 2: Tekrarlamalı yükleme neticesinde akma eğrisi fonksiyonunun kendisinin değişimi

Pekleşme; dislokasyon hareketlerine bağlıdır ve şekillendirme hızı ($\dot{\epsilon}_{ij}^p$), plastik şekillendirme miktarı ($\Delta \epsilon^p$), plastik şekillendirmenin yönü, ısıtma hızı ($\dot{T}$) gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Tekrarlı yüklemeler plastik şekillendirmenin yönünü değiştirmektedir.



Bükme gibi imalat işlemleri plastik deformasyon ile gerçekleştirilmektedir. Her ne kadar bükme işlemi tek seferde yapılan bir işlem olsa bile, derin çekme, kademeli derin çekme (ütüleme), sıvama işlemlerinde taslak üzerinde birden fazla (cycling) olarak “yükleme-boşaltma-yeniden yükleme” veya “yükleme-boşaltma-ters yönde yükleme” şeklinde ardışık yüklem adımları oluşmaktadır. Şekil 3 de çevrimsel yüklem durumlarında gerilme şekil değiştirme grafikleri üzerinde pekleşmenin etkileri gösterilmiştir. Şekil 3 (a) da mükemmel plastik bir akma için “yükleme-boşaltma-yeniden yükleme” çevrimleri verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere her bir çevrimden sonra bile malzemenin akma noktası sabit (σ_0) değerinde kalmaktadır. Çünkü akış esnasında herhangi bir pekleşme (veya yumuşama) olmamaktadır. Şekil 3 (b) de ise, pekleşme oluştuğu için her yüklem sonunda akma noktasının arttığı, Şekil 3 (c) de de yumuşama nedeni ile akma noktasının her çevrim sonunda azaldığı durum gösterilmektedir. Bu değişimleri (pikleşme/yumuşama) ifade etmek üzere bu yazı boyunca genel olarak *pekleşme* kelimesi kullanılmıştır.



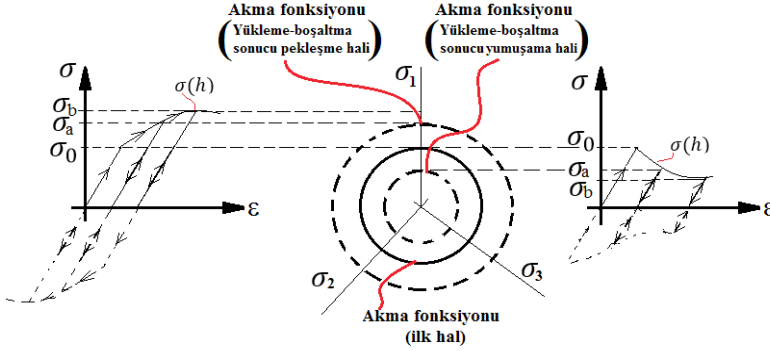
Şekil 3: Yüklem-boşaltma çevrimleri (a) Mükemmel plastik davranış (b) pekleşme neticesinde akma mukavemetinin değişmesi, $\sigma(h)$ (c) yumuşama neticesinde akma mukavemetinin değişmesi, $\sigma(h)$

Şekil 3 de akma bölgesindeki eğri $\sigma(h)$ ile gösterilmiş olup, “akma eğrisi” veya “akma eğrisi fonksiyonu” olarak ta adlandırılmaktadır. Akış kuralı ile karıştırmayınız! Zira akma eğrisi fonksiyonları, malzemenin pekleşme davranışını vermektedir, plastik deformasyonun yönünü değil!

İzotropik pekleşme kuralları; Şekil 8’deki asal eksen takımları üzerinde gösterildiği gibi pekleşmenin akma yüzeyi üzerindeki etkisinin, fonksiyonun orijini değişmeksizin *genişlemesi-daralması* suretiyle olacağını söylemektedir. Bu genişleme-daralma, yüklem-boşaltma işlemine müteakip akma noktasının değişimin gerektiği durumlarda kullanışlıdır. Pekleşme kuralları izah edilirken genellikle asal eksenler üzerindeki gösterimleri kullanılırlar. Çünkü akma kriterleri de en kolay biçimde asal eksen uzayında çizilerek izah edilebilmektedir.

İzotropik pekleşme kurallarında akma noktası sabit olmayıp, $\sigma(h)$ şeklinde değişmektedir. Bu değişim lineer veya nonlineer bir fonksiyon ile tanımlanabilir. Matematiksel olarak akma kriterinin fonksiyonuna; $\bar{\sigma}-\sigma(h)=0$ şeklinde etki etmektedir. Bu işlem, fonksiyonun çizdiği yüzeyi daraltmakta veya genişletmektedir. Şekil 4’e dikkat edilirse bu daralma veya genişleme, eksenlerin hem pozitif hem de negatif yönlerinde eşit miktarda olmaktadır. Yani izotropik pekleşme kuralları, bir yüklem neticesinde akma mukavemetinde nasıl bir değişim oluyor-

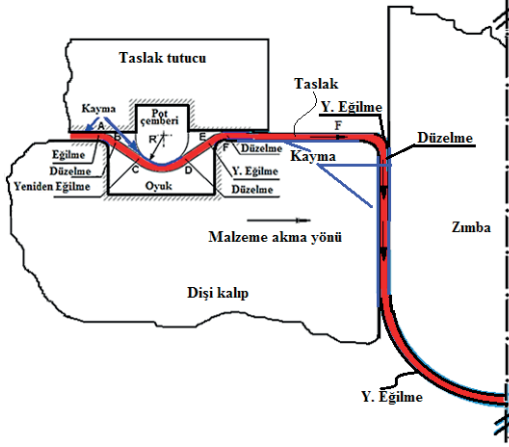
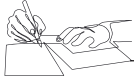
sa, tersi yüklemesinde de değişimin aynı olacağı öngörülmektedir.



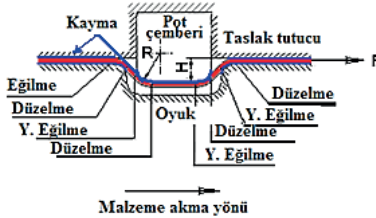
Şekil 4: İzotropik pekleşme kurallarının, akma yüzeyine olan etkisi ($\sigma_{1,2,3}$ asal gerilmeler).

Fakat deneyler göstermektedir ki; gerçekte “**yükleme-boşaltma-ters yönde yüklem**” çevrimleri nihayetindeki pekleşmeler, pozitif/negatif yüklem durumlarında farklı miktarda meydana gelmekte, σ - ϵ diyagramında gerilme ekseninin pozitif/negatif bölgelerinde akma noktaları aynı olmamaktadır. Bu durum Baushinger etkisi olarak adlandırılmaktadır. İzotropik pekleşme kuralları, ters yönde yüklemelerin de mevcut olduğu plastik deformasyon proseslerinde (örneğin derin çekme), yüklemenin ters yöne dönmesi adımıyla yeni akma noktasının ne olacağını isabetli olarak vermeye yetmemektedirler.

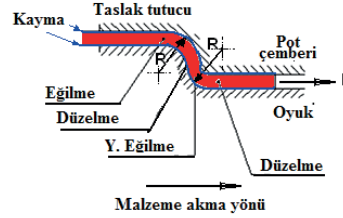
Şekil 5’den görüleceği üzere taslak malzemesi bir derin çekme işlemi esnasında pot çemberi (drawbead) ve daha sonra da zımba ve dişi kalıp boşluğu arasında akarken, eğilme-düzelme-diğer yönde yeniden eğilme gibi bir dizi çevrimsel yüklemeye maruz kalmaktadır. Pot çemberinin ve zımbanın şekline göre de bu silsilenin tekrarlanma sayısı artmaktadır. Bu durum neticesinde de, basma yönündeki yüklem esnasındaki akma noktasındaki değişim, çekme yönündeki yüklem adımıyla değişim ile simetrik olamayabilmektedir. Baushinger etkisi gösteren malzemelerde, çekme esnasında pekleşme neticesinde akma mukavemetinde ne kadarlık bir artım olmuş ise, müteakip basma esnasındaki akma mukavemetinde, o kadarlık bir azalma olmaktadır. Böylece akma noktaları arasında $2\sigma_y$ ’lik bir fark daima korunmuş olur.



(a)



(b)

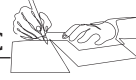


(c)

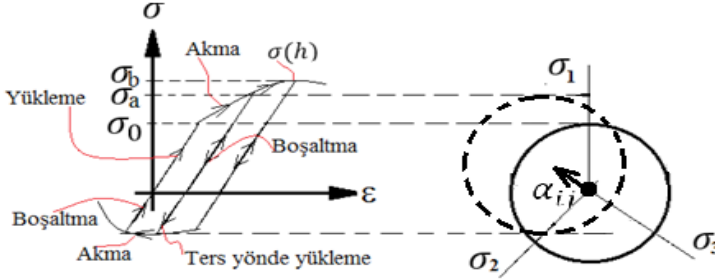
Şekil 5: Bir derin çekme işleminde üç farklı geometriye sahip pot çemberinden (süzdürme çubuğundan) malzemenin, akışı esnasında maruz kalmakta olduğu yükleme silsileleri (a) kubbe (b) dikdörtgen (c) kenar şekilleri için deformasyon silsileleri.

Bütün bunlara ilaveten, gerçekte tekrarlı yükleme durumlarında ve asimetrik yükleme halinde plastik deformasyonda da her çevrim sonunda aşamalı olarak artma (ratcheting) veya stabil hale gelme (shakedown) durumları da oluşmaktadır. Ratcheting ve shakedown simetrik olmayan ve gerilme kontrollü yüklemelerde ortaya çıkar. Ratcheting'te her döngüde plastik deformasyonda aşamalı olarak artım vardır. Shakedown da ise, her döngüde aşamalı olarak plastik deformasyonda stabilizasyon vardır.

Şekil 6'da ters yönlü bir yükleme esnasında pekleşmenin eşit olmadığı durum gösterilmiştir. σ - ϵ diyagramına bakılırsa, görüleceği üzere gerilme ekseninin pozitif/negatif bölgelerinde akma noktaları aynı olmamaktadır. Böylesi bir pekleşme halinde, özellikle de yüklemenin yön değiştirmesi veya tekrarlı olması durumunda, izotropik bir pekleşme kuralı, gerçekte oluşan pekleşmeyi vermeye yeterli olamamaktadır. Ters yükleme durumunda akma noktasının simetrik olmayan değişimini verebilmesi için; akma kriterindeki fonksiyonun çizdiği akma yüzeyinin orijininin matematiksel olarak kayması gerekmektedir. İşte akma yüzeyinin orijininin kaydırmayı sağlayan pekleşme kurallarına da "*kinematik pekleşme kura-*



lı" denmektedir. Anizotropik pekleşme kuralı denmez, karıştırmayınız! Kinematik pekleşme durumunda, akma kriterinin fonksiyonuna; $\bar{\sigma}(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) - \sigma_0 = 0$ denklemindeki α terimi (back stress) gelir. Bu işlem akma fonksiyonunun çizdiği yüzeyin şeklini değiştirmez fakat eksen üzerinde orijininin kaymasına yol açar. α terimi, akma yüzeyinin merkez noktasının geometrik olarak konumunun değeridir, birimi gerilme birimindedir; örneğin MPa gibi. Baushinger etkisinin gözlemlendiği malzemeler için kullanışlıdır. Kinematik pekleşme kuralları, akma yüzeyinin şeklinin değişmediği ve sadece orijininin hareket etmesi gereken durumlarda kullanışlıdır.



Şekil 6: Kinematik pekleşme kurallarının, akma yüzeyine olan etkisi. Pekleşme/yumuşama neticesinde akma noktasındaki değişim, akma yüzeyinin orijininin kayması şeklinde görülmektedir ($\sigma_{1,2,3}$ asal gerilmeler)

Netice olarak; bir pekleşme kuralının, akma kriterine dâhil edilmesiyle akma fonksiyonunun gerilme uzayında çizmekte olduğu yüzey, genişleme/daralma veya orijininin kayması veya bunların bir arada olduğu bir durum ile sonuçlanır.

AKMA KRİTERİ

Akma kriteri olarak üç farklı anizotropi değeri gerektiren Barlat89 akma kriteri kullanılmıştır. Bu kriterin genel formülü Denklem (4)'de verilmektedir [4].

$$\Phi = 2(\bar{\sigma})^M \quad (4)$$

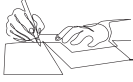
Burada Φ , bu akma kriterinin önerdiği matematiksel bir ifade olup Denklem (5)'te verilmektedir. Barlat'ın anizotropik bir fonksiyon elde etmek için burada yaptığı işlem, Φ fonksiyonunun içerisine anizotropi değerlerine bağlı olan " a, b, c, h, p " katsayılarını yerleştirmek olmuştur.

$$\Phi = a|K_1 + K_2|^M + b|K_1 - K_2|^M + c|2K_2|^M \quad (5)$$

$\bar{\sigma}$

, bu akma kriterine ait eşdeğer gerilme ifadesi olup açık halı Denklem (6)'da verilmektedir.

$$\bar{\sigma} = \sqrt[M]{\frac{a|K_1 + K_2|^M + b|K_1 - K_2|^M + c|2K_2|^M}{2}} \quad (6)$$



M değeri, mikro yapıya bağlı olarak değer alan bir üstür. Hacim merkezli kübik yapı (HMK) için 6 ve yüzey merkezli kübik yapı (YMK) için 8 alınmaktadır. K_1 ve K_2 katsayıları ise gerilme tensörünün invaryantları olarak adlandırılmaktadır.

$$K_1 = \frac{\sigma_{11} + h\sigma_{22}}{2}, \quad K_2 = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{11} - h\sigma_{22}}{2}\right)^2 + p^2\sigma_{12}^2} \quad (7)$$

$$a = b = 2 - c = \frac{2\left(\frac{\bar{\sigma}}{\tau_{s2}}\right)^M - 2\left(1 + \frac{\bar{\sigma}}{\sigma_{90}}\right)^M}{1 + \left(\frac{\bar{\sigma}}{\sigma_{90}}\right)^M - \left(1 + \frac{\bar{\sigma}}{\sigma_{90}}\right)^M} \quad (8a)$$

$$h = \frac{\bar{\sigma}}{\sigma_{90}} \quad (8b)$$

$$p = \frac{\bar{\sigma}}{\tau_{s2}} \sqrt{\left(\frac{2}{2a + 2^M c}\right)} \quad (8c)$$

Ayrıca a , b , c , h ifadeleri, anizotropi katsayıları kullanılarak ta hesaplanabilmektedir. Ancak p değeri sadece (8c) deki gibi hesaplanmaktadır.

$$a = b = 2 - c = 2 - 2 \sqrt{\frac{r_0}{1 + r_0} \cdot \frac{r_{90}}{1 + r_{90}}} \quad (9a)$$

$$h = \sqrt{\frac{r_0}{1 + r_0} \cdot \frac{1 + r_{90}}{r_{90}}} \quad (9b)$$

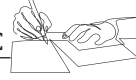
Burada σ_{11} ve σ_{22} ifadeleri düzlem gerilme hali için sırasıyla numune eksenî yönünde ve genişlik yöndeki gerilme bileşenleridir. σ_{12} ise kayma gerilmesidir. τ_{s1} akma gerilmesi olup iki farklı tip deney ile bulunmaktadır: $\sigma_{11} = \sigma_{22} = 0$ iken $\sigma_{12} = \tau_{s1}$ olmaktadır. Benzer şekilde $\sigma_{12} = 0$ iken $-\sigma_{11} = \sigma_{22} = \tau_{s2}$ olmaktadır. Dikkat edilirse gerilme değerleri Cauchy gerilme tensörünün tamamı olup, gerilmelere herhangi bir dönüşüm uygulanmış değildir.

İZOTROPİK PEKLEŞME KURALLARI

Akma kriterlerinden önceki başlıkta bahsedilmiştir. Eğer pekleşme olmayan (mükemmel plastik) bir akma durumu söz konusu olsaydı; eşdeğer gerilmeyi ($\bar{\sigma}$), Denklem (10a) da görüleceği üzere sadece sabit σ_0 ile kıyaslamamız yeterli olacaktı zira mükemmel plastik akma halinde, zaten hangi miktarda bir plastik şekil değişim artımı olursa olsun ($d\varepsilon^p$), akma mukavemeti her daim sabit σ_0 değerinde kalacaktı!

$$\bar{\sigma} - \sigma_0 \stackrel{?}{\leq} 0 \quad (10a)$$

Fakat gerçekte kristal kusurları, döküm hataları gibi nedenlerle hiçbir zaman mükemmel plastik akma oluşmaz. Akma esnasında kafes parametrelerine, dislokasyon miktarlarına bağlı olarak pekleşme/yumuşama meydana gelir. Pekleş-



menin olduğu durumda akma mukavemeti değeri, plastik şekil değişimindeki artım miktarına bağlı olarak her seferinde yeni bir değere yükseleceği için, pekleşmenin etkisini Denklem (10b) de görüleceği üzere $\sigma(h)$ ifadesi ile (akma eğrisi fonksiyonu) kıyaslama denklemine katabiliriz. İşte bu denklem ile yapılan pekleşme hesaplama işlemi, *izotropik pekleşme kuralı* olarak adlandırılmaktadır. Burada *izotropik* kelimesi, akma yüzeyi fonksiyonunun eşit olarak genişlediği/daraldığını anlatmak için kullanılmaktadır, izotropik akma kriteri ile karıştırmayınız!

$$\bar{\sigma} - \sigma(h) \stackrel{?}{\leq} 0 \quad (10b)$$

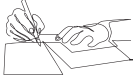
Burada $\sigma(h)$ ifadesi, $\sigma(h) = f(\bar{\epsilon}^p)$ ile verilen ve akma eğrisi fonksiyonuna bağlı olan fonksiyonlardır, akma yüzeyinin sadece genişleme/daralmasına yol açarlar. Akma eğrisi fonksiyonları ise $\bar{\epsilon}^p$ eşdeğer plastik şekil değiştirmeye bağlıdır. Bu çalışma kapsamında akma eğrisi fonksiyonu olarak; Power, Hollomon ve Krupskowski fonksiyonları incelenmiştir.

Ancak denklemden görüleceği üzere $\sigma(h)$ ifadesi hangi değeri alırsa alsın, akma yüzeyinin şişmesi/büzülmesi eşit oranda olacaktır. Hâlbuki gerçekte bütün malzemelerde pekleşme miktarları, çekme ve basma bölgelerinde eşit olmamaktadır, özellikle Baushinger etkisinin görüldüğü durumlarda basma bölgesindeki akma mukavemeti, çekmedekinden mutlak değerce daha az olmaktadır. Bu nedenle Baushinger etkisinin görüldüğü malzemeleri modellemede izotropik pekleşme kuralı yeterli olmadığından dolayı, bu etkileri içerebilen bir başka kurala ihtiyaç vardır. Kinematik pekleşme kuralları bu eksiklikleri bir nebze de olsa gidermekte, kombine kurallar ise en isabetli sonuçları verebilmektedir.

KİNEMATİK PEKLEŞME KURALLARI

Kinematik pekleşme kuralları, akma yüzeyi fonksiyonuna α (back stress) terimini $\bar{\sigma}(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) - \sigma_0 = 0$ şeklinde dâhil etmeyi gerektirmektedir. Bu denklem ise matematiksel olarak, akma yüzeyini rijit bir cisim gibi hareket ettirmektedir. Bu işlem denklemdaki α terimi (back stress) ile sağlanır. α terimi, akma yüzeyinin merkez noktasının geometrik olarak konumunun değeridir. α_{ij} teriminin birimi “gerilme” birimindedir ve gerilme ile yan yana işlem görür. α_{ij} terimleri tek başlarına bir pekleşme fonksiyonu olmayıp, pekleşme fonksiyonunun değişimine yardımcı olan unsurlardan biridir. Bu nedenle kinematik pekleşme kuralı denince, akla ilk olarak α_{ij} denklemleri gelmektedir. İşte α (back stress) terimi sayesinde yapılan pekleşme hesaplama işlemi, *kinematik pekleşme kuralı* olarak adlandırılmaktadır.

α terimi ilk olarak Prager tarafından önerilerek lineer kinematik pekleşme kuralı [5] olarak simülasyonlara dâhil edilmeye başlanmış ve sonra Ziegler [6] tarafından değiştirilmiştir. Her iki pekleşme kuralı da lineer olduğu için, her ne kadar Baushinger etkisini içerebiliyorsa da, çok eksenli ratcheting ve shakedown tahminlerini içerebilmektedirler. Bu nedenle, Armstrong ve Frederick, Prager’in denklemine dayanarak nonlinear kinematik modeller geliştirmiştir [7]. Armstrong ve Frederick’in denklemi, bir adet pekleşme ve bir adet te geri toparlanma terimi içermektedir. Daha sonra, Armstrong ve Frederick’in formülündeki dina-



mik geri toparlanma teriminin modifikasyonları ile Chaboche [8, 9] ve birçok pekleşme kuralı geliştirilmiştir. Bu çalışmamızda pek çok sonlu eleman simülasyon programı içerisinde bulunabilen Chaboche pekleşme kuralı incelenmiştir.

Prager'in α_{ij} teriminin değişimini içeren denklemi, Denklem (11) de gösterilmektedir.

$$\dot{\alpha}_{ij} = \sigma'(\varepsilon_{ij}^p) \dot{\varepsilon}_{ij}^p \quad (11)$$

Prager, pekleşme kuralı $\sigma(\varepsilon_{ij}^p)$ yı, lineer olarak almıştır. Bu nedenle $\sigma'(\varepsilon_{ij}^p)$ ile denklemdeki $\sigma'(\varepsilon_{ij}^p)$ türev ifadesi sabit bir değer olmaktadır. Sonuçta da $\dot{\alpha}_{ij}$ denklemi lineerdir, yani akma yüzeyinin orijinindeki kayma süreklidir, sınırı yoktur. Kaydırmayı azaltıcı bir etki yoktur. Gerçekte akma eğrisi fonksiyonu non-lineerdir ve α_{ij} teriminin de nonlinear olması beklenmelidir. Üstelik bu terimin nonlinear fonksiyonel yazılması durumunda bile, kaydırıcı α_{ij} terimi sürekli arttığından dolayı, tekrarlı yüklemdeki σ - ε eğrilerini genellikle gerçek dışı bir şekle götürmektedir. Bu nedenlerden dolayı Armstrong ve Frederick (AF) [7], Prager'in denklemine nonlinear bir terim daha ilave etmiştir (Denk. 12). Denklemdeki bu terime, geri toparlanma terimi de denmektedir.

$$\dot{\alpha}_{ij} = \underbrace{\sigma'(\varepsilon_{ij}^p) \dot{\varepsilon}_{ij}^p}_{\text{pikleşme (lineer)}} - \underbrace{\gamma \alpha_{ij} \sqrt{\frac{2}{3} \dot{\varepsilon}_{ij}^p : \dot{\varepsilon}_{ij}^p}}_{\text{geri toparlanma (nonlinear)}} \quad (12a)$$

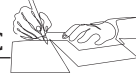
Burada γ , *pikleşme azalması oranı* olarak adlandırılan sabit bir malzeme parametresidir. Bu terim $\dot{\alpha}_{ij}$ terimini azaltıcı yönde etki etmektedir, yani akma yüzeyinin orijinini sürekli kaymasına müsaade etmemektedir. Böylece kayma sınırlandırılmıştır. γ katsayısı modelin stabilize çevrime yakınsama hızını kontrol eder. γ 'nın sıfır olması da $\dot{\alpha}_{ij}$ teriminde sınırlama olmadığı anlamına gelmektedir. Ayrıca dikkat edilirse denklemdeki $\sqrt{\frac{2}{3} \dot{\varepsilon}_{ij}^p : \dot{\varepsilon}_{ij}^p}$ terimi von Mises'in eşdeğer şekil değiştirme hipotezidir. Bu nedenle $\frac{1}{3} \dot{\varepsilon}_{ij}^p$ şeklinde kısaltabiliriz. Bu terime "kümlatif plastik deformasyon oranı" veya "efektif plastik deformasyon oranı" veya "eşdeğer plastik deformasyon oranı" veya "plastik deformasyon oranının şiddeti" veya "eşdeğer plastik deformasyon artım miktarı" gibi pek çok adla $\frac{2}{3} C$ ma da yapılmaktadır. Ayrıca $\sigma'(\varepsilon_{ij}^p)$ terimini de sırf kısaltma yapmak adına $\frac{2}{3} C$ olarak yeniden yazabiliriz.

$$\dot{\alpha}_{ij} = \frac{2}{3} C \dot{\varepsilon}_{ij}^p - \gamma \alpha_{ij} \frac{1}{3} \dot{\varepsilon}_{ij}^p \quad (12b)$$

Chaboche ve ark. [11], $\dot{\alpha}_{ij}$ terimini rastgele sayıda terimlere ayrıştırarak AF modelinin sonuçlarını iyileştiren bir kinematik pekleşme kuralı sunmuştur. Denklem (13) te verilmiştir.

$$\dot{\alpha}_{ij} = \sum_{m=1}^n (\dot{\alpha}_{ij})_m \quad \text{burada } m=1,2,\dots,n \quad (13)$$

Chaboche, bir adet stabil yük çevrimini, n adet ve birbiri ile toplanan kinematik terimlere ayrıştırdı. n sayısı arttıkça, model parametrelerinin sayısı da artacaktır. Buradan görülecektir ki $n = 1$ olduğunda, denklem AF pekleşme denklemi-



ne dönüşecektir. Buradaki her bir α_{ij} terimi de nonlinear olarak değişime sahiptir. Chaboche, sıcaklık gibi etkileri de hesaba katabilmek için denklemindeki malzeme parametrelerini arttırarak, denklemini daha kullanışlı hale getirmektedir. Bu durum Denklem (14) te verilmiştir.

$$\underbrace{\epsilon_{ij-m} \frac{2}{3} C_m \dot{\epsilon}_{ij}^p}_{\text{linear terim}} - g_m \underbrace{\epsilon_{ij-m} \sqrt{\frac{2}{3} \dot{\epsilon}_{ij}^p : \dot{\epsilon}_{ij}^p}}_{\text{recall term}} + \underbrace{\frac{1}{C_m} \frac{\partial C_m}{\partial T} \epsilon_{ij-m}}_{\text{Isitma hizi terimi}} \quad (14)$$

burada $m=1,2,\dots,n$

Burada T sıcaklık, C_m pekleşme modülü ve γ_m ler pekleşme azalması oranı olarak adlandırılan katsayılar olup, sıcaklığa bağlı olarak değişebilmektedirler. Bu parametreler her farklı α_{ij} terimi için farklı değerlere sahiptirler. Bu parametrelerin hepsi aynı regresyon işlemi içerisinde belirlenir. Regresyon işlemi, biraz farklı bir şekilde uygulanan çekme-basma deneyinden elde edilen gerçek gerilme-gerçek plastik şekil değiştirme (σ - ϵ^p) değerleri üzerine uygulanmaktadır. Müteakip başlıklarda detaylıca açıklanacaktır.

Bu denklem, bir birinci mertebe adi diferansiyel denklemdir. Chaboche'nin back stress denklemi; tek terimli (birinci mertebe), sıcaklık değişiminin olmadığı ve tek eksenli yükleme hali için ele alırsak ve ϵ_{ij}^p 'e göre explicit olarak integre edersek (ϵ 'un zamana vs... bağlı olduğunu düşünmeksizin, sadece ϵ 'a göre integral), aşağıdaki çözüme ulaşılabılır.

$$\alpha = \varphi \frac{C}{\gamma} + \left(\alpha_0 - \varphi \frac{C}{\gamma} \right) e^{-\varphi \gamma (\epsilon^p - \epsilon_0^p)} \quad (15)$$

Denklemden α_0 başlangıçtaki back stress değeri, ϵ_0^p başlangıçtaki plastik deformasyon değeri, φ ise çekme/basma durumuna göre işaretler, $\varphi = \text{sgn}(\sigma - \alpha) = \pm 1$. Tek eksenli çekme halinde $\varphi = 1$ ve basma halinde $\varphi = -1$ olur. Tek eksenli çekme deneylerinde başlangıç back stresi $\alpha_0 = 0$ ve başlangıç plastik deformasyonu $\epsilon_0^p = 0$ olduğunu varsayalım. Bu durumda back stress denklemi Denk. (16) daki gibi olacaktır.

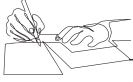
$$\alpha = \frac{C}{\gamma} (1 - e^{-\gamma (\epsilon^p)}) \quad (16a)$$

Çekme fazında

$$\alpha = \frac{C}{\gamma} (-1 + e^{\gamma (\epsilon^p)}) \quad (16b)$$

Basma fazında

Nihayetinde Chaboche denklemi α_{ij} değerini verdiği için dolayı, akma kriterinde yerine yazmak gerekmektedir. Back stress α ifadesi, eşdeğer gerilme denklemi içerisine $\bar{\sigma}(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) - \sigma_0 = 0$ yazılmaktadır. σ_0 ifadesi akma mukavemeti değeridir. Tek eksenli çekme durumunda çekme eksenindeki gerilme değeri zaten asal gerilmenin kendisi olduğundan ve başka da asal gerilme olmadığından dolayı tek eksenli çekme halinde eşdeğer gerilme aynı zamanda da çekme eksenindeki (x) gerilmeye eşit olacaktır $\bar{\sigma}(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) = \sigma_x$. Bu durumda eşdeğer gerilme ifadesi Denk. (17) daki gibi olacaktır.



$$\sigma_x - \alpha_x - \sigma_0 = 0 \quad (17)$$

Back stres ve akma mukavemeti değerleri denklemin karşı tarafına atılarak Denk. (18) deki gibi yeniden yazılabilir. İlâveten, back stress α ifadesinin birden fazla terim içerebileceği düşünüldüğünde denklemin son hali aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\sigma_x = \sigma_0 + \sum_{m=1}^n (\alpha_x)_m \quad (18)$$

Denk(16) daki ifadeler Denk (18) e taşınırsa, akma kriteri fonksiyonuna back stres değeri ilave edilmiş olacaktır (Denk. 19).

$$(\sigma_x)_{\text{çekme}} = \sigma_0 + \frac{C}{\gamma} \left(1 - e^{-\gamma(\varepsilon_x^p)} \right) \quad (19a)$$

$$\text{Çekme fazında} \quad (19b)$$

$$(\sigma_x)_{\text{basma}} = -\sigma_0 + \frac{C}{\gamma} \left(-1 + e^{\gamma(\varepsilon_x^p)} \right)$$

Basma fazında

Parametrelerin tahmini için bir adet döngünün sadece bir yarısı, örneğin üst yarı, yeterli olduğu için, tüm bir çevrim yerine yarısını alarak ta parametreler belirlenebilmektedir. Stabilize bir çevrim için 19a ve 19b denklemleri analitik olarak birleştirilerek, gerilmenin genliği (σ_a) ile plastik deformasyonun genliği (ε_a^p) arasındaki ilişki elde edilebilir. Böylece gerilmenin çekme veya basma şeklinde yönü ile uğraşmaksızın gerilmenin genliği kullanılarak, birden çok çevrim için parametre belirlenmesi daha rahat olacaktır. $\tanh$ fonksiyonu bu amaç için uygun bir fonksiyondur. Birden çok terimli α denklemi için (20b) kullanılabilir.

$$\sigma_a = \sigma_0 + \frac{C}{\gamma} \tanh(\gamma \varepsilon_a^p) \quad (20a)$$

$$\sigma_a = \sigma_0 + \sum_{m=1}^n \frac{C_m}{\gamma_m} \tanh(\gamma_m \varepsilon_a^p) \quad (20b)$$

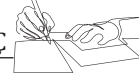
Doğru racheting tahminleri için en az üç terimli α denklemi kullanılması önerilmektedir. Chaboche α denkleminin üç terimli (üçüncü mertebe) olduğu durum Denklem (21) de verilmiştir.

$$\alpha = \sum_{m=1}^3 (\alpha)_m = (\alpha)_1 + (\alpha)_2 + (\alpha)_3 \quad (21)$$

Sıcaklık değişiminin olmadığını varsayarak, diferansiyel denklemler (22) deki gibi olacaktır.

$$(\dot{\alpha}_{ij})_1 = \frac{2}{3} C_1 \dot{\varepsilon}_{ij}^p - \gamma_1 (\alpha_{ij})_1 \sqrt{\frac{2}{3} \dot{\varepsilon}_{ij}^p : \dot{\varepsilon}_{ij}^p} \quad (22a)$$

$$(\dot{\alpha}_{ij})_2 = \frac{2}{3} C_2 \dot{\varepsilon}_{ij}^p - \gamma_2 (\alpha_{ij})_2 \sqrt{\frac{2}{3} \dot{\varepsilon}_{ij}^p : \dot{\varepsilon}_{ij}^p} \quad (22b)$$



$$(\dot{\alpha}_{ij})_3 = \frac{2}{3} C_3 \dot{\varepsilon}_{ij}^p - \gamma_3 (\alpha_{ij})_3 \sqrt{\frac{2}{3} \dot{\varepsilon}_{ij}^p : \dot{\varepsilon}_{ij}^p} \quad (22c)$$

Tek eksenli yükleme halinde ve ε_{ij}^p 'e göre explicit olarak integre edersek bu diferansiyel denklemlerin çözümü (23) deki gibi olacaktır.

$$\alpha_1 = \frac{C_1}{\gamma_1} \left(1 - 2e^{-\gamma_1(\varepsilon^p - \varepsilon_L^p)} \right) \quad \text{Çekme fazı} \quad (23a)$$

$$\alpha_2 = \frac{C_2}{\gamma_2} \left(1 - 2e^{-\gamma_2(\varepsilon^p - \varepsilon_L^p)} \right)$$

$$\alpha_3 = C_3 \varepsilon_{Lx}^p \quad \text{Basma fazı} \quad (23b)$$

$$\alpha_1 = \frac{C_1}{\gamma_1} \left(-1 + 2e^{\gamma_1(\varepsilon^p - \varepsilon_L^p)} \right)$$

$$\alpha_2 = \frac{C_2}{\gamma_2} \left(-1 + 2e^{\gamma_2(\varepsilon^p - \varepsilon_L^p)} \right)$$

$$\alpha_3 = -C_3 \varepsilon_{Lx}^p$$

Burada ε^p çekme eksenini doğrultusundaki plastik deformasyon ve ε_L^p ise o döngü eğrisindeki deformasyonun sınır değeridir. Çekme deney datasındaki her ardışık satır arasındaki fark olarak ta hesaba katılabilir $\Delta \varepsilon^p = (\varepsilon^p - \varepsilon_L^p)$. Denk (23) teki ifadeler Denk (18) e taşınırsa, akma kriteri fonksiyonuna back stres değeri ilave edilmiş olacaktır. Plastik deformasyonun tam olarak deformasyon sınırına eşit olduğu durumu düşünersek ($\varepsilon^p = \varepsilon_L^p$) Denk. (24) haline gelir [10].

$$(\sigma_x)_{\text{çekme}} = \sigma_0 + \frac{C_1}{\gamma_1} + \frac{C_2}{\gamma_2} + C_3 \varepsilon_{Lx}^p \quad \text{Çekme fazında} \quad (24a)$$

$$(\sigma_x)_{\text{basma}} = -\sigma_0 - \frac{C_1}{\gamma_1} - \frac{C_2}{\gamma_2} - C_3 \varepsilon_{Lx}^p \quad \text{Basma fazında} \quad (24b)$$

Denklemden $C_1, \gamma_1, C_2, \gamma_2, C_3$ ve γ_3 olmak üzere altı adet bilinmeyen mevcuttur. Bulunan katsayıların yukarıdaki denklemi de sağlaması gerekmektedir.

Bazı akma kriterleri (Tresca, Barlat89, Hill48 vs...) gerilmelerin kendisini kullanırken bazıları da (von Mises, Yld2000, YLD2004 vs...) deviatorik kısmı kullanır. Kullandığınız akma kriterine göre back stresin de deviatorik kısmının kullanılması gerektiğini hatırlayınız [11].

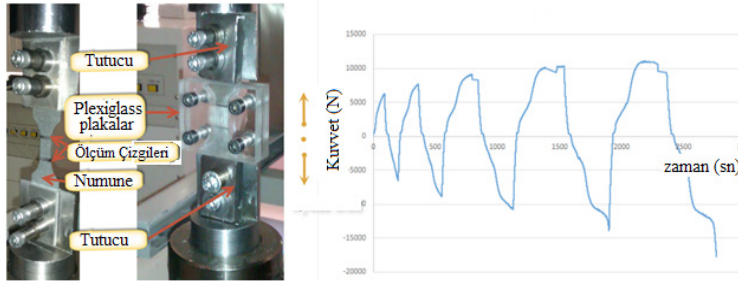
Chaboche'nin α denkleminin parametrelerinin (Y_S, C, γ) belirlenmesi

Chaboche parametrelerinin tespiti için bir çekme-basma deney tezgâhı kullanılır ancak deney tekrarlı yükleme adımları (cycling) uygulanarak gerçekleştirilir. Her bir çekme-basma işlemi bir çevrim olarak adlandırılır. Bir çevrim; "çekme yükleme-boşaltma-ters yönde yükleme-boşaltma" şeklindeki yükleme adımlarından oluşur.

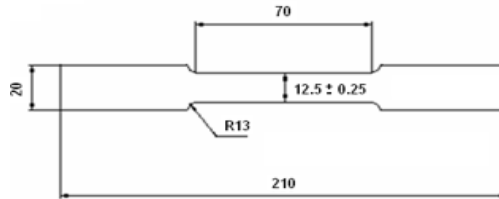
Chaboche parametreleri olan Y_S, C_m ve γ_m katsayıları, deneysel veri üzerine

nonlineer regresyon analizi yapılarak elde edilir. Regresyon analizi için tek bir çevrim de yeterlidir. Ancak gerçekte yapı kaç adet tekrarlı yüke maruz ise, deney esnasında da o kadar çevrim tekrarı uygulamak önerilmektedir. Örneğin Şekil 4 te ki gibi bir sac metal malzemenin üzerine gelen farklı ve tekrarlı yüklemeler gibi deformasyonun hem artı (uzama) hem eksi yönlerde (kısılma) yön değiştirdiği ve bunun tekrarlı olduğu bir işlemin simülasyonu yapılacaksa, deneysel olarak ta hem eksi hem artı şeklinde simetrik yüklemeli bir cycling deney datası kullanmak önerilmektedir. Plastik deformasyon prosesleri ve bunların simülasyonları genellikle deformasyon kontrollü yapılır, deformasyonun simetrik olması önemlidir zira asimetrik deformasyon durumlarında ratcheting/shakedown gibi farklı sonuçlar da oluşur. Gerilme kontrollü bir deneyde, simetrik gerilme uygulaması, deformasyonun birikmesinin (ratcheting) gözlemlenmesinin kaçırılması gibi dezavantajlara neden olmaktadır. Dikkat edilmesi gereken husus data kümesi içerisinde lineer bölgenin datası uzaklaştırmalı ve değerler gerçek gerilme-gerçek plastik şekil değiştirme değerlerine dönüştürülmelidir.

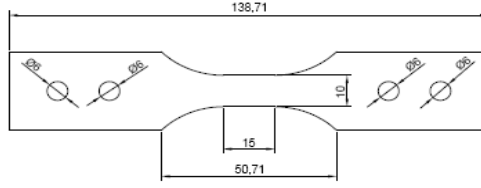
Şekil 7 de çekme deneyi tezgâhında tekrarlı yüklemeler için tasarlanan bir tutucu ve hemen yanında da uygulanan yükün zamana göre değişimi verilmiştir. Numune sac şeklinde ise kalınlığının uzunluğuna göre ince olmasından dolayı basma esnasında burkulmalar olmaktadır. Burkulma olmasının diye numuneler, numuneden daha rijit iki adet plakanın arasında tutularak deney yapılmaktadır. Ebetteki tutma işleminde numunenin rijitliğinin değişmemesi için sıkıştırma yapılmamış ve ara yüzeyde sürtünmeyi en aza indirmek için, madeni yağlayıcılar kullanılmıştır. Tutucu plakalar, video ekstansometre sisteminin video kamerasıyla numune üzerindeki gage işaretlerini takip edilebilmesi için şeffaf pleksiglas malzemeden üretilmiştir. Böylece, numunenin burkulmadan plakalar arasında kolayca kayabilmesi sağlanmıştır. Şekil 8 de ise numune boyutları verilmektedir.



Şekil 7: Tekrarlamalı çekme-basma test düzeneği ve uygulanan yükün zamana göre değişimi



(a) Çekme testi numune geometrisi



(b) Tekrarlı çekme-basma numune geometrisi

Şekil 8: Numune geometrileri (tüm uzunluklar mm cinsindendir)

Regresyon işlemi, bir sayısal analiz yöntemi olan eğri uydurma yöntemini uygulamaktan öte bir işlem değildir. Bu nedenle, çevrimsel çekme-basma datası üzerine Chaboche'nin nonlinear denklemi esas alınarak herhangi bir nonlinear regresyon tekniği uygulanıp aranan katsayılar elde edilebilir. Farklı deformasyon genliklerine sahip en az üç adet çekme-basma deneyleri yapılır, yükleme simetrik olarak gerçekleştirilir. Tek bir deneyde üç farklı çevrim uygulanması şeklinde de yapılabilir. Gerçek şartlar hangisine uyorsa onu uygulayınız. Deneyler şekil değişimi kontrollü olarak gerçekleştirilir, kuvvet kontrolü yapmayınız!

Çekme testinden elde edilen *mühendislik gerilme* (σ_{muh}) ve *mühendislik şekil değiştirme* (ε_{muh}) verileri, aşağıdaki formüller kullanarak *gerçek gerilme* ve *gerçek şekil değiştirme* değerlerine dönüştürülmelidir.

$$\sigma_{gerçek} = \sigma_{muh}(1 + \varepsilon_{muh}) \quad (25a)$$

$$\varepsilon_{gerçek} = \ln(1 + \varepsilon_{muh}) \quad (25b)$$

Toplam gerçek deformasyonu; elastik (ε^e) ve plastik (ε^p) kısımların toplamı $\varepsilon_{gerçek} = \varepsilon^e + \varepsilon^p$ olarak ayırılım ve gerçek plastik şekil değiştirme miktarını Denklem 26b deki gibi hesaplayalım.

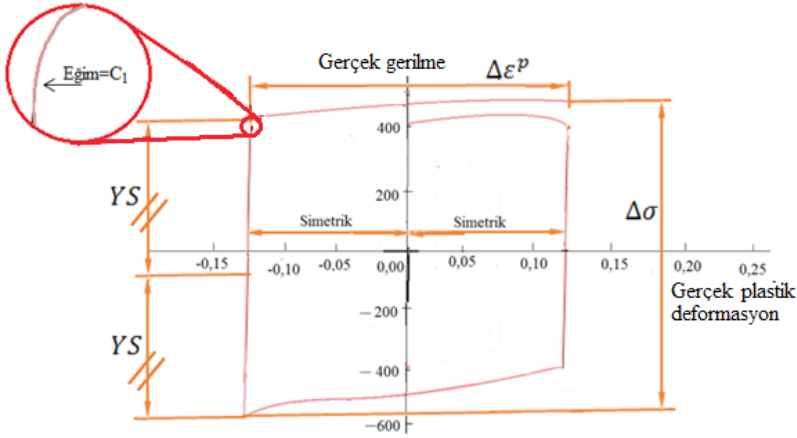
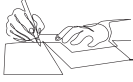
$$\varepsilon^e = \frac{\sigma_{gerçek}}{E} \quad (26a)$$

$$\varepsilon_{gerçek}^p = \varepsilon_{gerçek} - \varepsilon^e \quad (26b)$$

ε^p

hesaplanmasında yapılan yaygın bir yanlışlık, $\varepsilon_{gerçek}$ değerlerinden, sürekli olarak sadece ilk akmadaki şekil değiştirme değerinin (0,002) çıkartılmasıdır. Hâlbuki pekleşme/yumuşama nedeni ile akma noktası değiştiği için yeni akma noktası $\sigma_{gerçek} / E$ elastik şekil değiştirme değeri de değişecektir ki bu değer her seferinde $\sigma_{gerçek} / E$ oranı ile bulunmalıdır.

Bu aşamadan sonra, $\sigma_{gerçek}$ ve $\varepsilon_{gerçek}^p$ değerlerini kullanarak simetrik ve stabil bir çevrimi içerecek şekilde aşağıdaki gibi bir döngü içeren $\sigma_{gerçek}$, $\varepsilon_{gerçek}$ diyagramımızı çizerek üzerinde okumalar yapalım.

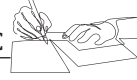


Şekil 9: Simetrik yüklemeli, stabilize bir döngü üzerinden Chaboche'nin α denkleminin belirlenmesi

Şekil 9'da bir adet deney sonucu elde edilen bir adet çevrim grafiği verilmiştir. Benzer şekilde her bir çevrim grafiğine aşağıdaki işlemler uygulanır:

- Her bir çevrim datası için, YS değerini elastik bölgeden belirleyiniz. YS , genellikle elastik bölgenin yarısıdır.
- Plastik deformasyon aralığı $\Delta \epsilon^p$ yi belirleyiniz.
- Gerilme aralığı $\Delta \sigma$ yı belirleyiniz.
- C/γ değerini tespit etmek üzere, yukarıda tarif edilen işlemleri en az üç farklı çevrim grafiğinin tekrarlamak sureti ile dikey ekseninde $\left(\frac{\Delta \sigma}{2} - YS\right)$ ve yatay ekseninde $\left(\frac{\Delta \epsilon^p}{2}\right)$ olacak şekilde bir grafik çiziniz. Grafik üzerinde, elde etmiş olduğunuz en az üç farklı noktayı gösteriniz.
- Uygun bir hiperbolik fonksiyon kullanarak, mesela $\frac{\Delta \sigma}{2} - YS = \frac{C_1}{\gamma_1} \tanh\left(\gamma_1 \frac{\Delta \epsilon^p}{2}\right)$ gibi, denklemdaki C_1/γ_1 i bulmak üzere eğri uydurunuz. Bu eğri uydurma fonksiyonu ile tek terimli Chaboche denkleminin için C_1, γ_1 li katsayılar elde edilmiş olacaktır. Bu eğri uydurma fonksiyonu yerine içerisinde C_1, γ_1 li terimlere ilaveten C_n, γ_n içeren terimlerin de olduğu başka bir eğri uydurma fonksiyonunu kullanılırsa n terimli ifadenin katsayıları elde edilmiş olacaktır. Örneğin, $\frac{\Delta \sigma}{2} - YS = \sum_{m=1}^n \frac{C_m}{\gamma_m} \tanh\left(\gamma_m \frac{\Delta \epsilon^p}{2}\right)$ gibi.
- Eğri uydurma işlemleri genellikle makul bir başlangıç değerlerinden faydalanır. C_1 ilk pekleşme modülü olduğundan, akma gerilmesinden sonraki eğim, C_1 'in bir başlangıç tahmini olarak alınabilmektedir. Önceki adımda belirlenen C_1/γ_1 ilişkisi ile de γ_1 in ilk değeri elde edilebilecektir.

Yukarıdaki işlemler bir adet döngü kullanılarak gerçekleştirilmekte ve C_1, γ_1 li terimler bulunabilmektedir. Ancak güvenilir bir şekilde nonlinear eğri uydurabil-



mek için en az üç adet deney (veya döngü) yapılması önerilmektedir.

Her ne kadar burada sadece Chaboche'nin α ifadesinin elde edilmesi anlatılmış ise de, Armstrong-Frederic, Yoshida-Uemori gibi α ifadesi elde edilebilecek sık kullanılan kinematik denklemler de mevcuttur. Bu çalışmamız sadece Chaboche'nin α ifadesinin elde edilmesi ile sınırlı tutulmuştur.

Genel kural olarak kinematik pekleşme; küçük deformasyona sahip döngüsel yükleme uygulamaları için kullanışlıdır. Burada plastik deformasyon, elastik deformasyon gibi ufak mertebelerdedir. Çok çok büyük plastik deformasyonlar oluşuyorsa ve dolayısıyla elastik deformasyonlar da ihmal edilebilir seviyede kalıyorsa, tasarımlarda genellikle maksimum deformasyon kapasitesi ile ilgileniriz. Bu gibi durumlarda ise izotropik pekleşme kuralları iyi sonuç verirler.

KOMBİNE PEKLEŞME KURALLARI

İzotropik ve kinematik pekleşme kurallarının aynı anda akma yüzeyi denkleminde uygulanması işlemidir. $\bar{\sigma}(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) - \sigma(h) = 0$ formülü ile yapılan pekleşme hesaplama işlemi, *kombine pekleşme kuralı* olarak adlandırılmaktadır. Böylece her farklı çevrimde akma yüzeyi, aynı anda hem genişleme/daralma gösterebilmekte hem de akma yüzeyinin orijini ötelenebilmektedir. Bu sayede de malzemedeki sadece Baushinger değil aynı zamanda da racheting/shakedown etkileri de elde edilebilmektedir.

Tek terimli Chaboche ifadesi ve Power fonksiyonunun birleştirilmesi ile Denklem (27a), Hollomon fonksiyonunun bileştirilmesi ile Denklem (27b) ve Krupskowski fonksiyonunun birleştirilmesi ile Denklem (27c) elde edilmektedir.

$$(\sigma_x)_{\text{çekme/basma}} = \pm[\sigma_A + K(\varepsilon^p)^n] + \frac{C}{\gamma} \left(\pm 1 \mp e^{\mp \gamma (\varepsilon_x^p)} \right) \quad (27a)$$

$$(\sigma_x)_{\text{çekme/basma}} = \pm[K(\varepsilon^p)^n] + \frac{C}{\gamma} \left(\pm 1 \mp e^{\mp \gamma (\varepsilon_x^p)} \right) \quad (27b)$$

$$(\sigma_x)_{\text{çekme/basma}} = \pm[K(\varepsilon_0 + \varepsilon^p)^n] + \frac{C}{\gamma} \left(\pm 1 \mp e^{\mp \gamma (\varepsilon_x^p)} \right) \quad (27c)$$

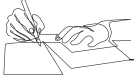
Birden fazla terimli Chaboche α ifadesi için de benzer bir mantık ile kombine kurallar oluşturulabilmektedir.

OPTİMİZASYON

Optimizasyonun matematiksel anlamı; bir fonksiyonun maksimumunu, minimumunu, kökünü veya herhangi bir noktasındaki değerini bulmak için, belirlediğimiz aralıklar içerisinde tekrarlı analizler yapılarak fonksiyonun o aralıklardaki değerlerini bulmak ve aralık içerisinden, tanımlanan amaca uygun olan değerleri seçme/belirleme işlemleridir.

Bir optimizasyon işleminde aşağıdaki yol takip edilmelidir;

- Dizayn değişkenlerinin belirlenmesi;
- “Amaç fonksiyonu” ve “kısıtların” tanımlanması



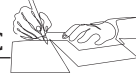
Optimizasyonumuzun amacı; Chaboche'nin α denkleminin katsayılarının (YS , C , γ) kalibrasyonunu sağlamak üzere "deneysel sonuçlar" ile "dinamik analiz simülasyon sonuçları"nın kıyaslamalarını yaparak simülasyon sonucunu, deneysel sonuca en yakın götürmekte olan katsayıların değerlerini seçmektir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada plastisite teorisinin üç temel hususundan biri olan pekleşme/yumuşama kuralları incelenmiştir. Bölümün başlangıcında, çokça kavram karışmasına neden olan tarifler detaylıca izah edilmiştir. İzotropik, kinematik ve kombine pekleşme kuralları örnekleriyle izah edilmiştir. Bu sayede okuyucunun, kavramın bütününden uzaklaşmaksızın detayda yapılanları da anlayabilmesine fırsat verilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Ludwik, P., *Elemente der Technologischen Mechanik*. 1909: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 59.
2. Hollomon, J.H., *Tensile Deformation*. Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 1945. **162**: p. 268-290.
3. Krupskowski, A., *Annales de L'Ac. Pol. des Sc. Techn*, 1946. **7**: p. 113.
4. Lstc(c). *LS-DYNA Theory Manual-Material Model 36: Barlat's 3-Parameter Plasticity Model*. 2018 [cited 2018 16.09.2018]; Available from: http://www.lstc.com/dynamat/pdfs/mat_036_theory.pdf.
5. Prager, W., *Recent developments in the mathematical theory of plasticity*. Journal of Applied Physics, 1949. **20**(3): p. 235-241.
6. Ziegler, H., *A modification of Prager's hardening rule*. Quarterly of Applied Mathematics, 1959. **17**(1): p. 55-66.
7. Armstrong, P.J. and C.O. Frederick, *A Mathematical Representation of the Multiaxial Bauschinger Effect*. 1966, CEBG Report, RD/B/N731, Berkeley Nuclear Laboratories. .
8. Chaboche, J.L., *Time-independent constitutive theories for cyclic plasticity*. International Journal of Plasticity, 1986. **2**(2): p. 149-188.
9. Chaboche, J.L., *Constitutive-Equations for Cyclic Plasticity and Cyclic Viscoplasticity*. International Journal of Plasticity, 1989. **5**(3): p. 247-302.
10. Sharcnet(c). *32.2. Modeling*. 2018; Available from: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/ans_tec/teccurvefitchabmodel.html.
11. Novak, J.S., et al., *Estimation of Material Parameters in Nonlinear Hardening Plasticity Models and Strain Life Curves for CuAg Alloy in International Conference on Materials, Processing and Product Engineering 2015 (MPPE 2015)*, S. Eck, A. Ludwig, and R. Ebner, Editors. 2019, IOP Publishing Ltd: ongress Center of Leoben.



CHAPTER 13

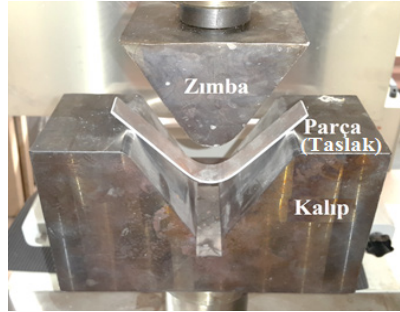
ÖRNEK BİR UYGULAMA İLE GERİ ESNEME İŞLEMİNİN SONLU ELEMENLAR ANALİZİ

İlyas KACAR, Süleyman KILIÇ

GİRİŞ

İmalat sanayinde en sık başvuruluan yöntemlerden biri sac metal şekillendirme işlemidir. Ancak doğası gereği sac şekilli parçalar çok yüksek anizotropi değerine sahiptirler. Bu durum sac metal şekillendirme esnasında uygulanan plastik deformasyonun homojen olmamasına ve dolayısıyla da imalat parametre tahminlerinin daha zor olmasına yol açmaktadır.

Bu çalışmada; bir plastik deformasyon işlemi içermesinden dolayı *bükme* işlemi ele alınmıştır. Deneysel olarak sıklıkla tercih edilen 60°'lik V kalıpta bükme işlemi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Bükme işlemleri neticesinde karşılaşılan geri esneme miktarı sonlu elemanlar analiz programları yardımıyla analiz edilerek, deneysel elde edilmiş olan verilerle kıyaslanmıştır. Sac metal şekillendirme işlemlerinde sıklıkla karşılaşılan problemler; geri esneme, yırtılma, kırılma, kulaklanma olarak sıralanabilmektedir. Çalışma kapsamında V bükme işlemi neticesinde oluşan geri esnemenin tahmin edilebilmesinde, farklı **pekleşme kuralları** ve **eleman sayısının** etkileri araştırılmıştır.



Şekil 1: V kalıpta bükme işlemi. Bükme işleminde, bükülecek iş parçasına, taslak adı da verilebilmektedir

GERİ ESNEME

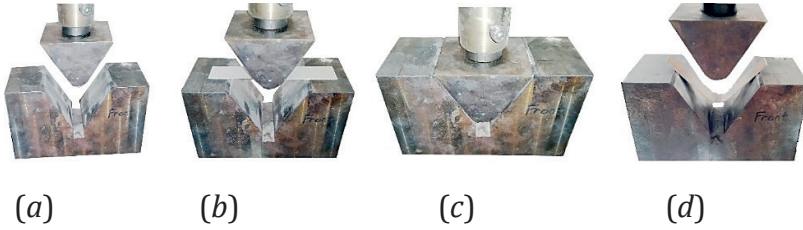
Geri esneme, sac metal deformasyon işçiliğinde karşılaşılan bir hata türüdür. Çoğu sac metal şekillendirme işleminde, amaçlanan geometrik şekil, çeşitli malzeme ve işlem parametrelerine bağlı olarak tam olarak elde edilemez. Geometrik doğruluk, yükün boşaltılması esnasında, elastik toparlanma sonucu ortaya çıkan *geri esneme* nedeni ile bozulur.

Geri esneme, bir malzemenin imalatı sırasında oluşan şekil değiştirmelerin

elastik kısmının, yüklemeyi kaldırdıktan sonra “eski haline geri dönmek istemesi”nin neden olduğu bir tür geometrik bozulma olarak tanımlanabilir. Temelde; elastiklik modülü (E), akma gerilmesi (σ_0), pekleşme katsayısı (n), sıcaklık (T) ve şekil değiştirme oranı hassasiyeti (ϵ_m) gibi malzeme özellikleri olmak üzere pek çok parametre geri esneme miktarını etkilemektedir.

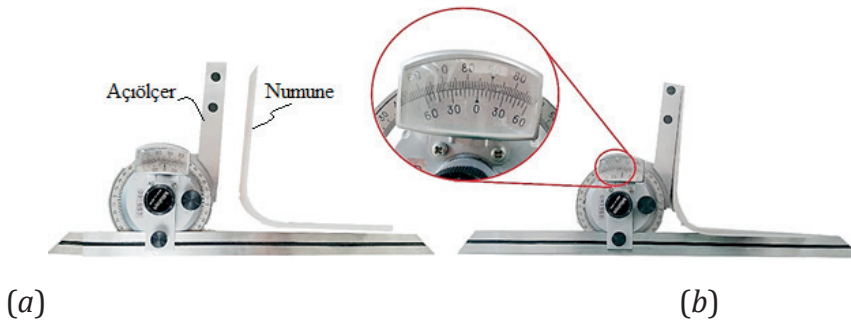
Geri esneme, malzeme türüne ve dolayısıyla da elastiklik modülüne bağlıdır. Young modülündeki artışla geri esneme artar. Pekleşme katsayısı arttıkça akma noktası yükselir, geri esneme miktarı da artar. Parçada ön deformasyon varken, geri esneme daha da artmıştır. Zımba ucu yarıçapı arttıkça geri esneme artmaktadır. Dişi-erkek kalıp arasındaki boşluk arttıkça geri esneme artmaktadır. Tutucu kullanıldığında, tutucu kuvveti arttıkça geri esneme bir değere kadar azalmaktadır. Sıcaklık arttıkça yapının akma noktası düşer ve dolayısıyla da geri esneme azalır.

Geri esneme deneylerinde 30x200 mm ebadında dikdörtgen şekilli sac numuneler kullanılmaktadır. Sac kalınlığı istendiği gibi alınabilmektedir. Deneylerde sıklıkla V bükme, U bükme işlemi yapılmaktadır. Şekil 2’de bir V bükme deney metodu izah edilmiştir. Takımların imalat yöntemi olarak başlangıç boyutlarına haiz bir kütük üzerine *tel erozyon* yöntemi ile kalıp boşluğu açılır ve bu sayede hem dişi kalıp hem de bire bir aynı açı değerlerine sahip erkek kalıp aynı anda üretilmiş olur.

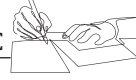


Şekil 2: Geri esneme deneylerinde kullanılan V -bükme takımları ve deney yöntemi. (a) V bükme için 60°'lik dişi ve erkek kalıpların pres tezgâhına bağlanması (b) Numunenin yerleştirilmesi (c) Zımbanın kapanması (d) Zımbanın geri çekilmesi.

Geri esneme, açı birimindedir. Ölçmek için hassas açıölçerler kullanılmaktadır. Şekil 3’de ölçüm tekniği gösterilmiştir. 60° açıda bir bükme yapmamıza rağmen, şekilden anlaşılacağı üzere; 84°'ye geri dönme olmuştur.



Şekil 3: Geri esnemenin ölçülmesi (a) Numunenin her iki yüzeyinin açıölçerinin cetvellerine dayanması (b) Açının okunması.



Netice olarak, geri esnemenin belirlenmesi hem elastik hem de plastik deformasyonun çok hassas bir şekilde tahmin edilmesini gerektirmektedir.

MALZEME VE YÖNTEM

Çekme deneyi sonucu mühendislik olarak elde edilen dataların gerçek değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Tablo 1'de BH300 çeliği için çekme deneyi verilerinden $\sigma_{gerçek}$ ve $\epsilon_{gerçek}^p$ değerlerinin elde edilmesi gösterilmiştir.

Tablo 1: BH300 çeliği çekme deneyi verilerinden, $\sigma_{gerçek}$ ve $\epsilon_{gerçek}^p$ değerlerinin elde edilmesi ($E=207$ GPa)

Müh. Ş.D.	Müh. gerilme	Gerçek Ş.D.	Gerçek gerilme	Elastik Ş.D.	Plastik Ş.D.
$\epsilon_{müh}$	$\sigma_m, \epsilon_{gerçek} = \ln(1 + \sigma_{gerçek})$		$\sigma_{müh} = (\epsilon_{gerçek})^{elastik} + (\epsilon_{gerçek})^{plastik}$		$\epsilon_{gerçek}^{plastik} = (\epsilon_{gerçek}) - (\epsilon_{gerçek})^{elastik}$
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,002	346,69	0,001998003	347,38338	0,00168	0,000318003
0,004	353,94	0,003992021	355,35576	0,00172	0,002272021
0,006	360,57	0,005982072	362,73342	0,00175	0,004232072
0,008	366,68	0,00796817	369,61344	0,00179	0,00617817
0,01	372,37	0,009950331	376,0937	0,00182	0,008130331
0,012	377,68	0,011928571	382,21216	0,00185	0,010078571
0,014	382,67	0,013902905	388,02738	0,00187	0,012032905

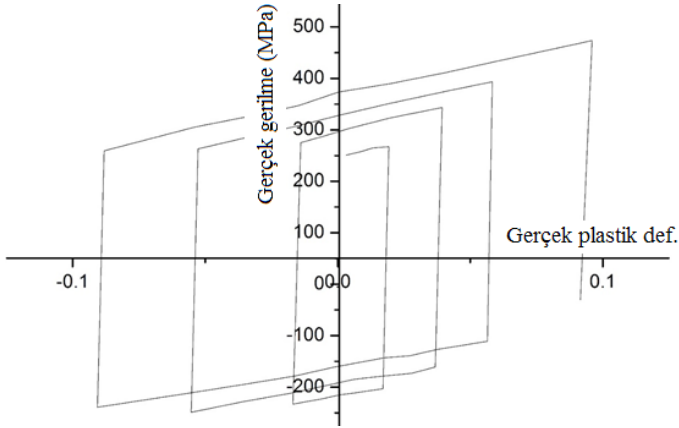
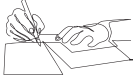
Kurduğumuz plastisite modelini uygulamak için malzeme olarak BH300 çeliği incelenmiştir. Bu malzeme, BH (Fırında Sertleşen Çelik) grubunda olup, pekleşme ve yaşlandırma nedenleri ile şekillendirme sonrası mukavemet artışı gösteren düşük karbonlu, soğuk şekillendirilebilir bir çelik türüdür. Genellikle levha şeklinde üretilmektedir. Sıcaklığın artırılması, yaşlandırma sürecini hızlandırır. BH işaretinden sonraki rakamlar MPa biriminde akma mukavemetini göstermektedir. Örneğin BH300 serisinin akma mukavemeti 300 MPa civarındadır. Malzemeye ait mekanik özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: BH300 çeliği mekanik özellikleri [1]

Yoğunluk	Young modülü	Poisson oranı	Akma Muk.	Çekme Muk.
7,85 gr/cm ³	207 GPa	0,28	307 MPa	414 MPa
M	R_0	R_{45}	R_{90}	Kalınlık
6	1,09	0,8	1,43	1 mm

Chaboche α denklemi parametrelerinin belirlenmesi

BH300 için dört adet çevrimin uygulandığı bir çekme-basma grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Kolaylık olması için dört adet çevrim aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Her birinin deformasyon miktarları farklıdır fakat simetriktir.



Şekil 4: BH300 için simetrik, deformasyon kontrollü, stabilize çekme-basma döngüleri. Data üzerine düzgünleştirme işlemi uygulanmıştır. Simetrik data eklenmiştir [2].

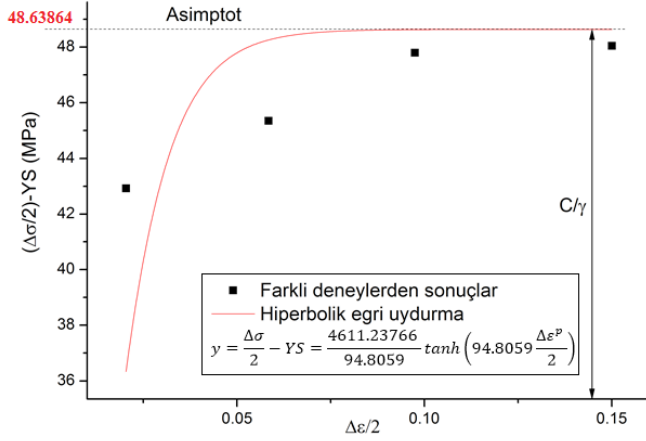
Dört çevrim için grafik üzerinde yapılan okumaların neticesi Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Her döngü için hesaplanan YS , $\Delta\epsilon^p/2$ ve $\frac{\Delta\sigma}{2}$ değerleri

	YS (MPa)	$\Delta\epsilon^p$	$\Delta\sigma$ (MPa)	$\frac{\Delta\epsilon^p}{2}$	$\frac{\Delta\sigma}{2} - YS$ (MPa)
1.çevrim	277,0	0,04076	639,45	0,02038	42,93
2.çevrim	377,5	0,11680	845,70	0,05840	45,35
3.çevrim	433,3	0,19490	962,20	0,09745	47,80
4.çevrim	481,6	0,30010	1059,29	0,15005	48,05

Tablodan anlaşılabacaktır ki, her çevrimde YS değeri sabit değildir, artmaktadır. Eğer sabit kalsaydı sadece kinematik pekleşme oluşmuştur denilebilirdi. Ancak her bir çevrimde artmanın görülmesi, BH300 malzemesinin gerçekte sadece kinematik pekleşme değil aynı zamanda izotropik pekleşme de gösterdiğini kanıtlamaktadır.

Tablodaki değerleri, dikey eksende $\frac{\Delta\sigma}{2} - YS$ ve yatay eksende $\frac{\Delta\epsilon^p}{2}$ olacak şekilde bir grafik üzerinde gösterelim. Unutmayalım $\Delta\epsilon^p$ değeri, σ, ϵ grafiğindeki deformasyon ekseninin hem sağ hem de solu arasındaki fark olarak okunduğu için, şimdiki grafiğe aktarırken yarıya bölmekteyiz. Benzer şekilde gerilmenin de $\Delta\sigma$ yarisını alıyoruz. Ancak unutulmamalıdır ki, çekme deneyi verisi kullanılıyorsa, ardışık her iki satır arasındaki fark zaten ϵ^p ve σ nin kendisine eşit olacaktır. Uydurulan asimptotik eğri fonksiyonu ve elde edilen katsayılar Şekil 5 üzerinde görülmektedir.



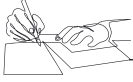
Şekil 5: Uydurulan asimptotik eğri fonksiyonu. Eğrinin asimptotu 48,63864, $C_I=4611,23766$ ve $\gamma_I=94,8059$.

Ayrıca eğer, herhangi bir çevrimi, örneğin ilk çevrimi ele alsaydık, el ile de C_I , γ_I li terimlerini bulabilecektik. C_I ilk pekleşme modülü olduğundan, akma gerilmesinden sonraki eğim (Şekil 12 de detayda gösterilmiştir), C_I 'in ilk tahmini değeri olarak $C_I=4614.78$ okunmuştur. İlk çevrimdeki $\frac{\Delta \epsilon^P}{2} = 0,02038$ ve $\frac{\Delta \sigma}{2} - YS = 42,93$ MPa değerleri, $\frac{\Delta \sigma}{2} - YS = \frac{C_I}{\gamma_I} \tanh\left(\gamma_I \frac{\Delta \epsilon^P}{2}\right)$ denkleminde kullanılarak $\gamma_I = 54.28$ olarak bulunmuştur. Hesaplama diğ er çevrimler de alınabilirdi. Ebet-teki tablodaki bütün değerleri kullanıp eğri uydurma işlemi yaparak daha doğru değerler bulunacaktır. Modelden elde edilen gerilme tahmini değerleri Tablo 4' te ve elde edilen bu değerlerin grafiği ise Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'da YS değeri 370 MPa olarak okunmuştur. YS değeri monotonik çek-medeki değerinden (307 MPa) daha yüksek çıkmıştır. Gerçekte malzeme sadece kinematik pekleşme göstermemekte, hem izotropik hem de kinematik pekleşme nedeni ile akma gerilmesi değeri YS bir çevrimden bir sonraki çevrimde artım göstermektedir. Veri olarak dördüncü çevrimi almış olmamız ve zaten bu çev-rime kadar malzemede kinematik pekleşmenin yanı sıra gerçekte beraberinde gelişen izotropik pekleşme nedeni ile de YS değeri artmıştır (Başlangıçta 307 MPa idi). İzotropik pekleşmede hatırlayınız, artışlar hem çekme hem de basma kısımlarında simetrik olmalıydı.

Tablo 4: BH300 için simetrik, deformasyon kontrollü, stabilize bir çekme basma deneysel değerleri ve model değerleri

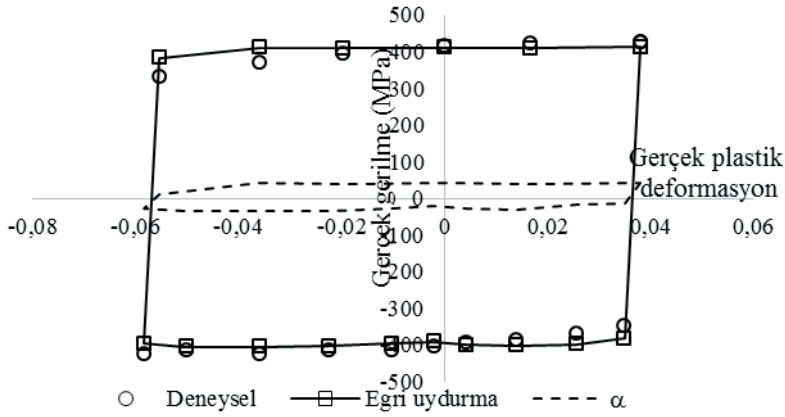
Deneysel		Chaboche Modelinden	
Plastik def. ϵ^P	Gerilme (MPa)	$\alpha^{(*)}$ (MPa)	Eşdeğer gerilme (MPa) (**)
0,03800	427,00	42,28	412,28
0,03494	-348,99	-12,26	-382,26
0,02557	-367,71	-15,76	-398,65
0,01385	-386,42	-32,65	-402,65



0,00415	-393,84	-29,27	-399,27
-0,00209	-403,37	-21,73	-391,73
-0,01040	-416,44	-26,45	-396,45
-0,02247	-416,44	-33,23	-403,23
-0,03594	-427,00	-35,10	-405,10
-0,05013	-416,44	-35,99	-405,99
-0,05840	-427,00	-26,45	-396,45
-0,05530	329,66	12,26	382,26
-0,03594	370,97	40,93	410,93
-0,01970	393,57	38,20	408,20
-0,00001	414,05	41,16	411,16
0,01659	423,58	38,58	408,58
0,03800	427,00	42,28	412,28

(*) Gerilme sütunundaki değerler pozitif iken $\alpha = \frac{4611,23766}{94,8059} (1 - e^{-94,8059(\epsilon^2)})$ formülü ve negatifken $\alpha = \frac{4611,23766}{94,8059} (-1 + e^{94,8059(\epsilon^2)})$ formülü kullanılmıştır.

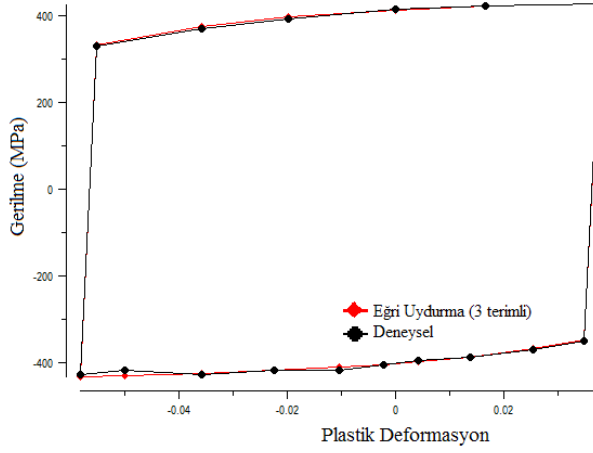
(**) Gerilme sütunundaki değerler pozitif iken $(\sigma_x)_{\text{çıkma}}$ formülü ve negatifken $(\sigma_x)_{\text{giriş}}$ formülü kullanılmıştır.



C_1	4611,23766	γ_1	94,8059	YS	370 MPa
-------	------------	------------	---------	------	---------

Şekil 6: BH300 çeliği için bir terimli α denkleminin katsayılarının (C, γ) tahmini

Chaboche denklemi için eğri uydurma özelliğine sahip yazılımlar da mevcuttur. Ancak unutulmamalıdır ki, Chaboche denklemi hem nonlineer olması hem de terim sayısının fazla olabilmesi nedeni ile eğri uydurmak için çok yaygın bir fonksiyon değildir. Şekil 7 de ise üç terimli bir Chaboche modeli durumunda, Ansys® MAPDL de mevcut eğri uydurma özelliği kullanılarak elde edilen parametreler ve tahmin eğrisi, deneysel noktalar ile birlikte verilmiştir [3].



C_1	532,484305704	C_2	532,518037593	C_3	532,518879475
γ_1	23,600686557	γ_2	27,5218188984	γ_3	27,6194662471
$YS=376,926374333$ MPa					

Şekil 7: BH300 çeliği için üç terimli Chaboche α denkleminin tahmini

Kombine pekleşme kurallarının uygulanması

Tek terimli Chaboche ifadesi ile Power fonksiyonunun birleştirilmesi ile Denklem (1a), Hollomon fonksiyonunun bileştirilmesi ile Denklem (1b) ve Krupskowski fonksiyonunun birleştirilmesi ile Denklem (1c) elde edilmektedir.

$$(\sigma_x)_{\text{çekme/basma}} = \pm(\sigma_A + K(\varepsilon^p)^n) + \frac{C}{\gamma} \left(\pm 1 \mp e^{\mp \gamma (\varepsilon_x^p)} \right) \quad (1a)$$

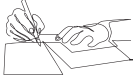
$$(\sigma_x)_{\text{çekme/basma}} = \pm(K(\varepsilon^p)^n) + \frac{C}{\gamma} \left(\pm 1 \mp e^{\mp \gamma (\varepsilon_x^p)} \right) \quad (1b)$$

$$(\sigma_x)_{\text{çekme/basma}} = \pm(K(\varepsilon_0 + \varepsilon^p)^n) + \frac{C}{\gamma} \left(\pm 1 \mp e^{\mp \gamma (\varepsilon_x^p)} \right) \quad (1c)$$

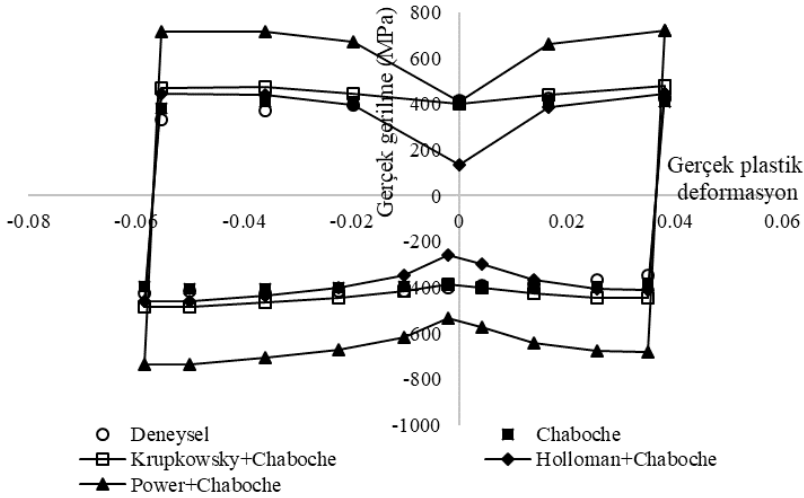
Bu denklemler kullanılarak elde edilen tahmin değerleri Tablo 5’de listelenmiş ve gerilme, şekil değiştirme eğrileri ise Şekil 8’de kıyaslamalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 5: Kombine pekleşme kuralının uygulanması neticesinde elde edilen gerilme tahmin değerleri

ε^p	$\sigma_{\text{gerçek}}$ (MPa)	α (MPa)	σ -Chab. (MPa)	σ -Power (MPa)	σ -Hollo. (MPa)	σ -Krup. (MPa)	σ -Chab. + Power (MPa)	σ -Chab. + Hollo. (MPa)	σ -Chab. + Krup. (MPa)
0,03800	427,00	42,28	412,28	677,22	403,22	435,10	719,49	445,49	477,38
0,03494	-348,99	-12,26	-382,26	671,17	397,17	430,88	-683,42	-409,42	-443,13

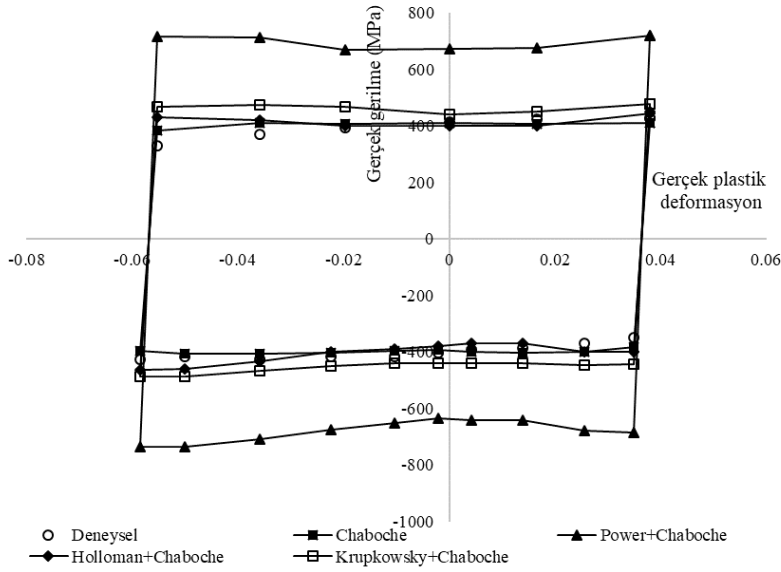


0,02557	-367,71	-15,76	-398,65	649,46	375,46	416,62	-678,11	-404,11	-445,27
0,01385	-386,42	-32,65	-402,65	610,23	336,23	394,91	-642,88	-368,88	-427,56
0,00415	-393,84	-29,27	-399,27	544,66	270,66	371,62	-573,93	-299,93	-400,89
-0,00209	-403,37	-21,73	-391,73	513,22	239,22	365,71	-534,96	-260,96	-387,44
-0,01040	-416,43	-26,45	-396,45	593,11	319,11	387,25	-619,56	-345,56	-413,70
-0,02247	-416,43	-33,23	-403,23	640,83	366,83	411,37	-674,06	-400,06	-444,60
-0,03594	-427,00	-35,10	-405,10	673,19	399,19	432,28	-708,29	-434,29	-467,38
-0,05013	-416,43	-35,99	-405,99	697,83	423,83	450,23	-733,82	-459,82	-486,23
-0,05840	-427,00	-26,45	-396,45	709,64	435,64	459,36	-736,09	-462,09	-485,81
-0,05530	329,66	12,26	382,26	705,44	431,44	456,08	717,70	443,70	468,33
-0,03594	370,97	40,93	410,93	673,19	399,19	432,28	714,12	440,12	473,22
-0,01970	393,57	38,20	408,20	632,34	358,34	406,46	670,55	396,55	444,66
-0,00001	414,05	41,16	411,16	367,18	93,18	359,26	408,35	134,35	400,42
0,01659	423,58	38,58	408,58	621,33	347,33	400,48	659,92	385,92	439,06
0,03800	427,00	42,28	412,28	677,22	403,22	435,10	719,49	445,49	477,38



Şekil 8. Kombine pekleşme kuralının uygulanması neticesinde elde edilen gerilme tahmin değerlerinin grafikleri

Sonlu eleman simülasyonlarına, malzeme plastik datası eğer tablo şeklinde girilecekse, yazılımlar, çok satırlı verilerdeki eğimin pozitif olmasını gerektirmektedir. Ayrıca kinematik pekleşme durumunda da, *iki data noktası arasındaki çizgi segmentinin eğimi, önceki segmentin eğiminden daha büyük olamaz*. Bu kısıtlama izotropik pekleşme halinde mevcut değildir. Bu nedenle, simülasyon esnasında hata almamak için yukarıdaki tablo/şekil, eğimler negatif olmayacak tarzda Şekil 9'da görüldüğü gibi yeniden düzenlenmelidir.



Şekil 9: Eğrilerdeki noktalar arası uygunsuz eğimlerin giderilmesi

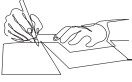
Şekilde görülen eğrilerden *Krupkowski+Chaboche* ile oluşturulan kombine pekleşme kuralının, deneysel değerlere diğer kombine pekleşme kurallarınınkindene göre daha yakın sonuç verdiği görülmektedir.

SONLU ELEMAN SİMÜLASYONLARI

Sonlu eleman analizleri, fiziksel gerçekliği mümkün olduğunca modelleyerek aranan değeri sayısal iterasyonlar ile bulmaya yarayan simülasyonlardır. $60^\circ V$ bükme işlemindeki fiziksel olay, kalıp sabit dururken zımbanın taslak parçasını eğmeye çalışmasıdır. Bu işlem; taslak malzemesinde büyük deformasyonların oluşması, malzemede plastik akmanın mevcudiyeti ve kalıp-taslak-zımba temas ara yüzlerinde sürtünmeli kontakların olmasından dolayı hayli nonlineer bir analiz gerektirmektedir. Sonuçların hassasiyeti; en çok, kurduğumuz plastisite modelinin parametrelerine bağlıdır. Buna ilave olarak nonlineer analizde yakınsama problemlerinin olmaması için de yükleme adımlarının, eleman ve temas parametrelerinin dikkatli seçilmesi gerekmektedir.

Deneysel verilere uyguladığımız nonlineer regresyon işlemleri neticesinde elde etmiş olduğumuz malzeme plastisite modelinin katsayıları, herhangi bir plastik deformasyon içeren prosesin (V bükme, derin çekme vs...) sonlu eleman simülasyonunda kullanılarak, olayın kendine özgü olan herhangi bir ölçülebilen sonucu (maksimum gerilme/şekil değiştirme, geri esneme, Baushinger etkisi, ratcheting/shakedown vs..) için deneysel ölçüm sonucu/simülasyon tahmini değerleri arasında kıyaslama yapılmalı, bu esnada simülasyon sonuçlarının deneysel sonuçlara uyumlu olmasını sağlamak amacıyla katsayılar bir kalibrasyon işlemi uygulanmalıdır.

Kalibrasyon için en yaygın kullanılan yöntem; deneysel geri esneme değerleri



ile simülasyon neticesinde elde edilen geri esneme tahminlerinin birbirleri ile bir optimizasyon işlemi sayesinde kıyaslanması/kalibre edilmesidir. Optimizasyon modülleri, kullanmakta olduğumuz sonlu eleman analiz yazılımları içerisinde zaten bulunmakta ve dolayısıyla da modülün simüle ettiğimiz plastik deformasyon işlemini içeren implicit/explicit dinamik analizimizdeki katsayılar için optimum değerleri, bizim istediğimiz alt/üst sınırlar içerisinde tekrar tekrar analiz etmek sureti ile tespit etmesi, daha pratik olduğundan dolayı yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Bu bağlamda sırasıyla;

- öncelikle 60° v bükme işleminin sonlu eleman simülasyonu için bir *dinamik analiz*
- ve sonra da parametrelerin kalibrasyonu için *optimizasyon*

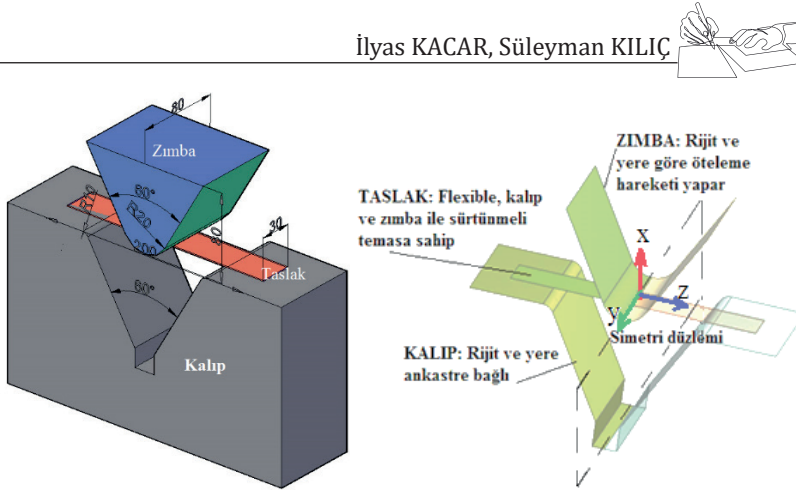
işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Dinamik Analiz

Zamana bağlı olan durumlar, transient olarak adlandırılırlar. Transient (geçiş) dinamik analiz, zamanla değişen yük altında bir yapının dinamik cevabını belirlemek için kullanılan bir tekniktir. Analiz programlarında dinamik analizler, “transient (geçiş) analizler” veya “time-history analysis” olarak ta adlandırılabilirler.

Esasen bir sonlu eleman analizi, her bir elemanda kurulmuş olan diferansiyel denklem içerikli bir dinamik modelin sayısal yöntemlerle iteratif olarak çözülmesi işlemini kapsamaktadır. Dinamik modelimizin çözüm sonuçları (mesela gerilme, şekil değiştirme vs...); hem her bir elemanın üzerlerindeki koordinatlara (x, y, z) hem de zamana (t) bağlıdır. Değişkenlerden birisi zaman olan birden fazla değişkene bağlı böylesi diferansiyel denklemler için kapalı (implicit) ve açık (explicit) olarak adlandırılan iki tip sayısal çözüm yöntemi mevcuttur. Kapalı yöntemde, her iterasyon içerisinde denklemin hem konum hem de zaman çözümü aynı anda yapılır. Açık çözümde ise, önce tüm konumlar için iteratif çözümler yapılır, iterasyonlar tamamlandıktan sonra zaman değerleri halihazırda tüm konumlar için bulunmuş olan bu çözüm denklemlerinin üzerine entegre edilir. Kapalı yöntemlerde aynı anda birden fazla değişkenin çözümü yapılmaya çalışıldığından dolayı nonlinear problemlerin çözümünde yakınsama ile ilgili problemlerle karşılaşabilmektedir.

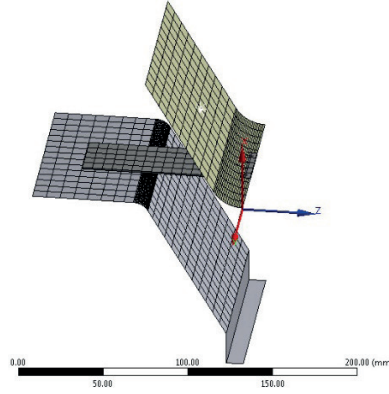
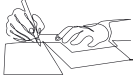
Analizde v bükme işlemine uygun olarak Şekil 10'daki geometri kullanılmıştır. Taslak cismi, zımba ve kalıp ile sürtünmeli (0,125) temaslara sahiptir. Hem zımba-kalıp hem de taslak cisimleri, kalınlığı 1 mm olan yüzeysel geometriler olarak tanımlanmıştır. Taslak, shell tipi elemanlar ile eleman ağı oluşturulmuştur. Analiz esnasında numunenin aşağı-yukarı ve sağa-sola hareketi serbest bırakılırken, rijit cisim hareketi yapmasın diye uzun kenarlarından birinin ileri-geri hareketi (y doğrultusundaki yer değiştirmesi) analiz boyunca sıfır olarak kısıtlanmıştır.



Şekil 10: Bükme işlemi. Kalıp sabit dururken zımba parçayı eğmeye çalışmaktadır. Kalıp ve zımba rijit (deforme olmayan) eleman olarak modellenmiştir.

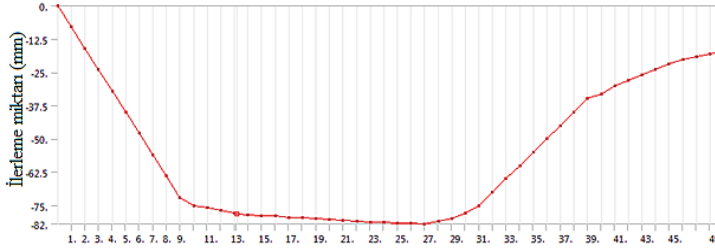
Sonlu eleman modeli oluşturulurken zımba ve kalıp geometrileri rijit, taslak ise esnek olarak tanımlanmıştır. Rijit cisim, bir kuvvete maruz kaldığında deformasyona uğramaz! Yük uygulamadan önce ve sonra, yük uygulanan noktaların aralarındaki mesafeler sabit kalır, cisim şekil değiştirmez (Mukavemet açısından düşünülürse, deformasyon oluşmaz, şekil değiştirme enerjisi oluşmaz). Cisim üzerine etkiyen yükler incelenecekse, rijit cismin olduğu kabul edilecek herhangi bir cismin, malzeme özellikleri (elastiklik modülü, yoğunluk, malzeme modeli vs... gibi) dikkate alınmak zorunda değildir. Bu nedenle analizler esnasında rijit olarak tanımlanan cisimlere mesh uygulanmaz. Eğer temas var ise sadece temas yüzeylerinde geçici olarak elemanlar oluşturulur. Bu açıdan rijit cisim kabulü analizlerde kolaylık-hızlılık sağlar. Bu nedenle geometrimizin içerisindeki rijit cisimler (kalıp, zımba) rahatlıkla kendi dış şekillerine haiz yüzeyler olarak çizilebilmektedir zira ister kütle olsun ister ince cisim olsun, rijit olduğu sürece kesinlikle üzerlerine herhangi bir deformasyon yapılamayacaktır.

Analizi zaman ve hassasiyet açısından kolaylaştıran bir diğer uygulama ise, eğer var ise simetrilik tanımlanmasıdır. Geometrimiz Şekil 20'de gösterilen düzleme göre bir adet simetrilik içerdiğinden dolayı analiz esnasında yarım kesit kullanılmıştır. Şekil 11 de elemanlarına bölünen yarım simetrik model verilmiştir. Elemanlar quadrilateral elemanlardır. Quadrilateral elemanların temas algılama kabiliyeti diğer elemanlara göre daha iyidir.



Şekil 11: Yarım simetrik model ve eleman ağı. Koordinat eksen takımının yeri şekilde görüldüğü gibi zımbanın ön yüzünde ve ucundadır.

Kalıp zemine ankastre bağlı olarak, zımba ise tek eksenli ilerleme hareketi yapacak şekilde modelleme yapılmıştır. Zımba ilk hızı 500 mm/dak olarak uygulanmıştır. Daha sonra zımbaya 82 mm aşağı yönlü (-x) ilerleme hareketi 50 adımda uygulanmıştır. Uygulanan ötelemenin yük adımları Şekil 12’de verilmiştir. Her bir yük adımının süresi eşit ve 1 saniyedir. Elementlerde aşırı distorsiyon oluşmaması, çözümün yakınsaması için bazı yük adımları yavaş yavaş uygulanmıştır. Taslak temas yüzeylerine, diğerlerine göre daha sık mesh uygulanmıştır.

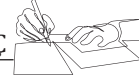


Şekil 12: Zımbanın hareketini oluşturan ilerleme yük adımları

Analizler;

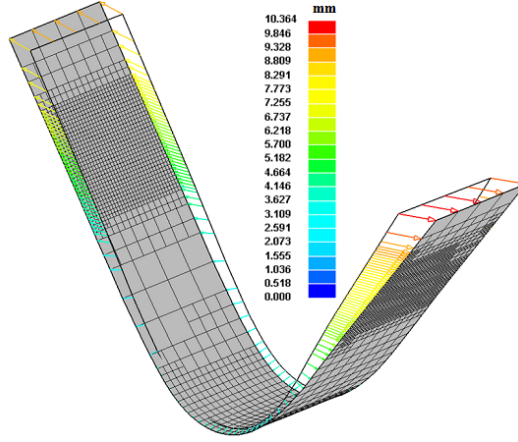
- Deneyisel data (Şekil 5, Tablo 5) +Barlat89 akma kriteri+ilişkili akış kuralı,
- İzotropik pekleşme kuralları (Denk. 1-3, 10b)+Barlat89 akma kriteri+ilişkili akış kuralı (Bu plastisite modeli, kimi analiz programında “36 numaralı kart” olarak geçmektedir),
- Kinematik pekleşme kuralı (Chaboche, Denk 19a, b)+Hill48 akma kriteri+ilişkili akış kuralı

olmak üzere farklı plastisite modelleri kullanılarak tekrarlanmıştır. Kombine pekleşme kuralları uygulanmamıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

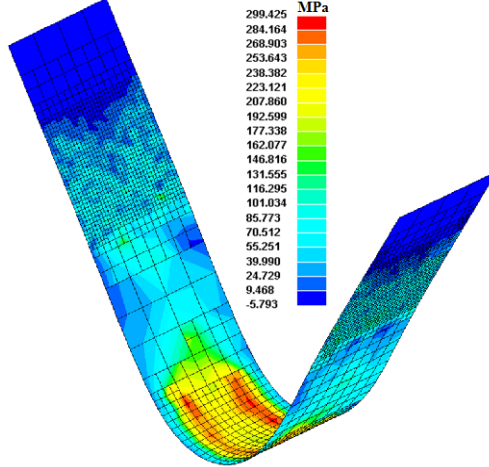


Dinamik Analiz Sonuçları

Plastisite modeli olarak deneysel veri kullanıldığında; Şekil 13'deki geri toparlanma ve Şekil 14'teki gerilme dağılımı elde edilmiştir. Bütün gerilme dağılım grafikleri, zımba 82 mm inip alt noktaya ulaştığı an olan gerilmenin de maksimum olduğu andaki değerleri göstermektedir. Geri esneme değerleri ise zımba strok sonunda tekrar yukarı kalkıp, numunenin serbest kaldığı, analizin en son adımındaki taslak şekli üzerinden hesaplanmıştır.

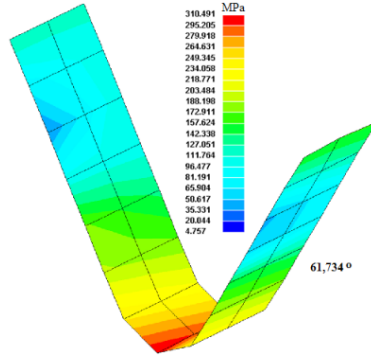
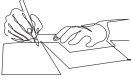


Şekil 13: Taslakta meydana gelen açı değişimi (derece)

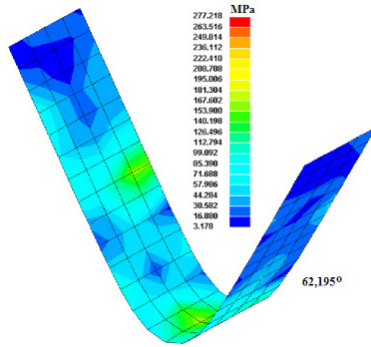


Şekil 14: Analiz sonucu oluşan gerilme dağılımı (MPa)

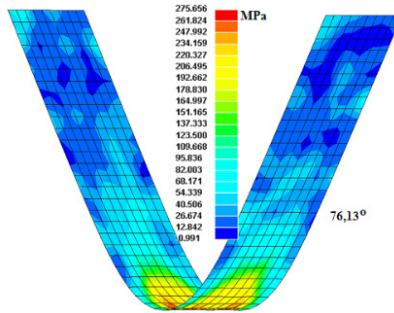
Deneysel veri kullanılarak yapılan v bükme analizinde; element sayısının çözüm sonuçları üzerine etkisini görmek için Şekil 15'te farklı eleman sayıları kullanılarak yapılan analizlerin gerilme, geri esneme sonuçları verilmiştir. Geri esnemenin açı değerleri şekil üzerine yazılmıştır. Beklendiği gibi eleman sayısının artması ile deneysel değerlere daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ancak elbette ki çözüm süresi artmaktadır.



(a) 28 eleman sayısındaki analiz sonucu



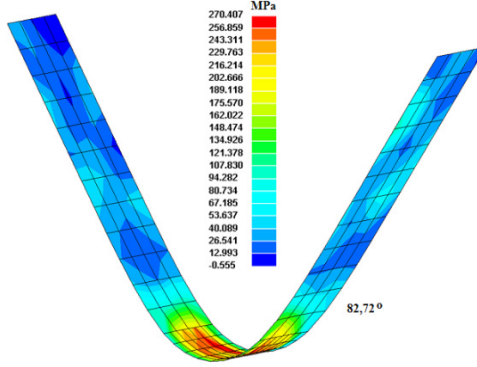
(b) 112 eleman sayısındaki analiz sonucu



(c) 504 eleman sayısındaki analiz sonucu

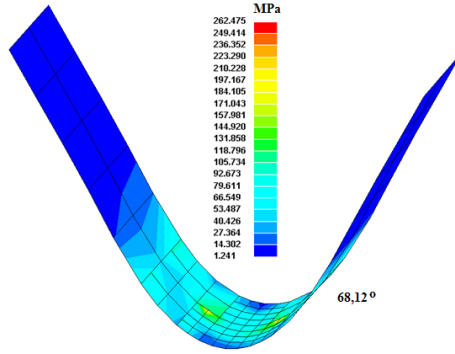
Şekil 15: Farklı eleman sayılarında elde edilen gerilme dağılımı (MPa) ve geri esneme ($^{\circ}$) miktarları

Eleman sayısı değiştiğinde sonuçlar değişmektedir. Bu nedenle kıyaslamaların sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için şartlar tüm analizlerde sabit tutulmuştur. Şekil 16'daki gibi deneyisel data kullanılarak adaptif mesh durumunda elde edilen gerilme, geri esneme sonucu verilmiştir. Farklı plastisite modellerinin analizleri bu ayarlara sadık kalınmış ve böylece kıyaslamalar aynı analiz şartları altında yapılmıştır.



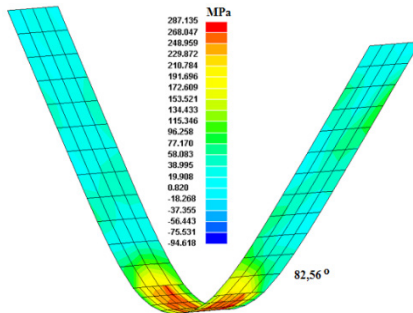
Şekil 16: Adaptif mesh durumunda elde edilen gerilme dağılımı (MPa) ve geri esneme ($^{\circ}$) miktarları

Plastisite modeli olarak; “izotropik pekleşme kuralı (Hollomon)+Barlat89 akma kriteri+ilişkili akış kuralı” kullanıldığında elde edilen gerilme, geri esneme sonuçları Şekil 17’de görülmektedir.

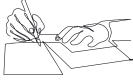


Şekil 17: İzotropik pekleşme kuralı için Hollomon akma eğrisi kullanıldığında elde edilen gerilme dağılımı (MPa) ve geri esneme ($^{\circ}$) miktarları

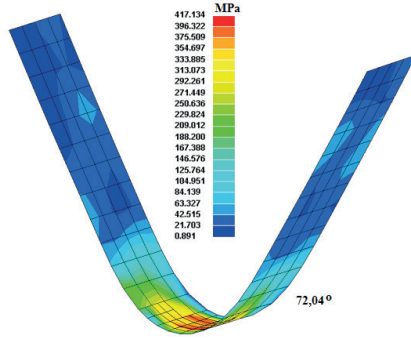
Plastisite modeli olarak; “izotropik pekleşme kuralı (Krupskowski)+Barlat89 akma kriteri+ilişkili akış kuralı” kullanıldığında elde edilen gerilme, geri esneme sonuçları Şekil 18’de görülmektedir.



Şekil 18: İzotropik pekleşme kuralı için Krupskowski akma eğrisi kullanıldığında elde edilen gerilme dağılımı (MPa) ve geri esneme ($^{\circ}$) miktarları

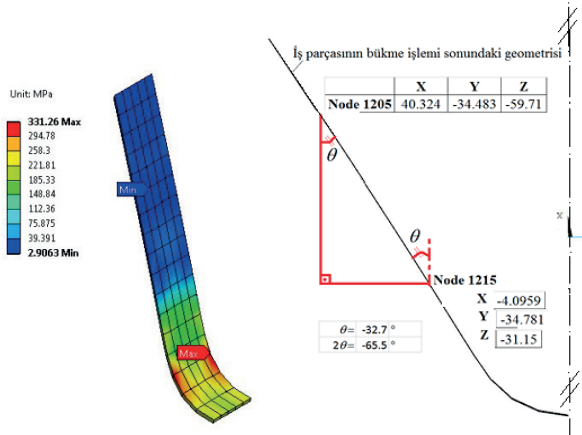


Plastisite modeli olarak; “izotropik pekleşme kuralı (Power)+Barlat89 akma kriteri+ilişkili akış kuralı” kullanıldığında elde edilen gerilme, geri esneme sonuçları Şekil 19’da görülmektedir.



Şekil 19: İzotropik pekleşme kuralı için Power akma eğrisi kullanıldığında elde edilen gerilme dağılımı (MPa) ve geri esneme (°) miktarları

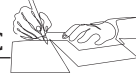
Plastisite modeli olarak; “kinematik pekleşme kuralı (Chaboche, 1 terimli)+Hill48 akma kriteri+ilişkili akış kuralı” kullanıldığında elde edilen gerilme, geri esneme sonuçları Şekil 20’de görülmektedir.



Şekil 20: Kinematik pekleşme kuralı (Chaboche, 1 terimli) akma eğrisi kullanıldığında elde edilen gerilme dağılımı (MPa) ve geri esneme (°) miktarları

OPTİMİZASYON

Kıyaslamaya esas olmak üzere deneysel değer olarak, Tablo 6’da verilen Baushinger değerleri kullanılmıştır.

**Tablo 6:** BH300 çeliği için deneysel değerler [1]

0,2% akma muk (MPa) çekmede	0,2% akma muk (MPa) basmada	Ön deformasyon	Maksimum gerilme (MPa)	Bauschinger etkisi
332,67	-283,60	0,0050	328,93	-0,862
330,82	-285,24	0,0050	327,19	-0,872
334,77	-266,99	0,0099	340,55	-0,784
335,68	-274,28	0,0100	348,16	-0,788
328,15	-275,33	0,0197	359,75	-0,765
331,64	-276,11	0,0198	364,77	-0,757
331,49	-295,31	0,0487	411,84	-0,717
331,99	-307,02	0,0487	421,34	-0,729

Tabloda verilen Bauschinger etkisi değerleri, Denk. (2) ile bulunmuştur [1].

$$B.E. = 1 - \frac{\text{Maksimum gerilme} - (0.2\% \text{ akma muk basmada})}{\text{Maksimum gerilme}} \quad (2)$$

Tablodan anlaşılabileceği üzere uygulanmış olan ön deformasyonlara göre B.E. değeri %73-87 arasında değişmektedir. B.E.'nin en çok gözlemlendiği durum, ön deformasyonun en az olduğu (mümkünse hiç olmadığı) durumdur. Mesela işlemlerde ilk çevrimdeki deformasyon, diğer çevrimlere göre en ufaktır. Tabloya göre en ufak deformasyon değeri 0,0050 iken, pekleşme nedeni ile gözlemlenen en fazla gerilme $328,93 \approx 330$ MPa'dır. Bu durumda, ν bükme simülasyonu süresince yapıda gözlemlenecek en büyük gerilme değeri simülasyon tarafından 330 MPa'ı aşmayacak şekilde hesaplanabiliyorsa, o zaman simülasyonca en iyi B.E. tahmini yapılmıştır diyebiliriz.

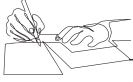
Dinamik analiz simülasyonumuzdaki maksimum gerilme değerini parametrik hale getirip, amacımızı; "analiz esnasında maksimum gerilme değeri 330 MPa'ı aşmayacak şekilde Y_S , C , değerlerinin belirlenmesi" olarak tanımlayabiliriz.

Bu amaca ulaşabilmek için optimizasyon modülünün yapacağı tekrarlı analizlerde katsayıların hangi aralıkta değişeceğini belirtmemiz gerekmektedir. Tablo 7'de katsayıların alt ve üst sınırları olarak yazılıma girilmiş olan değerler verilmiştir.

Tablo 7: Tasarım değişkenlerinin yazılıma girilen alt ve üst sınırları

	Y_S (MPa)	C	γ
İlk (başlangıç) değer	370	4614	94
Alt sınır	276,3	4152,6	84,6
Üst sınır	337,7	5075,4	103,4

Optimizasyon modülü, yukarıda verilen alt ve üst limitler arasında kendince belirlediği 15 farklı nokta (tasarım noktası) için hesaplama yaparak, çıkış parametrelerini (gerilmenin maksimum olduğu değerleri) bulur. İlaveten, bu 15 nokta arasındaki bütün değerler için de, eğri uydurma yöntemi ile değişim



fonksiyonunu belirler ve bu sayede “response surface” adı verilen grafiği çizer. Bu ara değerler, programın kendi tahmin değerleridir, doğrulanması gerekmektedir. Doğrulama için bu değerler yazılıma tasarım noktası olarak yeniden gösterilip tekrar analiz edilmeli, hesaplama ile tahmin değeri arasındaki farkın makul olup-olmadığına bakılmalıdır. Optimizasyon modülü tarafından oluşturulan tasarım noktaları ve her nokta için yapılan çözüm sonunda elde edilmiş olan gerilme değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8: Oluşturulan tasarım noktaları ve her nokta için yapılan çözümün maksimum gerilme sonuçları

Tasarım noktaları	Giriş değişkenleri			Çıkış değişkeni
	C (MPa)	γ	YS (MPa)	Maksimum gerilme (MPa)
1	4614	94	307	354,29
2	4152,6	94	307	349,62
3	5075,4	94	307	358,96
4	4614	84,6	307	358,68
5	4614	103,4	307	350,48
6	4614	94	276,3	323,57
7	4614	94	337,7	385
8	4238,9	86,357	282,04	328,76
9	4989,1	86,357	282,04	336,87
10	4238,9	101,64	282,04	322,63
11	4989,1	101,64	282,04	329,73
12	4238,9	86,357	331,96	378,71
13	4989,1	86,357	331,96	386,86
14	4238,9	101,64	331,96	372,55
15	4989,1	101,64	331,96	379,67

Her ne kadar tabloda sadece 15 adet nokta için çözüm gözüксе bile, optimizasyon modülü interpolasyon sayesinde aralık içerisi için artık bütün değerlere sahiptir.

- C’ye amaç belirtilmedi,
- γ ’ye amaç belirtilmedi,
- YS’ye amaç belirtilmedi,
- Maksimum gerilme yi minimize et ve Maksimum gerilme ≤ 330 MPa,

olacak şekilde amaçlar uygulanmıştır. Neticede de en uygun değerler olarak optimizasyon modülü Tablo 9’daki değerleri önermektedir. Tabloya dikkat edilirse, değerler interpolasyon ile hesaplama yoluyla bulunduğundan dolayı virgülden sonra bolca haneye sahiptir.

Tablo 9: Çeşitli yöntemlerle yapılan optimizasyon neticesinde amaçlara en uygun olarak elde edilen değerler

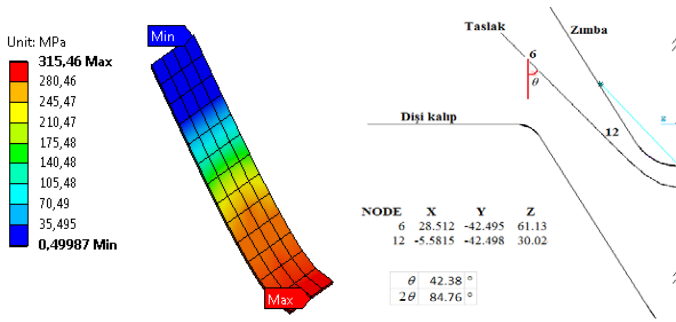
Optimizasyon yöntemi	C (MPa)	γ	YS (MPa)	Maksimum gerilme (MPa)
Tarama	4152,6	103,4	276,3	315,457
MOGA	4157,301	102,955	276,643	315,997
NLPQL-merkezi farklar	4152,6	103,4	276,3	315,457
MISQP	4152,6	103,4	276,3	315,457

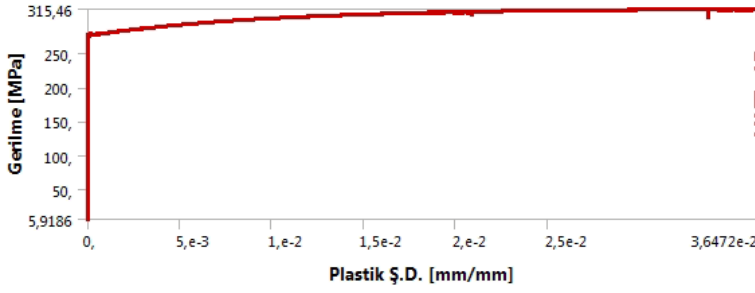
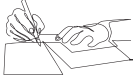
Tarama yöntemi, örnekleme ve sıralamaya dayalı basit bir yaklaşım kullanır. Her türlü girdi parametresinin yanı sıra çoklu hedefleri ve kısıtlamaları destekler. Genellikle, ön tasarımlar için kullanılır. *MOGA* (Çok Amaçlı Genetik Algoritma) yöntemi, kontrollü elitizm esasına dayalı bir genetik algoritma çeşididir. Çoklu hedefleri ve kısıtlamaları destekler ve nihai optimumu bulmayı amaçlar. *NLPQL* (Kuatratik Lagrangian ile Nonlineer Programlama) yöntemi, gradyan tabanlı bir algoritmadır. Tek bir çıkış parametresi hedefini, çoklu kısıtlamaları destekler ve sürekli parametrelerle sınırlıdır. Başlangıç noktası belirtilmelidir. *MISQP* (Karışık-Tamsayı Sıralı Kuadratik Programlama) yönteminin esası, kuadratik programlama (SQP)'dır. Tek bir çıkış parametresi hedefini ve çoklu kısıtlamaları destekler. Çözüm için başta başlangıç noktası belirtilmelidir.

Bu değerler esasen optimizasyon modülü içerisinde interpolasyon sonucu bulunan değerler olduğundan dolayı, gerçekte tekrar analize verip yapılan analiz sonucu elde edilen değerleri kullanmalıyız. Hem bu şekilde, interpolasyon sonucu bulunan değerlerin ne denli uygun-uygun olmadığını da tespit etmiş olacağız. Tablo 10'da yapılan analiz sonucu görülmektedir. Tahmin ile analiz sonucu, bire bir uyumlu çıkmıştır. Gerilme dağılımları Şekil 21'de ve gerilme şekil değiştirme diyagramları Şekil 22'de verilmiştir.

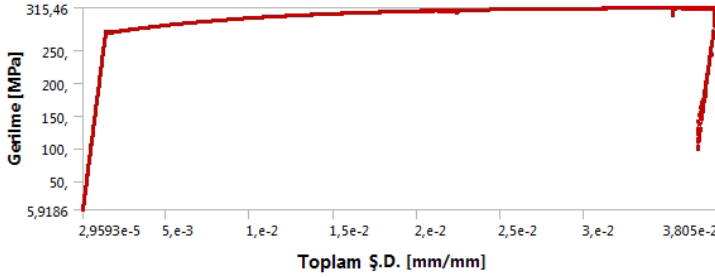
Tablo 10: Optimizasyon sonucu önerilen değerlerin analizde yerlerine konarak sonucun doğrulanması

Yöntem	C (MPa)	γ	YS (MPa)	Maksimum gerilme (MPa)
Analiz	4152,6	103,4	276,3	315,46

**Şekil 21:** Optimizasyon sonucu seçilen değerlerin kullanılmasıyla yapılan analizin sonucunda elde edilen gerilme dağılımı ve geri esneme değeri



(a) Gerilme plastik şekil değiştirme



(b) Gerilme toplam şekil değiştirme

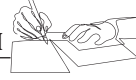
Şekil 22: Analiz ile elde edilen gerilme şekil değiştirme diyagramları

SONUÇLAR

Bu çalışmada Örnek bir uygulama ile BH300 çeliğinde geri esneme işlemi için sonlu elemanlar analizleri detaylı olarak incelenmiştir. Parametrelerin belirlenmesi detaylı olarak anlatılmış ve sonlu elemanlar analiz sonuçlarına etki eden faktörlerden bahsedilmiştir. İzotropik, kinematik ve kombine pekleşme kuralları örnekleriyle izah edilmiştir. Elde edilmiş olan malzeme katsayılarının kalibrasyonu ise bir optimizasyon işlemi içerisinde gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Autosteel(c). *Research-AHSS Data Utilization-Bh300*. 2018 [cited 2018 16.09.2018]; 25 Massachusetts Avenue, NW Suite 800 | Washington, DC 20001 | 202.452.7100. Available from: <https://www.autosteel.org/research/ahss-data-utilization/bh300>.
2. Kim, H., et al., *Nonlinear elastic behaviors of low and high strength steels in unloading and reloading*. Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing, 2013. **562**: p. 161-171.
3. Support_Ansys. *Video Demo: Material Curve Fitting*. 2016; Available from: https://support.ansys.com/staticassets/ANSYS/staticassets/techmedia/material_curve_fitting.html.

**CHAPTER
14****ALKALİ SİLİKA REAKSİYONUNA
MARUZ HARÇ VE BETONLARDA
MİNERAL KATKILARIN ROLÜ****Korkmaz YILDIRIM****Giriş:**

20 ve 21. yüzyıllarda artan Dünya nüfusu ve kentleşme alanındaki hızlı büyüme yeni inşaat çalışmalarında yüksek bir talep yaratmaktadır. Çimento esaslı beton kullanımının inşaat sektöründe artması üzerine, gelecekte inşaatlarda kullanılan beton ve betonarme yapı elemanlarında oluşabilecek bozulmaların önlenmesi amacıyla 19. yüzyılın sonundan bu yana çimento ve çimento esaslı ürünler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

Beton günümüzde Dünya genelinde yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Bu bakımdan betonda kullanılan malzemelerin niteliklerini bilmek, üretilen betonun özellikleri ile servis ömrünü uzatmak geliştirmek için çalışmalar devam etmektedir.

Betonda durabiliteyi azaltan unsurlardan biri olan alkali silika reaksiyonu, 1930'lu yıllarda, Kaliforniya'da bazı yapılarıdaki betonlarda beklenmedik genleşme ve çatlakların görülmesi kaygı yaratmıştır. 1930'ların sonlarına doğru, bu alanda çalışmalar yapan Stanton, genleşmelerin ve çatlamların çimentonun alkali içeriğine bağlı olduğunu ve sözü edilen yapılarıdaki hasarın alkali agregası reaksiyonu sonucu meydana geldiğini saptamıştır.

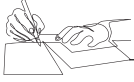
Alkali Agregası Reaksiyonu (AAR) betonda ileriki dönemlerde meydana gelen durabilite yönünden bozulma şeklidir. Genellikle sertleşmiş beton yüzeylerde harita şekilli çatlaklar, pullanma ve diğer bozulma mekanizmaları ile gözlenir.

Alkali agregası reaksiyonu iki şekilde ortaya çıkar, birincisi alkali-silika reaksiyonu, diğeri ise alkali karbonat reaksiyonudur.

Alkali - silika reaksiyonu betonda en tanınmış zararlı bozulma olayıdır ve 1940 yılında keşfinden bu yana büyük bir endişe kaynağı olmuştur. Alkali silika reaksiyonu, reaktif agregadaki silika ve portland çimentosunda bulunan alkali silikatlar arasındaki reaksiyonun ortamın nemi ile birleşmesi sonucu oluşan alkali silika jel harita şekilli çatlakları şeklinde kendini gösterir.

Alkali karbonat reaksiyonu, reaktif karbonat kayalar ve çimento hamuru içindeki alkali silikatlar arasındaki reaksiyonun ortamın nemi ile birleşmesi sonucu görülen kimyasal reaksiyondur. Alkali karbonat reaksiyonu betonda alkali silika reaksiyonu kadar tepki göstermez.

Betonda durabiliteyi etkileyen alkali silika reaksiyonu oluşumunda karmaşık reaksiyonlardan biride çimentoda bulunan Na ve K alkalileri ile agregada olan reaktif silis ortamda bulunan nem ile etkileşime girerek alkali silika jelini oluşturmaktadır. Bu jel betonda genişterek çatlak ve bozulmalara neden olur. Bu etkileşim alkali silika reaksiyonunu olarak bilinir.



Alkali silika reaksiyonu sonucunda oluşan harita şekilli çatlaklar betonda önemli hasara neden olabilir. Beton yapılarda alkali silika reaksiyonu yavaş gelişen ileri yaşlarda betonda görülen bozulma nedenidir. Genel olarak betonarme yapı 5 ila 10. yıla ulaştığında alkali silika reaksiyonu nedeni ile oluşan çatlaklar görünür hale gelir.

Ancak, Alabama Tuscaloosa Arizona bölgesindeki Stewart Barajı ve diğer yapılarda yaklaşık 30 yıl sonra alkali silika reaksiyonu hasarından etkilendiği görülmüştür.(Mather,1999) Bazen de birkaç yıllık ve 100 yıllık yapılarda da alkali silika hasarı görülebilmektedir.

Betonun yapısal davranışı alkali silika reaksiyonundan etkilenir. Betonda dayanıklılık, servis yeteneği ve uzun vadede tesisin güvenliği alkali silika reaksiyonundan bozulmuş olabilir.(Bach et al.1993)

Sertleşen betonlarda alkali silika reaksiyonu sonucu oluşan genleşme, beton içerisindeki çatlaklar ile deformasyona uğrar, dolayısıyla betonun dayanıklılığını olumsuz etkiler.(Leger ve ark.1996)

Portekiz de bulunan Cabril Barajından alınan elli yaşındaki beton Fernandes ve arkadaşları tarafından incelenmiş beton da agrega olarak kullanılan granit nedeniyle alkali silika bozulma işaretlerini bulmuşlardır.(Fernandes et al.2004)

Alkali silika reaksiyonu erken fark edildiğinde, mevcut yapıların kullanım ömürleri küçük inşaat onarım ve rehabilitasyonlarla artırıldığında maliyet açısından çok büyük kazanımlar sağlayacaktır.

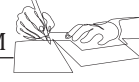
Bu nedenle alkali silika reaksiyonu ile beton da bozulma şiddetini azaltmak amacıyla araştırmaların gerekliliği ortadadır. Bu çalışma kapsamında Sakarya nehrinden çıkarılan bölge inşaatlarında kullanılmakta olan agregalar üzerinde alkali silika reaksiyonu genleşmesi nedeniyle oluşan hasarları minimum seviyeye indirmek için çalışılmıştır.

Çalışma içeriğinde ASR'yi tespit eden deneyler le mineral katkıların alkali silika reaksiyonu genleşmelerini hangi düzeyde engellediği araştırılmıştır.

Araştırma amacı Sakarya Nehrinde çıkarılan ve bölge genelinde beton ve harç olarak kullanılmakta olan doğal agregayı reaktivite yönünden incelemektir. Alkali silika reaksiyonunda görülen genleşme değerlerini mineral katkılarla ikame ederek optimum azalma sağlayan miktarları tespit edilmiştir.(Yıldırım ve ark.2013)

Alkali reaktif silis içeren agregada ASR deneyleri olarak, TS-2517/ASTM C-289 Kimyasal analiz deneyi, Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi(ASTM-C1260) deneyi uygulanmıştır.

Bu deney metodlarında mineral katkı olarak uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve metakaolin portland çimentosu ile kısmi yer değiştirme yapılarak kullanılmıştır. Deneyler sonunda ASR genleşmelerinin azalma değerleri ile standart azalmayı sağlayan katkı ikame oranları tespit edilmiştir. Mineral katkıların farklı oranlarda ikame edilmesi sonucunda katkıların ASR genleşme değerlerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.



Alkali Silis Reaksiyonunun Tarihsel Geçmişi

Aşağıda bu konu ile ilgili yurtdışında ve ülkemizde yapılan bazı çalışmalara yer verilmiştir.

1930'ların sonlarına doğru, bu alanda çalışmalar yapan Stanton, genleşmelerin ve çatlamaların çimentonun alkali içeriğine bağlı olduğunu ve sözü edilen yapılarıdaki hasarın alkali-silis reaksiyonu sonucu meydana geldiğini saptamıştır. Stanton'un deneysel çalışmaları, hasarın sebebinin opal agrega ve yüksek alkalin çimentonun bir araya gelerek oluşturduğu genleşmeler olduğunu göstermiştir. (Stanton1940) Stanton'un çalışmasının sonucu olarak, önemli yapılarda, çimentonun alkali içeriğinin kütlece %0.60 ile sınırlandırılması şartı getirilmiştir. Çimentonun alkali içeriğinin sınırlandırılması, reaktif agrega kullanılması halinde hala kullanılan bir yöntemdir.

Stanton'un çalışmasının yayınlanmasından kısa süre sonra 1941 yılında Blanks (1941) ve Meissner (1941), Parker barajının betonunda oluşan çatlak ve bozulmaları incelemiştir. Araştırmacılar, betonda alkali silis reaksiyonu ürünü bulunduğunu ve reaktif bileşenlerin toplam agreganın %2'sini oluşturan altere andezit ve riyolit parçaları olduğunu belirtmiştir.

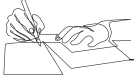
A.Fernandez, F. Puertas, reaktif agrega kullanarak, yüksek fırın cüruf çimentolu harçların genleşmesini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarını normal portlant çimentolu harçlarla yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlar ve elde edilen sonuçlara göre yüksek fırın cüruf çimentolu harçların alkali silis reaksiyonu nedeniyle genleşmeye uğradığını, ama benzer koşullar altında normal portlant çimentolu harçlardaki genleşmeden daha düşük hızda genleşmenin olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Danimarka, Almanya ve İngiltere gibi soğuk iklimlerde betonda bozulmaya sıcaklığın etkisi ile oluşan kimyasal reaksiyonların neden olduğu endişe edildi ise de araştırmalar sonunda beton bozulma nedeni olarak alkali silika reaksiyonu yayınlanarak tüm dünyada tanındı.

1974 yılında alkali agrega reaktivitesi konusunda faaliyet gösteren araştırmacıların katıldığı uluslararası toplantılardan ilki Danimarka'da yapılmıştır. Ardından pek çok araştırmacının yayınlarının derlendiği konferanslar sırasıyla İzlanda (1975), İngiltere (1976), Amerika (1978), Güney Afrika (1981), Danimarka (1983), Kanada (1986), Japonya (1989), Londra (1992), Avusturalya (1996), Kanada (2000) ve Çin'de (2004) düzenlenmiştir.

Ülkemizde, ASR'nun ilk hasarları, Karayolları 2. Bölge Müdürlüğü köprü mühendislerinin ön incelemeleri sırasında İzmir yöresindeki birçok köprüde geniş çatlakların gözlenmesi ile ortaya çıkmıştır. 1995 yılında, TC Karayolu Köprülerinin Korunması ve İyileştirilmesi Çalışmaları projesi kapsamında, İzmir yöresinde hasar gören 5 köprünün (Naldöken, Turgutlu, Buca, Hilal II, Turan) inceleme çalışmaları Japon Jica firmasınca üstlenilmiştir.

Bu çalışmalar sonucunda, beton üretiminde kullanılan özellikle Gediz ve Nif nehri yatak ve teraslarındaki doğal kumların içerdiği reaktif silislerin (camsı riyolit, camsı riyolitik tuf ve çört) ASR'na yol açtığı anlaşılmıştır. Bu durumda, Ge-



diz ve Nif nehirleri yatak ve teraslarındaki doğal kumun kullanılmaması prensibi benimsenmiştir (Katayama, 1996).

L. Turanlı, F. Bektaş, P. J. M. Monteiro, alkali silis reaksiyonu yayılımını minimize etmek için puzolonik madde özellikleri taşıması amacıyla kil tuğla kullanmışlardır. Bu amaçla yaptıkları deneyler sonucunda kil tuğlanın, çimento ile kısmi yer değiştirdiğinde ve ASR'den dolayı oluşan genleşmeyi durdurma amacı kullanıldığı zaman puzolanik malzeme olarak bir potansiyele sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

A. Mladenović, J.S. Suput, V. Ducman, A. S. Skapin, hafif agregaların harçlar ve sıvalar için kullanıldığında alkali silis reaksiyonu hakkında önemli verilere ulaşılabileceğini düşünerek, dört hafif agregası (şişen vermiculite, şişen killi, şişen cam ve perlit) üzerinde alkali silis reaksiyonuna bağlı olarak çalışmalar yapmışlardır.

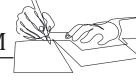
Hafif agregalar kullanılarak yapılan çimento kompozitlerinin içindeki alkali silis reaksiyonunun olası tehlikesinin çalışmasının sonuçları; şişen vermiculite ve kilin alkali silis reaksiyonu için bir potansiyel tehlike sergilemediğini göstermiştir. Diğer taraftan, diğer iki camlı agregalar (şişen cam ve perlit), yüksek reaktivite göstermişlerdir. Hızlandırılmış testten sonra camlı agregaların yapısında (dokusunda) ciddi bir bozulma olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu hafif agregaları içeren çimento kompozitleri üzerinde uzun dönemli bir negatif etki oluştuğunu gözlemişlerdir.

Özgür Çakır ve Fevziye Aköz üç farklı agregası için çimentoya %0, %30, %60 oranlarında yüksek fırın cürufu katılmış harçlarda, hızlandırılmış deneyler yapılarak, sıcaklık, basınç ve nem artışının alkali-agregası reaksiyonunu hızlandırdığını, cürufun ise yavaşlattığını görmüşlerdir.

Aydın Sağlık, M. Fatih Kocabeyler, Yalçın Orkun, Metin Halıcı ve Ergin Tunç, Deriner Barajı ve Hes İnşaatı kütle betonunda kullanılması planlanan agregalarda alkali-silis reaksiyonundan dolayı oluşacak hasarları azaltma ve önlemeye yönelik bir deneysel çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmada biri yaklaşık %20, diğeri ise %30' un üzerinde reaktif silis içermekte olan agregalar, çimento yerine farklı yüzdelerde ikame edilen F sınıfı uçucu kül ile hazırlanan harç çubukları üzerinde yürütülen deneysel çalışma sonucunda kırma taşıncı agregası ile en az %25 ve doğal şekillenmiş ince agregası ile en az %35 civarında uçucu kül kullanımı ile alkali-silis reaksiyonunun büyük ölçüde önlemlendiği tespit edilmiştir.

İ. Halil Zarif, Atiye Tuğrul ve Göksel Dursun, İstanbul'daki dolomitik kireçtaşları üzerinde bir inceleme yapmışlar ve dolomitik kireçtaşlarının zararsız agregalar oldukları ve çimento alkalinitesi fazla olan çimentolar kullanılsa bile bu agregaların beton üretiminde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Adil Binal, harçlarda en fazla genleşmeye neden olan ve literatürde pesimum oranı olarak adlandırılan tüm agregası içindeki reaktif agregası oranını araştırmak için çeşitli deneyler yapmış, opal yumrusu, çört, kalsedon yumrusu, andezit ve bazalt türü beş farklı reaktif agregasının alkali reaktivitelerini araştırmıştır. Opal türü agregalar çevresinde haleler şeklinde alkali silis jel gelişirken, çörtte kılcal çatlaklar boyunca, kalsedonda ise lif lif ayrılmalar şeklinde alkali silis jel gelişimlerini saptamıştır.



Son yıllarda ülkemizde ASR hasarlarının betonda oluşmadan önce önlenmesine yönelik araştırmalar önem kazanmıştır. Hızlandırılmış harç çubuğu metodu uygulanarak reaktif olduğu belirlenen agreganın çeşitli mineral katkıları veya bunların kombinasyonları ile lityum tuzları kullanımının ASR genleşmelerine etkisi incelenmiştir (Tosun, 2001, Andiç, 2002, Musal 2003). (Andiç 2007'izd)

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

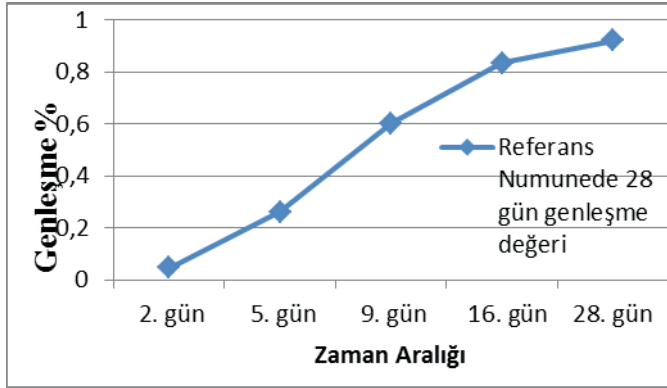
2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

2.1.1 Agregası

Bu çalışma kapsamında kullanılan agregası Sakarya nehri kenarında faaliyet gösteren kum çakıl ocağından temin edilmiştir. Bu agregası ile üretilen harç çubukları üzerinde 28 gün süreli Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi uygulanmıştır. 28 gün sonunda elde edilen genleşme değeri 0,9206 civarında çıkmıştır. Tablo 1'de numune genleşme değeri ve şekil 1'de genleşme grafiğı görölmektedir.

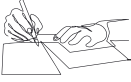
Tablo 1. Referans Numune 28 gün Genleşme Değeri

	Referans Numune
2. gün	0.044972
5. gün	0.26226
9. gün	0.601921
16. gün	0.834689
28. gün	0.920565



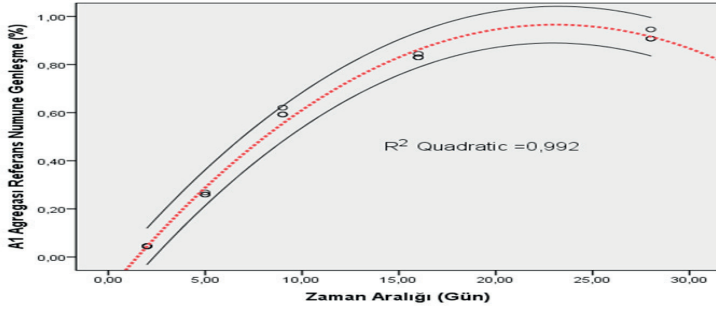
Şekil 1. Referans Numune Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi Grafiğı.

Agregası ile yapılan deney sonucuna göre aktif silis içerdiği, zararlı agregası olduğu tespit edilmiştir. Referans numune genleşme değeri için varyans analizi ve regresyon analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonuçları tablo 2 'de, 28 günlük ortalama genleşme değeri şekil 2'de görölmektedir.

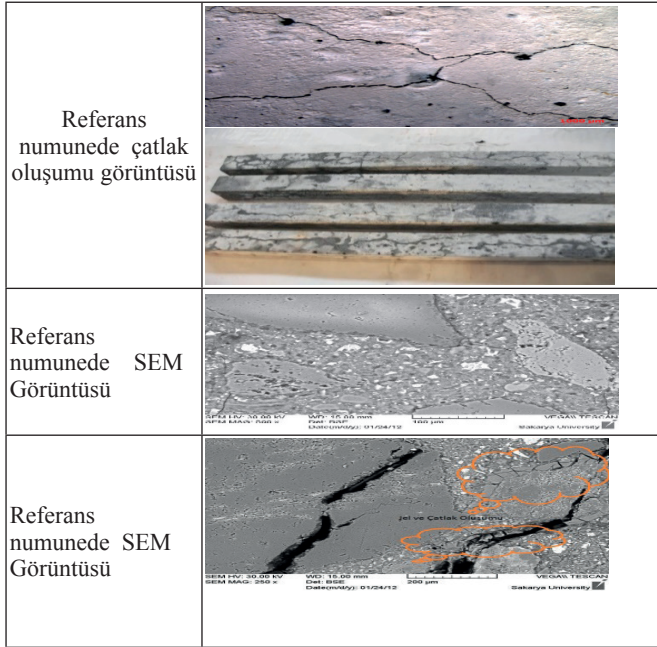


Tablo 2. A1 Agregası Referans Numune Varyans Analizi Sonucu

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Testi	Anlamlılık Düzeyi $p \leq 0.05$
Gruplar Arası	1.672	4	0.418	2454.806	0.000
Gruplar İçi	0.002	10	0.000		

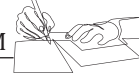


Şekil 2. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyinde Sakarya Nehri Agregası Referans Numune Ortalama Genleşme Değerleri.



Şekil 3. Referans Numune Çatlak ve SEM Görüntüsü.

Ayrıca agrega üzerinde TS 2517 kimyasal metoduna (ASTM C289) göre ASR araştırması yapılmış olup ilgili standartlara göre örnek agreganın 3. bölgede zararlı agregada olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında kulla-



nılacak agrega numunesinde TS 2517' göre deney sonuçlarına ait sonuç raporu tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Agrega TS-2517/ASTM C-289 ASR Kimyasal Analiz Raporu

Rapor Tarihi	Menşei: Pamukova - Sakarya 1. Nolu Kum-Çakıl Ocağı
Numunede istenen Tayinler	Alkali Agrega Reaktivitesi
Analiz Sonuçları: Sonuçlar aşağıdaki gibidir.	
Harcanan NaOH	350 (mmol/L)
Çözünen Silis (SiO ₂)	700 (mmol/L)
Sonuç : TS 2517 - ASTM C-289	III. Bölge Zararlı Agrega

Her iki deney sonuçlarına bakıldığında agreganın alkali silika reaksiyonu açısından zararlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bölge genelinde üretilen betonların servis ömrü süresince hizmet vermesi için dört farklı mineral katkıyı, çimento ile kısmi yer değiştirme yaparak numuneler üretilmiştir.

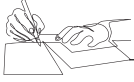
2.1.2. Bağlayıcı ve Mineral Katkılar

Deneysel çalışmada kullanılan Çimento CEM 1 42.5R ve Yüksek Fırın Cürufu Oyak Bolu çimento fabrikası, F sınıfı uçucu kül Kütahya Çimento fabrikası, Silis Dumanı İston A.Ş., Metakaolin İstanbul'dan temin edilmiştir.

Çimento ve mineral katkılara ait kimyasal ve fiziksel analiz değerleri tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. CEM I 42.5, Yüksek Fırın Cürufu, F sınıfı Uçucu Kül, Metakaolin, Silis Dumanının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

	CEM I 42,5 R	Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu	F Sınıfı Uçucu Kül	Silis Dumanı	Metakaolin
SiO ₂	19.95	35.27	53.69	93.65	53.68
Al ₂ O ₃	5.12	14.81	20.29	0.20	42.44
Fe ₂ O ₃	3.75	2.13	11.83	0.58	1.40
CaO	63.82	28.79	3.4	0.27	0.60
MgO	1.64	8.32	4.09	0.33	0.73
SO ₃	3.36	0.51	0.99	0.21	0.00
Na ₂ O	0.22	0.50	-	0.29	0.00
K ₂ O	0.46	1.17	2.53	0.87	0.68
Na ₂ O Eşdeğer	0.52	1.27	-	-	-
Kızdırma Kaybı	1.11	0.21	2.01	1.84	-
SCaO	1.23	-	-	-	-
45 Mikron	1.90	0.20	27.25	-	D50
90 Mikron	-	-	-	-	-



Özgül Ağırlık	3.13	2.95	1.98	2.36	2.6
Blaine	3971 (cm ₂ /gr)	5074 (cm ₂ /gr)	4020(cm ₂ /gr)		8600(cm ₂ /gr)

2.2 Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi (ASTM –C 1260)

Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi standardında belirtilen gradasyondaki agrega, kütlece çimentonun 2.25 katı kadar kullanılarak, su/çimento oranı 0.47 olan harç karışımı hazırlanır. 25×25×285 mm boyutlarındaki kalıplara dökülen harç numuneleri 24 saat sonra kalıplardan alınarak ilk boyları ölçülür. Harç çubukları ASTM C-227’de belirtilen esaslara uygun olarak hazırlanır.

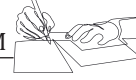
Burada dikkat edilmesi gereken nokta, kalıplarda numune üzerine yapışarak suyun difüzyonunu önleyebilen standart kalıp yağları yerine teflon sprej gibi artık bırakmayan tipte kayganlaştırıcı materyal kullanılmasıdır. Kalıp sökümünden itibaren 1 gün süreyle 80°C suda bekletilerek boy ölçümleri alınan numuneler, takip eden 14 gün boyunca 80°C 1 N NaOH çözeltisinde bekletilir ve periyodik ölçümleri alınır. Standart, çimentonun alkali miktarı hakkında bir değer vermemektedir. Bunun sebebi ise kür koşullarından dolayı numunelerin boşluk çözeltisi alkalinitesinin artmasıdır.

Toplam 16 gün süren deney sonucunda, genleşme yüzdeleri aşağıdaki şekilde değerlendirilir:

- 16 gün sonundaki genleşmeler, %0.10 değerinin altındaysa agregalar zararsız davranış göstermektedir.
- 16 gün sonundaki genleşmeler, %0.20 değerinin üstündeyse agregalar potansiyel olarak zararlı genleşme gösterir.
- 16 gün sonundaki genleşmeler, %0.10 ile %0.20 değerinin arasındaysa agregalar, şantiye koşullarında hem zararlı hem de zararsız davranış gösterebilir.

Bu sebeple, agregalar hakkında karara varmadan önce ek deneyler yardımıyla genleşmelerin sebebinin araştırılması için genleşme ölçümlerinin 28 güne kadar uzatılması önerilmektedir.

Farklı organizasyonlar, lokal deneyimlerine göre farklı genleşme kriterleri belirleyebilir. Agreganın genleşme seviyesine göre betonda kullanılacak olan malzemelere karar verilebilir (Farny ve Kosmatka, 1997). Bu deney yönteminin kür koşulları oldukça ağır olduğundan tatmin edici saha performansı gösteren bazı agregaların da reaktif olarak tanımlanabilmesi gibi bir probleme yol açabilmektedir. Bu sebeple agregaların reddine karar verirken bu olasılığın göz önünde tutulmasında fayda vardır. Yine de, deney süresinin oldukça kısa olması ve pratikliği sebebiyle araştırmalarda kullanılması tercih sebebi olmaktadır (Grattan-Bellew, 1989).

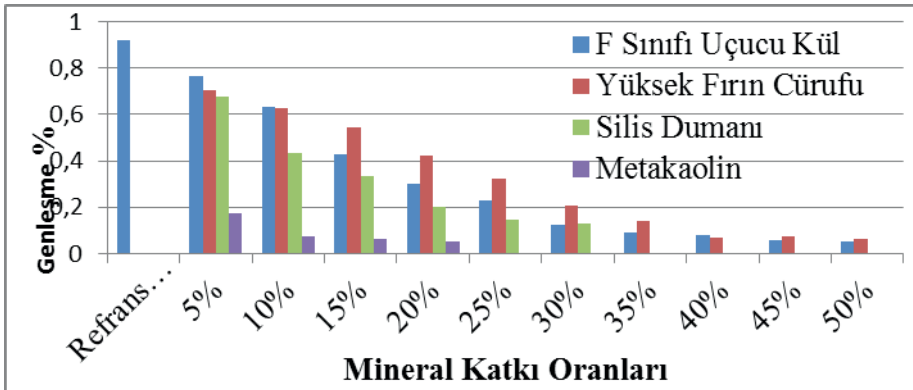


Mineral katkıları (F sınıfı Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu, Silis Dumanı ve Metakaolin) ile çimento kısmı yer değiştirme ile %5-10-15-20-25-30-35-40-45-50 gibi 10 farklı numune grubu hazırlanmış olup deneylerimiz gerçekleştirilmiştir.

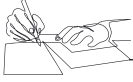
Karışım miktarlarına uygun hazırlanan mineral katkıları numunelere ait hızlandırılmış harç çubuğu deneyi genleşme değerleri tablo 5’de, genleşme grafiği ise şekil 5’de görülmektedir.

Tablo 5. Mineral katkıları harç numuneleri hızlandırılmış harç çubuğu deneyi 28 günlük genleşme sonuçları

Mineral Katkı İkame Oranları	F Sınıfı Uçucu Kül	Yüksek Fırın Cürufu	Silis Dumanı	Metakaolin
Refrans Numune	0.922	0.00	0.00	0.00
5%	0.767	0.702	0.678	0.171
10%	0.635	0.625	0.432	0.076
15%	0.429	0.543	0.336	0.064
20%	0.298	0.422	0.201	0.053
25%	0.227	0.321	0.143	
30%	0.122	0.204	0.128	
35%	0.0919	0.141		
40%	0.0806	0.070		
45%	0.0572	0.074		
50%	0.0519	0.066		



Şekil 5. Mineral katkıları harç numuneleri hızlandırılmış harç çubuğu deneyi 28 günlük genleşme sonuçları grafiği



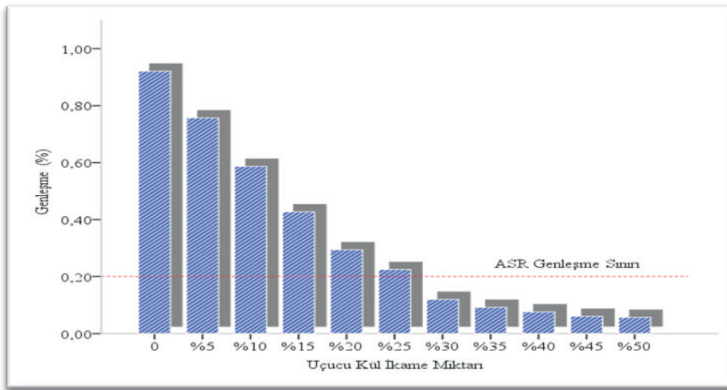
3. MİNERAL KATKILAR BAZINDA DENEY SONUÇLARI

3.1 F sınıfı Uçucu Kül İkameli Numuneler

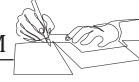
F sınıfı Uçucu kül ikameli numunelere ait genleşme değerlerine bakıldığında % 25 katkı civarında ASR'yi önlediği tespit edilmiştir. Uçucu kül ikame edilmiş harç çubukları üzerinde gerçekleştirilen harç çubuğu ASR deneyi genleşme sonuçları varyans analizine tabi tutulmuş olup, genleşme değerlerine ait açıklayıcı istatistikler tablo 6'da verilmiştir. Ayrıca elde edilen deney sonuçlarına ait 28 günlük ortalama genleşme miktarlarını gösteren grafik şekil 6'da görülmektedir. Gerçekleştirilen deney sonuçları üzerinde uçucu kül ikamesinin ASR üzerine etkilerini değerlendirebilmek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizine ait sonuçlar tablo 7'de verilmiştir.

Tablo Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Uçucu kül ikameli numunelerde ASR deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler

UK İkame Miktarı (%)	N	Ortalama Uzama (%)	Standart Sapma	Standart Hata	95% güven aralığında ortalamanın		Minimum	Maksimum
					Alt sınırı	Üst sınırı		
0	3	0.921	0.02212	0.01277	0.866	0.976	0.91	0.95
%5	3	0.757	0.01977	0.01142	0.708	0.806	0.73	0.77
%10	3	0.587	0.00607	0.00350	0.572	0.602	0.58	0.59
%15	3	0.427	0.00595	0.00344	0.412	0.442	0.42	0.43
%20	3	0.292	0.01073	0.00620	0.268	0.321	0.28	0.30
%25	3	0.225	0.00288	0.00166	0.218	0.232	0.22	0.23
%30	3	0.120	0.00778	0.00449	0.101	0.140	0.11	0.13
% 35	3	0.092	0.00448	0.00258	0.081	0.103	0.09	0.10
%40	3	0.077	0.01445	0.00834	0.041	0.112	0.06	0.09
%45	3	0.061	0.00636	0.00367	0.045	0.076	0.05	0.06
%50	3	0.057	0.00427	0.00246	0.046	0.067	0.05	0.06



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Referans ve uçucu kül ikameli numunelerin 28.gün genleşme sonuçları



Tablo 7. Uçucu kül ikameli numunelere ait varyans analizi sonucu

Varyansın kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık Düzeyi $p \leq 0,05$
Gruplar arası	2.793	10	0.279	2157.938	0.000
Gruplar içi	0.003	22	-	-	-

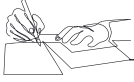
Gerçekleştirilen varyans analizine göre gruplar arasında istatistiksel anlamda önemli farklılıkların olduğu ($p \leq 0,05$) görülmüştür. Diğer bir ifadeyle UK ikame miktarına bağlı olarak ASR genleşme miktarlarının önemli derecede değiştiği söylenebilir. Gruplar arasındaki farklılığın hangi düzeylerde (gruplardan kaynakladığı) olduğunu tespit edebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Uçucu kül ikameli numunelerde duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

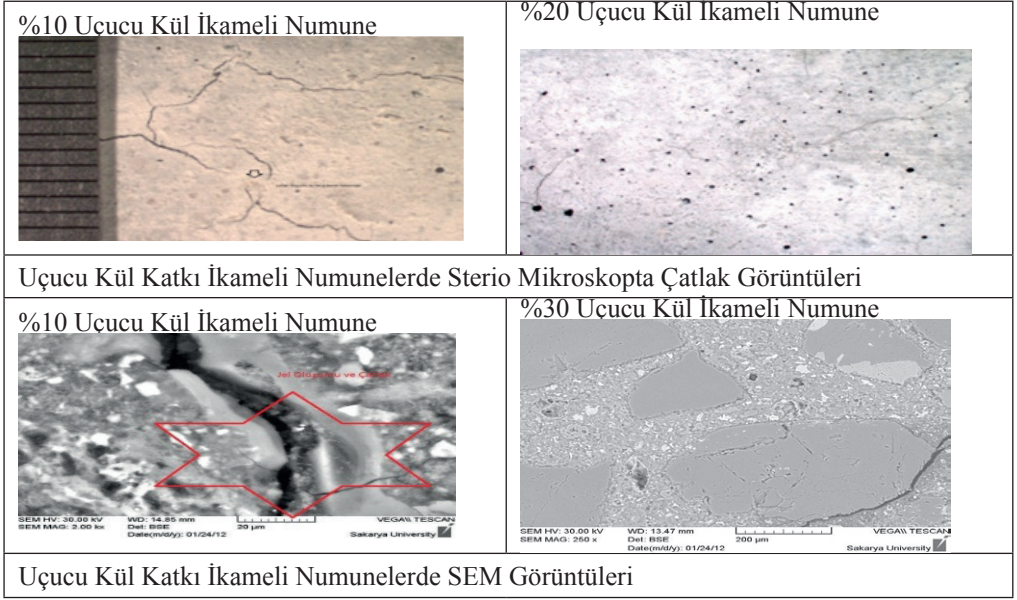
Uçucu Kül Miktarı	N	Farklı olan gruplar ($p \leq 0,05$)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
%50	3	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-
%45	3	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-
%40	3	0.07	0.07	-	-	-	-	-	-	-
%35	3	-	0.09	-	-	-	-	-	-	-
%30	3	-	-	0.120	-	-	-	-	-	-
%25	3	-	-	-	0.224	-	-	-	-	-
%20	3	-	-	-	-	0.294	-	-	-	-
%15	3	-	-	-	-	-	0.427	-	-	-
%10	3	-	-	-	-	-	-	0.586	-	-
%5	3	-	-	-	-	-	-	-	0.757	-
(Referans)	3	-	-	--	-	-	-	-	-	0.92

Uçucu kül ikameli numunelerde hızlandırılmış harç çubuğu ASR deneyi genleşme sonuçları üzerinde gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre;

1. Uçucu kül ikameli tüm numunelerde referans numuneye göre ASR genleşme değerlerinde azalmanın meydana geldiği,
2. %5~ %30 oranlarında uçucu kül ikame edilen numunelerde genleşme miktarlarında önemli azalmaların meydana geldiği,
3. %35 ~ %50 UK ikame edilen numunelerde genleşme değerleri bakımından kendi içlerinde önemli bir değişikliğin olmadığı,
4. %25 ve üzeri uçucu kül ikame edildiğinde standartta belirtilen sınır değer civarında kaldığı, referans numuneye göre %76 oranında azalttığı,
5. %30 oranında uçucu kül ikame edildiğinde, numunelerdeki genleşme miktarı referans numuneye göre %87 oranında azaldığı,
6. %35 oranında uçucu kül ikame edildiğinde, numunelerdeki genleşme miktarı referans numuneye göre %90 oranında azaldığı,



7. %40 oranında uçucu kül ikame edildiğinde, numunelerdeki genleşme miktarı referans numuneye göre %92 oranında azaldığı,
8. %45 oranında uçucu kül ikame edildiğinde, numunelerdeki genleşme miktarı referans numuneye göre %93.4 oranında azaldığı görülmüştür.
9. %50 oranında uçucu kül ikame edildiğinde, numunelerdeki genleşme miktarı referans numuneye göre %93.8 oranında azaldığı görülmüştür.

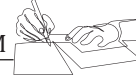


Şekil 7. Uçucu kül ikameli numunelerde Çatlak ve SEM görüntüleri

3.2 Yüksek Fırın Cürufu İkameli Numuneler

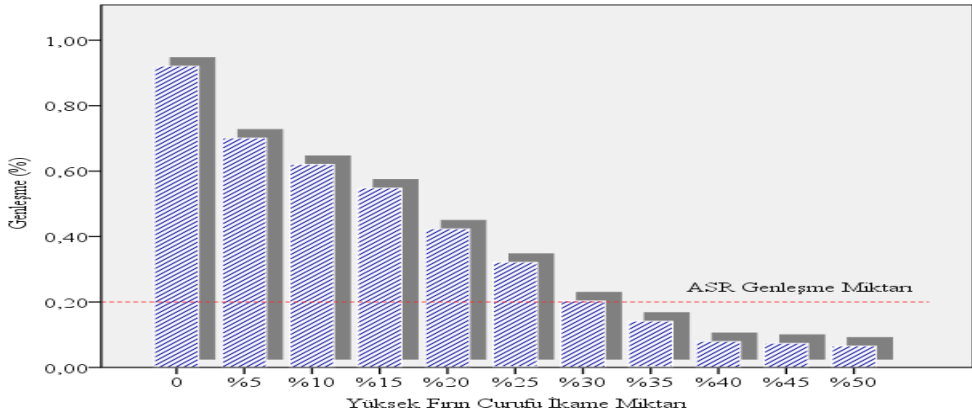
Yüksek fırın cürufu ikameli numunelere ait genleşme değerlerine göre, % 30 ve üzeri ikameli harç çubuğu numunelerinde ASR' yi azalttığı tespit edilmiştir.

YFC ikame edilmiş harç çubukları üzerinde gerçekleştirilen harç çubuğu ASR deneyi genleşme sonuçları varyans analizine tabii tutulmuş olup, genleşme değerlerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 9'da verilmiştir. Ayrıca elde edilen deney sonuçlarına ait ortalama genleşme miktarlarını gösteren grafik Şekil 8'de görülmektedir. Gerçekleştirilen deney sonuçları üzerinde YFC ikamesinin ASR üzerine etkilerini değerlendirebilmek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizine ait sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.



Tablo 9. YFC ikameli numunelerde ASR deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler

YFC İkame Miktarı (%)	N	Ortalama Uzama (%)	Standart Sapma	Standart Hata	95% güven aralığında ortalamanın		Minimum	Maksimum
					Alt sınırı	Üst sınırı		
0	3	0.9206	0.02212	0.01277	0.8656	0.9755	0.91	0.95
%5	3	0.7013	0.02072	0.01196	0.6498	0.7527	0.68	0.72
%10	3	0.6205	0.00986	0.00570	0.5960	0.6450	0.61	0.63
%15	3	0.5480	0.02260	0.01305	0.4919	0.6042	0.52	0.57
%20	3	0.4235	0.00331	0.00191	0.4152	0.4317	0.42	0.43
%25	3	0.3214	0.01481	0.00855	0.2846	0.3582	0.31	0.34
%30	3	0.2033	0.01571	0.00907	0.1643	0.2423	0.19	0.22
%35	3	0.1413	0.01580	0.00912	0.1021	0.1805	0.13	0.16
%40	3	0.0791	0.00300	0.00173	0.0717	0.0866	0.08	0.08
%45	3	0.0737	0.00883	0.00510	0.0518	0.0957	0.06	0.08
%50	3	0.0656	0.00564	0.00326	0.0515	0.0796	0.06	0.07



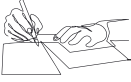
Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.1. Referans ve YFC ikameli numunelerin 28.gün genleşme sonuçları

Tablo 10. YFC ikameli numunelere ait varyans analizi sonucu

Varyansın kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık Düzeyi $p \leq 0,05$
Gruplar arası	2.573	10	0.257	1193.210	-
Gruplar içi	0.005	22	-	-	-

Gerçekleştirilen varyans analizine göre gruplar arasında istatistiksel anlamda önemli farklılıkların olduğu ($p \leq 0,05$) görülmüştür. Diğer bir ifadeyle yüksek fırın cürufu ikame miktarına bağlı olarak ASR genleşme miktarlarının önemli derecede değiştiği söylenebilir.

Gruplar arasındaki farklılığın hangi düzeylerde (gruplardan kaynakladığını) olduğunu tespit edebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir (Tablo 11).

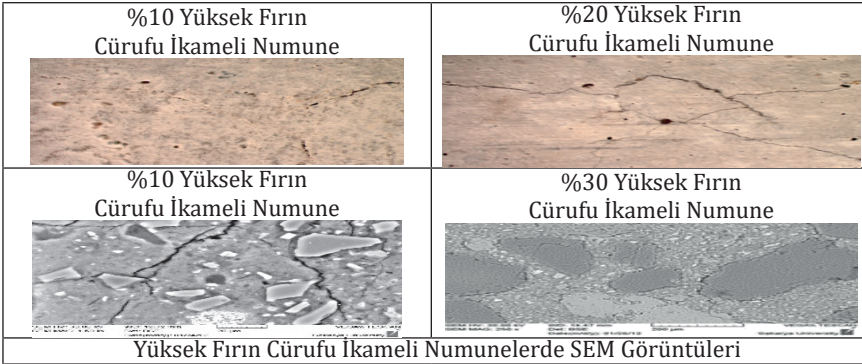


Tablo 11. YFC ikameli numunelerde duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

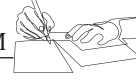
Yüksek fırın cürufü ikame miktarı	N	Farklı olan gruplar ($p \leq 0.05$)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
%50	3	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-
%45	3	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-
%40	3	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-
%35	3	-	0.14	-	-	-	-	-	-	-
%30	3	-	-	0.20	-	-	-	-	-	-
%25	3	-	-	-	0.32	-	-	-	-	-
%20	3	-	-	-	-	0.42	-	-	-	-
%15	3	-	-	-	-	-	0.54	-	-	-
%10	3	-	-	-	-	-	-	0.62	-	-
%5	3	-	-	-	-	-	-	-	0.71	-
(Referans)	3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.92

YFC ikameli numunelerde hızlandırılmış harç çubuğu ASR deneyi genleşme sonuçları üzerinde gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre;

1. YFC ikameli tüm numunelerde referans numuneye göre ASR genleşme değerlerinde azalmanın meydana geldiği,
2. %5~%35 oranlarında YFC ikame edilen numunelerde genleşme miktarlarında önemli azalmaların meydana geldiği,
3. %40 ~ %50 YFC ikame edilen numunelerde genleşme değerleri bakımından kendi içlerinde önemli bir değişikliğin olmadığı,
4. %30 ve üzeri YFC ikamesinde standartta belirtilen sınır değer civarında kaldığı, referans numuneye göre %78 oranında azalttığı,
5. %35 oranında YFC ikame edildiğinde, numunelerdeki genleşme miktarı referans numuneye göre %85 oranında azaldığı,
6. %40 oranında YFC ikame edildiğinde, numunelerdeki genleşme miktarı referans numuneye göre %91 oranında azaldığı görülmüştür.



Şekil. 8 Yüksek fırın cürufü ikameli numunelerde Sterio mikroskopta çatlak ve SEM görüntüleri



3.3 Silis Dumanı İkameli Numuneler

Silis dumanı ikameli numunelere ait genleşme değerlerine göre, % 15 ve üzerinde katkı kullanıldığında ASR' yi azalttığı görülmüştür. Katkı miktarı arttığı için betonun reolojisinde değişiklik oluşturmıştır.

Silis dumanının ASR genleşmelerini engellediği hususunda farklı görüşler mevcuttur. Bu görüşler çerçevesinde deneysel çalışmamız sonuçlarına bakarak reaktif alkali içeren agregaya ile silis parçacıklarının reaksiyona girmesi sonucu harç çubuklarında çatlaklar oluşmuştur.

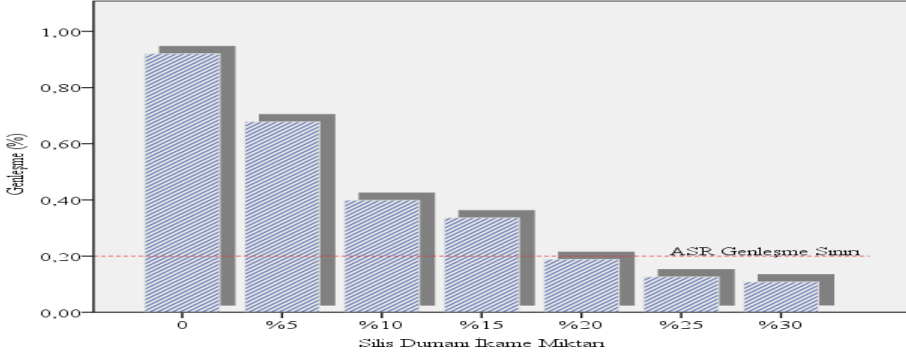
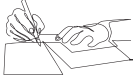
Aynı çalışma çerçevesinde üç farklı silis dumanı katkılı deney yapılmış olup hepsinde de çatlaklar görülmüştür. Literatür taramalarında %10-%15 silis dumanı ikamesinin olumlu sonuçlar verdiği bilinmekle birlikte, bu çalışma kapsamında da bu oran % 20 lerin üzerinde olduğunda başarılı olmuştur. Bu durumu çalışmada daha çok reaktif alkali içeren agregaya ve silis dumanı katkısıyla yaptığımız deneyde silis katkısının karışım içerisinde topraklar halinde kalarak sonradan reaksiyona girmesi olarak yorumlanmıştır. Buda harç ve beton numunelerde çatlak oluşmasını kaçınılmaz kılmıştır.

Beton katkısı olarak silis dumanının %10 ikame edilerek kullanıldığında dayanım açısından iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Silis dumanının beton katkısı olarak fazla miktarda kullanılmaması nedeniyle ASR genleşmelerini azaltma doğrultusunda başarılı sonuçlar vermemiştir.

Silis dumanı ikame edilmiş harç çubukları üzerinde gerçekleştirilen harç çubuğu ASR deneyi genleşme sonuçları varyans analizine tabi tutulmuş olup, genleşme değerlerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 12'de verilmiştir. Ayrıca elde edilen deney sonuçlarına ait ortalama genleşme miktarlarını gösteren grafik Şekil 9'da görülmektedir. Gerçekleştirilen deney sonuçları üzerinde SD ikamesinin ASR üzerine etkilerini değerlendirebilmek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizine ait sonuçlar Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 12. Silis dumanı ikameli numunelerde ASR deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler

Silis Dumanı İkame Miktarı (%)	N	Ortalama Uzama (%)	Standart Sapma	Standart Hata	95% güven aralığında ortalamanın		Minimum	Maksimum
					Alt sınırı	Üst sınırı		
0	3	0.9206	0.02212	0.01277	0.8656	0.9755	0.91	0.95
%5	3	0.6782	0.01915	0.01106	0.6307	0.7258	0.66	0.70
%10	3	0.3987	0.04023	0.02323	0.2988	0.4987	0.35	0.43
%15	3	0.3363	0.02181	0.01259	0.2821	0.3904	0.31	0.36
%20	3	0.1883	0.02264	0.01307	0.1321	0.2446	0.16	0.20
%25	3	0.1263	0.01665	0.00961	0.0850	0.1677	0.11	0.14
%30	3	0.1083	0.0167	0.0096	0.066	0.150	0.10	0.13



Şekil 9. Silis dumanı ikameli numunelerin 28.gün genleşme sonuçları

Tablo 13. Silis dumanı ikameli numunelere ait varyans analizi sonucu

Varyansın kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık Düzeyi $p \leq 0,05$
Gruplar arası	1.671	6	0.278	484.736	0.000
Gruplar içi	0.008	14	0.001	-	-

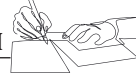
Gerçekleştirilen varyans analizine göre gruplar arasında istatistiksel anlamda önemli farklılıkların olduğu ($p \leq 0,05$) görülmüştür. Diğer bir ifadeyle silis dumanı ikame miktarına bağlı olarak ASR genleşme miktarlarının önemli derecede değiştiği söylenebilir. Gruplar arasındaki farklılığın hangi düzeylerde (gruplardan kaynaklandığını) olduğunu tespit edebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir (Tablo 14).

Tablo 14. Silis dumanı ikameli numunelerde duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

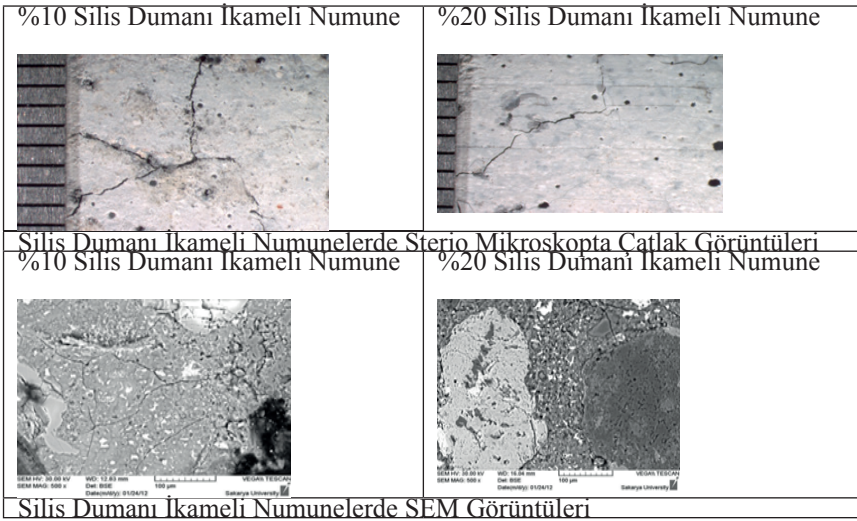
Silis Dumanı İkameli Miktarı (%)	Numune Adedi	Farklı olan gruplar ($p \leq 0.05$)					
		1	2	3	4	5	6
%30	3	0.108	-	-	-	-	-
%25	3	0.126	-	-	-	-	-
%20	3	-	0.1883	-	-	-	-
%15	3	-	-	0.3363	-	-	-
%10	3	-	-	-	0.3987	-	-
%5	3	-	-	-	-	0.6782	-
0	3	-	-	-	-	-	0.9206

Silis dumanı ikameli numunelerde hızlandırılmış harç çubuğu ASR deneyi sonuçları üzerinde gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre;

1. SD ikameli tüm numunelerde referans numuneye göre ASR genleşme değerlerinde azalmanın meydana geldiği,



2. %20~ %30 Silis dumanı ikame edilen numunelerde genleşme değerleri bakımından kendi içlerinde önemli bir değişikliğin olmadığı,
3. %25 oranında SD ikame edilen numunelerde, referans numuneye göre %86 oranında genleşme değerlerini azalttığı,
4. %20 ve üzeri SD ikame edilen numunelerde, referans numuneye göre %79.5 oranında genleşme değerlerini azalttığı,
5. %15 ve üzeri SD ikame edilen numunelerde, referans numuneye göre %63 oranında genleşme değerlerini azalttığı,
6. %10 ve üzeri SD ikame edilen numunelerde, referans numuneye göre %57 oranında genleşme değerlerini azalttığı görülmüştür.

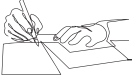


Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı..2. Silis dumanı ikamelı numunelerde sterio mikroskopta çatlak ve SEM görüntüleri

3. 4 Metakaolin İkameli Numuneler

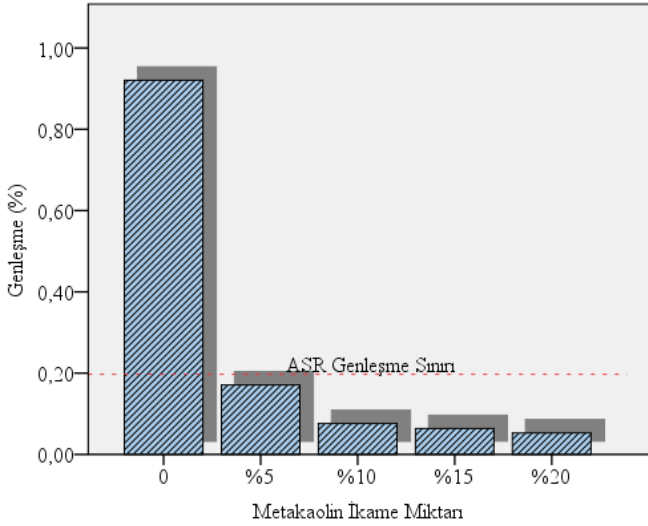
Metakaolin ikamelı numunelere ait ait genleşme değerlerine göre, % 5 ve üzerinde katkı kullanıldığında ASR' yi azalttığı görülmüştür.

Metakaolin ikame edilmiş harç çubukları üzerinde gerçekleştirilen harç çubuğu ASR deneyi genleşme sonuçları varyans analizine tabi tutulmuş olup, genleşme değerlerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 15'de verilmiştir. Ayrıca elde edilen deney sonuçlarına ait ortalama genleşme miktarlarını gösteren grafik Şekil 10'da görülmektedir. Gerçekleştirilen deney sonuçları üzerinde metakaolin ikamesinin ASR üzerine etkilerini değerlendirebilmek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizine ait sonuçlar Tablo 16'de verilmiştir.



Tablo 15. Metakaolin ikameli numunelerde ASR deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler

Silis Dumanı İkame Miktarı (%)	N	Ortalama Uzama (%)	Standart Sapma	Standart Hata	95% güven aralığında ortalamanın		Minimum	Maksimum
					Alt sınırı	Üst sınırı		
0	3	0.9206	0.0221	0.01277	0.86	0.975	0.91	0.95
%5	3	0.1708	0.0146	0.00847	0.13	0.207	0.15	0.18
%10	3	0.0759	0.0036	0.00212	0.06	0.085	0.07	0.08
%15	3	0.0637	0.0041	0.00237	0.05	0.073	0.06	0.07
%20	3	0.0530	0.0034	0.00196	0.04	0.061	0.05	0.06

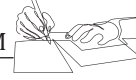


Şekil 10. Metakaolin ikameli numunelerin 28.gün genleşme sonuçları

Tablo 16. Metakaolin ikameli numunelere ait varyans analizi sonucu

Varyansın kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-testi	Anlamlılık Düzeyi $p \leq 0,05$
Gruplar arası	1.678	4	0.420	28110.808	0.000
Gruplar içi	0.001	10	0.000	-	-

Gerçekleştirilen varyans analizine göre gruplar arasında istatistiksel anlamda önemli farklılıkların olduğu ($p \leq 0,05$) görülmüştür. Diğer bir ifadeyle metakaolin ikame miktarına bağlı olarak ASR genleşme miktarlarının önemli derecede değiştiği söylenebilir. Gruplar arasındaki farklılığın hangi düzeylerde (gruplardan kaynaklandığı) olduğunu tespit edebilmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir (Tablo 17).



Tablo 17. Metakaolin ikameli numunelerde duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Metakaolin İkame Miktarı (%)	Numune Adedi	Farklı olan gruplar ($p \leq 0.05$)		
		1	2	3
%20	3	0.0530	-	-
%15	3	0.0637	-	-
%10	3	0.0759	-	-
%5	3	-	0.1708	-
Referans Numune	3	-		0.9206

Metakaolin ikameli numunelerde hızlandırılmış harç çubuğu ASR deneyi genleşme sonuçları üzerinde gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre;

1. Metakaolin ikameli tüm numunelerde referans numuneye göre ASR genleşme değerlerinde azalmanın meydana geldiği,
2. %10 ~ %20 metakaolin ikame edilen numunelerde genleşme değerleri bakımından kendi içlerinde önemli bir değişikliğin olmadığı,
3. %5 ve üzeri metakaolin ikame edildiğinde standartta belirtilen sınır değerinin altında kaldığı, referans numuneye göre %81.4 oranında genleşme değerlerinde azalmanın meydana geldiği görülmüştür. Dünyada yeni bir beton katkısı olarak kullanılmakta olan metakaolin katkısının %10 ikame edilerek kullanıldığında dayanım açısından iyi sonuçlar verdiği araştırmalarla bilinmektedir. Metakaolin katkısı ile ikame ettiğimiz numunelerde yapılan ASR deney sonuçlarında olumlu sonuçlar görülmüştür.

SONUÇ

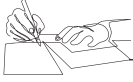
Beton üretiminde kullanılan agregalarda alkali silika bulunması, betonda zamanla çatlamaların oluşmasına ve performansının düşmesine neden olmaktadır.

Ülkemizde ASR sonucu ilk hasar, 1995 yılında İzmir yöresindeki bazı karayolu köprülerinde çatlakların gözlemlenmesi ile ortaya çıkmıştır. Ülkemizin diğer bölgelerinde de bulunan bazı agregaların ASR oluşturacak özellikte olduğu tespit edilmiştir.

Sakarya ilimiz genelinde inşaatlarda kullanılmakta olan agregalar ile üretilen beton ve harçlarda oluşabilecek alkali silika reaksiyonu genleşmesini minimum seviyeye indirmek için çalışılmıştır.

Çalışma içeriğinde hızlandırılmış harç çubuğu deney metodu uygulanmıştır. Deneyisel çalışmada mineral katkı olarak, uçucu külün %20-25, yüksek fırın cürufunun %25-35, silis dumanı ve metakaolin'in %10 oranında kullanıldığında ASR'yi azalttığı görülmüştür. Silis dumanı kullanımında bölgesel agreganın aktif silis oranlarının araştırılması gerekmektedir. Kullanılacak çimentonun Na_2O Eş-değerinin 0.60 değerinin altında olması tercih edilmelidir.

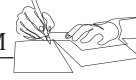
Beton elamanlarda dayanıklılık açısından en büyük tehlike sebebi olan Alkali silika reaksiyonu (ASR) ortaya çıktığı ilk günden beri devletlerin bütçelerini aşırı derecede zorlamakta olup, alkali silika reaksiyonunun azaltılması yönündeki ça-



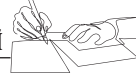
lışmalar ülkelerin başlıca amaçları arasındadır. Halen birçok ülke uygun beton karışımları deneyerek ASR'nin azaltılması hatta yok edilmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

Kaynaklar

- [1] MATHER, B., "How to make concrete that will not suffer deleterious alkali-silica reactions," Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp. 1277-1280, 1999.
- [2] BACK, F., THORSEN, T.S. and NIELSEN, M.P., "Load-carrying capacity of structural members subjected to alkali-silica reactions," Construction and Building Materials, Vol. 7, No. 2, pp. 109-115, 1993.
- [3] LEGER, P., COTE, P., and Tinawi, R., "Finite element analysis of concrete swelling due to alkali-aggregate reactions in dams," Computers and Structures, Vol. 60, No. 4, pp. 601-611, 1996.
- [4] FERNANDES, I., NORONHA, F., and TELES, M., "Microscopic analysis of alkali-aggregate reaction products in 50-year-old concrete," Material Characterization, Vol. 53, pp. 295-306, 2004.
- [5] YILDIRIM K., SÜMER M., UYSAL, M., (2013), "The Optimization of Mineral Admixture Compositions in Reducing Concrete alkali-silica Reactions. Unpublished PhD thesis
- [6] STANTON, D.E., The expansion of concrete through reaction between cement and aggregate, Proc. American Society of Civil Engineers, 66: 1781- 1811. 1940.
- [7] BLANKS, R.F., Concrete deterioration at Parker Dam, Engineering News Record 126: 462-465. 1941.
- [8] MEİSSNER, H.S., Cracking in concrete due to expansion reaction between aggregate and high alkali cement as evidenced at Parker Dam, Proc. American Concrete Institute, 37: 549-568. 1941.
- [9] KATAYAMA, T., Characteristics on Alkali Aggregate Reaction, The Study on the Maintenance and Rehabilitation of Highway Bridges in the Republic of Turkey, 11p, (unpublished). 1996.
- [10] TURANLI, L., BEKTAŞ, F., MONTERIO, P.J.M., Use of Grand Clay Brick as A Pozzolanic Material to Reduce The Alkali-Silica Reaction, Cement And Concrete Research, 33, 1539-1542, 2003.
- [11] MLADENOVIC, A., SUPUT, J.S., DUCMAN, V., SKAPINGLASSER, A.S., Alkali-Silis Reactivity of Some Frequently Used Lightweight Aggregates, Cement And Concrete Research, 34, 1809-1816, 2004.
- [12] ÇAKIR, Ö., Aköz, F., Alkali Agrega Reaksiyonunun Hızlandırılmış Deney Yöntemleriyle Araştırılması. TMMOB, İMO İstanbul Şubesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, ss. 175-184, İstanbul, 1-3 Ekim 2003.
- [13] SAĞLIK, A., KOCABEYLER, M., ORKUN, Y., HALICI, M., TUNÇ, E., Deriner



- Barajı ve Hes İnşaatı Kütle Betonunda Kullanılması Planlanan Agregalarda Alkali-Silis Reaksiyonu Riski ve Önlenmesine Yönelik Yürütülen Çalışmalar, Makale 5. Ulusal Beton Kongresi, 2003.
- [14] ZARİF, İ.H., TUĞRUL, A., DURSUN, G., İstanbul'daki Kireçtaşlarının Agrega Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, C. 16, S. 2, SS. 61-70, 2003.
- [15] BİNAL, A., Pesimum Reaktif Agrega İçeriğinin Alkali-Silis Reaksiyonuna Etkisinin DeneySEL Yöntemlerle Araştırılması, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, C.17, S.2, S.119-128, 2004.
- [16] TOSUN, K., Uçucu Kül ve Silika Tozunun Alkali Silika Reaksiyonuna Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 122 p. 2001.
- [17] ANDİÇ, Ö., Alkali-Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkıları Yardımı ile Kontrol Altına Alınması, Y.Lisans Tezi, 2002.
- [18] MUSAL, B., The Effect of Zeolite and Glass Fibres on Alkali-Silica Reaction, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, p. 141. 2003.
- [19] ANDİÇ, Ö., Alkali-Agrega Reaktivitesinin Tespitinde Kullanılan Deney Metotlarının İncelenmesi Doktora Tezi, 2007.
- [20] ASTM C-289-94 Standard Test Method for Potential Reactivity of Aggregates (Chemical Method), Annual Book of ASTM Standards, Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Aggregates, Philadelphia, PA, USA, American Society for Testing and Materials, 4 (2): 157-163, 1994.
- [21] TS 2517 Alkali Agrega Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1977.
- [22] ASTM C-227-97, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method), Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, PA, USA, American Society for Testing and Materials, 4 (2): 126-130, 1994.
- [23] ASTM C-1260-94, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Aggregates, Philadelphia, PA, USA, American Society for Testing and Materials, 4 (2): 650-653, (1994)
- [24] TS 3322 Çimento Harcı ve Beton Numunelerinde Boy Değişim Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1979.
- [25] TS-EN 197-1 Genel Çimentolar-Bileşim Özellikler ve Uygunluk Kriterleri Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

**CHAPTER
15****PARALEL HESAPLAMA KULLANILARAK
HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI
İLE EN KISA YOL PROBLEMİNİN
OPTİMİZASYONU****Muhammer İLKUÇAR¹, Ahmet ÇİFCİ²****1.GİRİŞ**

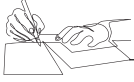
Karar verme süreci açısından en iyi veya en uygun çözüme ulaşmak önemlidir. İnsan, karar verici olarak mantığı ve deneyimleri ölçüsünde en iyi çözüme ulaşmaya çalışmıştır. Matematiğin gelişimiyle birlikte karmaşık sistemlerde karar vermenin zorluğu nedeniyle, en iyi çözüme ulaşmak için matematiksel uygulamalar ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri olan optimizasyon, bir dizi mevcut alternatif arasından en iyi unsuru seçme veya bulma sürecini ifade eder. Her sürecin optimize edilme potansiyeli vardır. Örneğin; bilim, mühendislik, ekonomi ve iş dünyasındaki birçok zorlayıcı problem, optimizasyon problemleri olarak formüle edilebilir. Formüle edilmiş bir optimizasyon probleminin amacı zaman, maliyet ve riskin en aza indirilmesi veya kâr, kalite ve verimliliğin maksimizasyonu olabilir (Yadav vd., 2012). Optimizasyon yöntemleri endüstriyel planlama, kaynak tahsisi, ekonometri problemleri, zamanlama, karar verme, mühendislik ve bilgisayar bilimi uygulamaları için yaygın olarak kullanılır (Alia ve Mandava, 2011). Optimizasyondan, karar verme süreçlerini hızlandırdığından ve karar kalitesini arttırdığından günlük hayatta karşılaşılan problemlerin etkin, doğru ve gerçek zamanlı çözümünde de faydalanılmaktadır (Türkay, 2018).

Son yıllarda, çeşitli mühendislik optimizasyon problemlerini çözmek için çok sayıda algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmaların çoğu, sayısal doğrusal ve doğrusal olmayan programlama yöntemlerine dayanmaktadır. Bu sayısal optimizasyon algoritmaları, basit ve ideal modellerde geniş çaplı optimumu elde etmek için yararlı bir strateji sunar (Lee ve Geem, 2005). Bununla birlikte, pek çok gerçek mühendislik optimizasyonu problemi çok karmaşıktır ve bu algoritmaları kullanarak çözmek oldukça zordur. Uygulanan klasik optimizasyon yöntemleri başlangıç noktasına oldukça hassastır ve sıklıkla kısıtlı optimum bir çözüme yaklaşır veya tamamen birbirinden uzaklaşır (Yadav vd., 2012).

Klasik optimizasyon yöntemleri direk arama yöntemi ve gradyan arama yöntemi olmak üzere iki gruba ayrılır. Direk arama yöntemlerinde, arama sürecinde yalnızca amaç fonksiyonu ve kısıtlama değeri kullanılırken, gradyan temelli yöntemlerde ise arama süreci için birinci ve/veya ikinci dereceden türevleri kullanılmaktadır. Birinci ve/veya ikinci dereceden türev kullanılmadığından, direk arama yöntemleri genellikle yavaştır ve yakınsama için birçok fonksiyon yineleme gerektirir. Aynı nedenden dolayı, algoritmada büyük bir değişiklik yapılmaksızın

1 Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fethiye İşletme Fakültesi, Muğla

2 Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, BurdurSorumlu Yazar (Corresponding author)



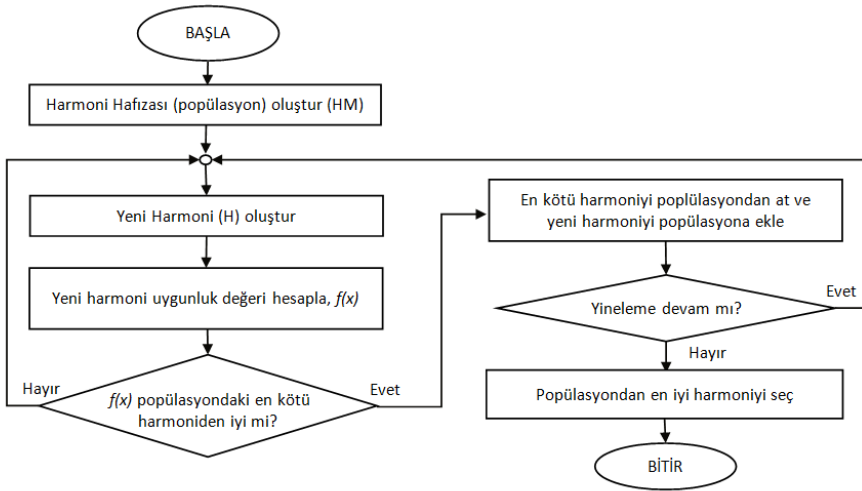
birçok probleme uygulanabilir. Öte yandan, gradyan temelli yöntemler optimal bir çözüme çabucak kavuşur, ancak türevi alınamayan veya sürekli olmayan problemlerde etkili değildir (Manjarres vd., 2013). Mevcut sayısal yöntemlerin hesaba dayalı zorlukları, mühendislik optimizasyon problemlerini çözmek için araştırmacıları, simülasyonlara dayanan meta-sezgisel algoritmalara yönlendirmiştir. Bu algoritmalar arasında genetik algoritmalar (Holland, 1975; Goldberg, 1989), evrimsel algoritmalar (Fogel, 1966), karınca kolonisi optimizasyonu (Dorigo, 1992), parçacık sürü optimizasyonu (Kennedy ve Eberhart, 1995), tabu arama (Glover, 1977), harmoni arama algoritması (Geem vd., 2001) ve arı kolonisi algoritması (Karaboğa, 2005) bulunmaktadır.

Bilgisayarların işlem hızı artmasına rağmen veriler çok daha büyük bir hızla artmaktadır. Bununla birlikte veri işleme algoritmaları da daha fazla işleme ihtiyacı duymaktadır. Bu gibi ihtiyaçlara cevap verebilmek için, günümüzde birden çok işlemci çekirdeği (CPU-core) tek bir işlemci içine entegre edilmiş işlemciler üretilmektedir. Bu işlemciler paralel çalıştırılarak işlerin daha kısa sürede yapılmasına imkân sağlamaktadır. Çok daha büyük verilerin makul sürelerde işlenebilmesi için, birden çok bilgisayar paralel şekilde (süper bilgisayar) çalıştırılabilmektedir. Jung ve arkadaşları (2016) su ve atık su planlaması optimizasyonu işlemini birden çok harmoni arama algoritmasını aynı anda farklı işlemcilerde çalıştırarak hesaplamışlardır.

Bu çalışmada harmoni arama (HA) algoritması ile en kısa tur problemi dört çekirdekli bir kişisel bilgisayar üzerinde C# .NET programlama dili kullanılarak paralel çalıştırılarak hesaplaması yapılmıştır.

2. HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI

Harmoni arama algoritması; farklı enstrümanların akort edilerek çıkardıkları farklı seslerden oluşan senfoni taklit edilerek geliştirilmiş bir arama ve optimizasyon algoritmasıdır (Geem vd., 2001). HA algoritması popülasyon temellidir ve evrimsel olarak en uygun çözüme ulaşır. Bunun için; yeni harmoniler oluşturulup popülasyona eklenirken, uygunluk değeri kötü olan harmoni de popülasyondan atılır. Bu işlemler sonlanma kriterleri sağlanana kadar tekrarlandığında (yineleme) uygun çözüme doğru evirildiği görülecektir. HA algoritmasının akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Harmoni arama algoritması akış diyagramı

Başlangıçta rastgele oluşturulan Harmoni (H) (Denklem 1) ile bir harmoni hafızası (Harmoni Memory -HM) (Denklem 2) başlangıç çözüm kümesi (popülasyon) oluşturulur.

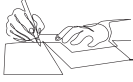
Yeni Harmoni (H): $x'_i = x'_1, x'_2, \dots, x'_N$;
 N: Harmoni eleman sayısı (Enstrüman sayısı) (1)

$$Harmony\ Memory\ (HM) = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_N^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f(x^1) \\ f(x^2) \\ \dots \\ f(x^{HMS}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Harmonilerin uygunluğunu belirleyen amaç fonksiyonuna göre her bir harmoninin uygunluk (fitness) değerleri hesaplanır. Harmoni uygunluk değerleri; onun popülasyon kalıp kalmayacağını ve yeni harmoni oluşumunda kullanılma ihtimalini belirler. Yeni harmoni hafızası Denklem 3'teki gibi, belirli oranda HMCR (Harmoni Memory Considering Rate- Harmoni hafızadan seçme oranı) oranında harmoniden, (1-HMCR) oranında ise çözüm uzayından rastgele seçilerek oluşturulur.

$$x'_i = \begin{cases} x'_i \in (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{HMS}) & , HMCR \text{ oranında} \\ x'_i & , (1 - HMCR) \text{ oranında} \end{cases} \quad (3)$$

Elde edilen yeni harmonide belirli oranda değişiklik yapılır (akort). Bunun için Denklem 4'teki gibi PAR (Pitch Adjusting Rate- akort) olasılığında bir miktar ($\pm \text{random}(0,1) * bw$) değiştirilir.



$$x'_i = \begin{cases} x'_i \leftarrow x'_i \pm (Rnd(0,1) * bw), & PAR \text{ oranında} \\ x'_i \leftarrow x'_i & , (1 - PAR) \text{ oranında} \end{cases} \quad (4)$$

H : Harmoni

HM : Harmoni Hafızası (Harmony Memory)

f(x) : Amaç Fonksiyonu (Object Function)

HMS : Harmoni Hafıza Büyüklüğü (Harmony Memory Size)

HMCR : Harmoni Hafızadan Seçme Oranı (Harmony Memory Considering Rate)

PAR : Akort Yapılma Oranı (Pitch Adjusting Rate)

BW : Band Genişliği (Bandwith)

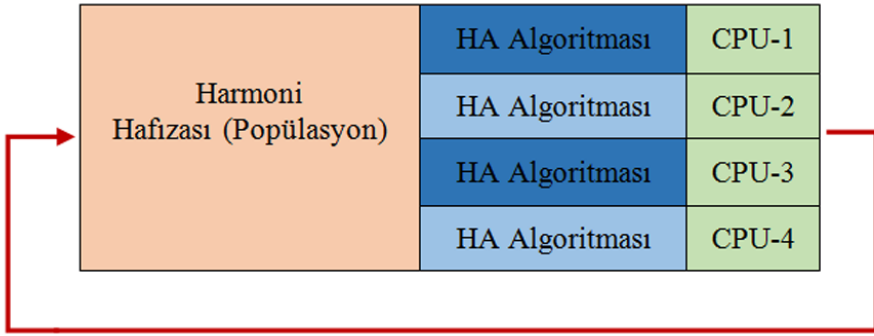
3. PARALEL HESAPLAMA İLE HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI

Bu çalışmada, Google Haritalar yardımıyla elde edilmiş 11 noktanın birbirine olan mesafeleri (Tablo 1) (İlkuçar ve Çetinkaya, 2018) dikkate alınarak, bu noktalar arasındaki en kısa yol optimizasyonu harmoni arama algoritması kullanılarak yapılmıştır. Harmoni arama algoritması hesaplama işlemleri için C#.NET programlama dili ile paralel programlama yöntemi kullanılmıştır.

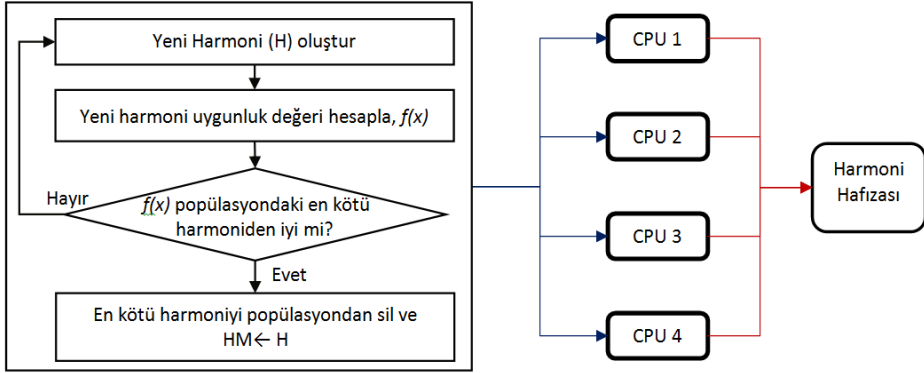
Tablo 1. Google haritadan elde edilmiş 11 noktanın birbirleri ile olan mesafeleri (km)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	-	50,6	148,8	111,1	111,3	45,2	37,3	30,2	42,5
B	50	-	156	127,9	128,2	24,8	19,4	47	59,4
C	149,9	162,3	-	67	76,2	139,3	151,8	120,3	108,7
D	111	128,4	75,4	-	19,3	123	115	81,5	69,9
E	111,3	128,7	75	19,4	-	120	115,4	81,8	70,2
F	45,2	24,3	132,6	120,2	119,8	-	13,9	42,2	54,6
G	38,1	19,3	145	116	116,3	13,9	-	35,1	47,4
H	31,5	48,9	119,2	81,5	81,8	43,4	35,5	-	13
I	42,5	59,9	108	70,3	70,5	54,4	46,5	12,9	-

Çalışma; Şekil 2 ve Şekil 3'te görüldüğü gibi harmoni arama algoritması tüm süreçleri, paralel olarak, farklı işlemci üzerinde çalıştırılarak gerçekleştirilmiştir. İşlemler sırasında aynı popülasyon (Harmoni Hafızası) kullanılmış, böylece her bir işlemci, harmoni arama süreçlerini aynı popülasyon üzerinden yaparak daha kısa sürede daha fazla yineleme yapılması sağlanmış ve optimizasyon süreci hızlandırılmıştır.

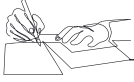


Şekil 2. HA algoritması popülasyonu paralel olarak güncellenmesi



Şekil 3. Paralel birden çok HA algoritmasının çalıştırılarak popülasyonun evrilmesi

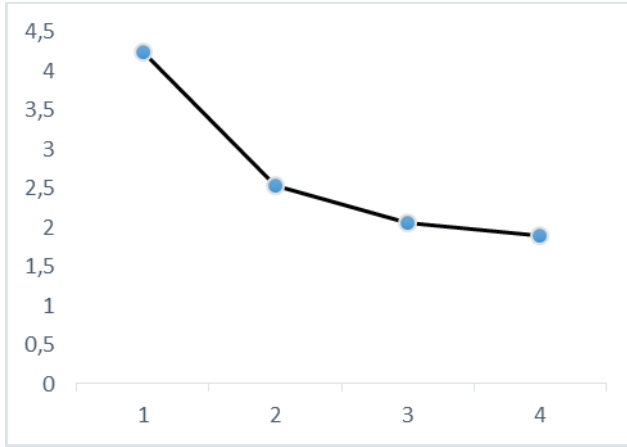
Harmoni arama algoritması, birden çok işlemci üzerinde paralel çalıştırılarak, Tablo 1'deki yer-konum- uzaklık verileri dikkate alınarak, en kısa yolun bulunması hesaplaması yapılmış ve en iyi yol B-F-C-D-E-I-H-A-G (412.9 Km) olarak elde edilmiştir. Hesaplamalarda harmoni arama algoritması parametreleri olarak; $HM:100$, $HMCR:0.6$, $PAR:0.6$, $bw:0.8$ olarak alınarak, 3000 yineleme yapılmıştır. Yinelemeler; 3000x1 işlemci, 1500x2 işlemci, 1000x3 işlemci ve 750x4 işlemci şeklinde tekrarlanmıştır. Birden çok işlemcinin paralel çalıştırılması ile yapılan yinelemeler sonunda işlem süresi, işlem süreleri arasındaki fark ve oranlar Tablo 2'ye aktarılmıştır.



Tablo 2. Farklı sayıda işlemci paralel çalıştırılarak elde edilen süreler ve süreler arasındaki fark ve oransal büyüklükler

Paralel çalışan CPU (çekirdek) sayısı	İşlem süresi (sn)	Bir işlemci çalışması ile arasındaki süre farkı	Bir işlemciye göre hesaplama süresi kısalma oranı
1	4,25	-	-
2	2,53	1,72	40,5
3	2,065	2,185	51,4
4	1,899	2,351	55,3

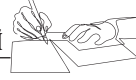
Tablo 2'ye göre tek işlemci kullanılarak çalıştırıldığında 4.25 sn'de yapılırken iki işlemci ile bu süre 2.53 sn'ye düşmüştür. Arasındaki fark 1.72 sn ve oran olarak da aynı işlem %40.5'lik daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Dört işlemci paralel çalıştırıldığında işlem süresi 1.899 sn ve 1 işlemci ile kıyaslandığında %55.3 lük daha kısa sürede yapılmıştır. Paralel çalışan işlemci sayısı ile hesaplama süresi arasındaki ilişki Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi işlemci sayısının daha fazla artması sürede aynı oranda bir kısaltmaya neden olmamaktadır.



Şekil 4. İşlem süresi ve paralel çalışan işlemci sayısı grafiği

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada harmoni arama algoritması ile yapılacak arama ve optimizasyon işlemleri, paralel programlama yöntemi ile hesaplanarak işlem süresi azaltılmıştır. Gerçek hayattan, Google Haritalar kullanılarak elde edilmiş, on bir noktadan oluşan, en kısa yol problemi, dört çekirdekli Intel I5 650 işlemcisi ve 4 GB RAM olan bir kişisel bilgisayarda, normal, iki, üç ve dört çekirdek paralel çalıştırılarak test edilmiştir. İki CPU paralel çalışması ile aynı iş %40.5 daha kısa sürede yapılırken, paralel çalışan CPU sayısı üç iken %51.4 ve dört CPU paralel çalıştırıldığında ise yaklaşık %55.3 oranda daha kısa sürede tamamlanmıştır.



Çalışma; genetik, diferansiyel gelişim gibi popülasyon temelli evrimsel arama ve optimizasyon algoritmalarının kullanıldığı, özellikle büyük ölçekli problemlerin çözümünde işlem süresi, kullanılan cihazın işlemci çekirdek sayısına göre azalarak daha hızlı ve etkin karar almaya katkı sağlayacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Alia, O.M., Mandava R. (2011). The variants of the harmony search algorithm: an overview. *Artificial Intelligence Review*, 36(1), 49-68. doi: 10.1007/s10462-010-9201-y
2. Dorigo, M. (1992). *Optimization, learning and natural algorithms*. PhD thesis. Politecnico di Milano, Milano, Italy.
3. Fogel, L.J., Owens, A.J., Walsh, M.J. (1966). *Artificial intelligence through simulated evolution*. Chichester, UK: John Wiley.
4. Geem, Z.W., Kim, J.-H., Loganathan, G.V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search, *Simulation*, 76(2), 60-68. doi: 10.1177/003754970107600201
5. Glover, F. (1977). Heuristic for integer programming using surrogate constraints, *Decision Sciences*, 8(1), 156-166. doi: 10.1111/j.1540-5915.1977.tb01074.x
6. Goldberg, D.E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Boston, MA: Addison Wesley.
7. Holland, J.H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
8. İlkuçar M., Çetinkaya A. (2018). Optimization of local travelling route supported with mobile phone and google maps: case study of Burdur, *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 5(1), 64-74. doi: 10.30798/makuiibf.356320
9. Jung D., Choi J., Choi Y.H., Kim J., H., (2016), "A New Parallelization Scheme for Harmony Search Algorithm", *Harmony search algorithm: Proceedings of the 2nd international conference on harmony search algorithm (ICHSA 2015)* 123 (pp.147-152), Article · January 2016, DOI: 10.1007/978-3-662-47926-1_15
10. Karaboga, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, *Technical Report TR06*, Erciyes University, Kayseri.
11. Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization, *IEEE International Conference on Neural Networks*, 4, 1942-1948, Perth, WA, Australia: IEEE. doi: 10.1109/ICNN.1995.488968
12. Lee, K.S., Geem, Z.W. (2005). A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194(36-38), 3902-3933. doi: 10.1016/j.cma.2004.09.007
13. Türkay, M., *Optimizasyon modelleri ve çözüm metodları*. Erişim tarihi: 17.10.2018, <http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/optimizasyon.pdf>.
14. Yadav, P., Kumar, R., Panda, S.K., Chang, C.S. (2012). An intelligent tuned harmony search algorithm for optimisation, *Information Sciences—Informatics and Computer Science, Intelligent Systems, Applications: An International Journal*, 196, 47-72. doi: 10.1016/j.ins.2011.12.035

CHAPTER 16

SABİT KANATLI HAVA ARAÇLARINDA UÇUŞ KONTROL SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

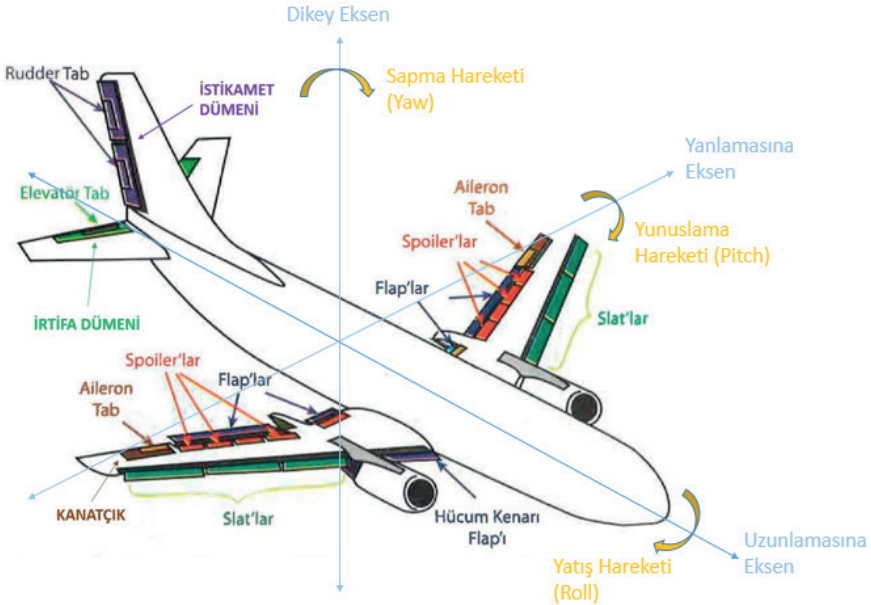
Mustafa AKIN¹, Hamdi ERCAN², Muharrem Selim CAN³

Giriş

Wright kardeşlerin Flyer I adlı uçağı ilk motorlu uçuşu gerçekleştirdiği 17 Aralık 1903'ten [1] günümüze kadar uçuş kontrol sistemlerinde çok büyük oranda ilerleme kat edilmiştir. Geleneksel sabit kanatlı hava aracı olarak da bilinen bir uçağın uçuş kontrol sistemi, uçuş kontrol yüzeylerinden, ilgili kokpit kontrollerinden, mafsallı bağlantılardan ve bir uçağın uçuş yönünü kontrol etmek için gerekli işletim mekanizmalarından oluşur. Uçak motorları da hız değiştikçe uçuş kontrolleri olarak kabul edilir [2].

1. Uçuş Kontrolleri

Bir uçağın, tümü uçağın ağırlık merkezinden geçen ve birbirine dik üç hayali eksene sahip olduğu kabul edilir ve uçağın manevraları, bu eksenler etrafındaki dönüşlere göre tanımlanır. Şekil 1'de uçuş eksenleri ve günümüz modern sivil nakliye uçaklarında kullanılan kontrol yüzeyleri görülmektedir.

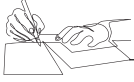


Şekil 1 Uçuş eksenleri ve uçuş kontrol yüzeyleri [3]

1 Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri

2 Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri

3 Sivil Havacılık Yüksekokulu, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay



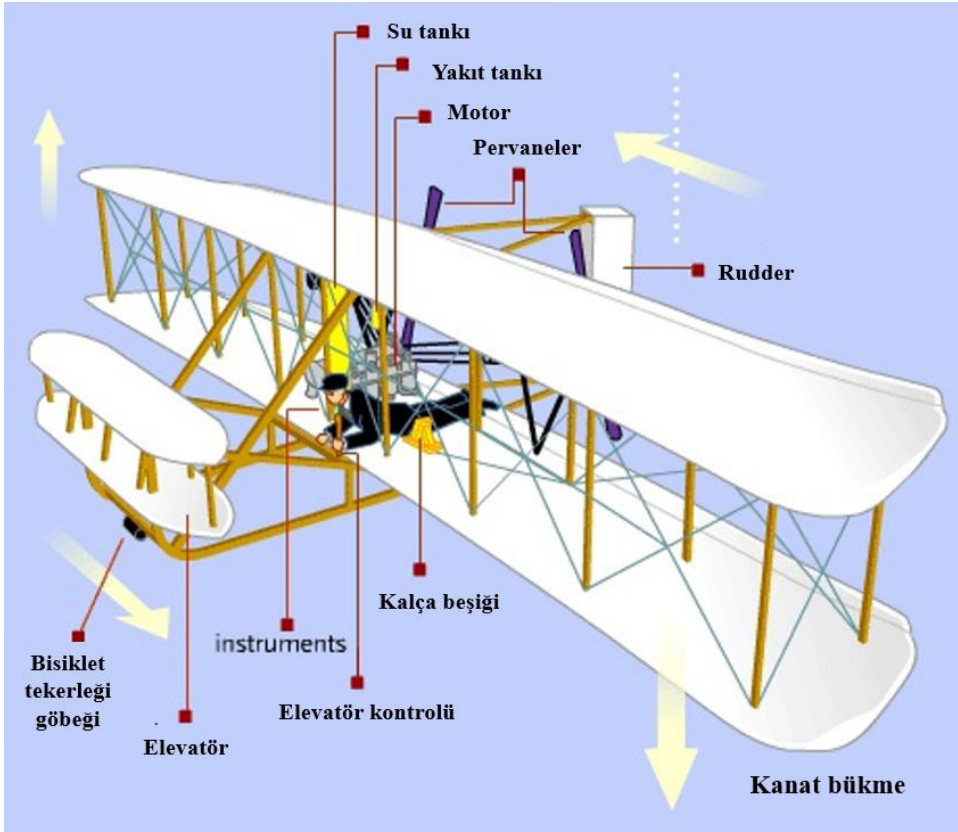
Uzunlamasına eksen, uçağın burun simetri noktasından kuyruk simetri noktasına uzanan eksendir. Bu eksen etrafındaki dönüşler yatış (roll) veya yuvarlanma hareketi olarak adlandırılır. Yanal eksen, uçağın bir kanat ucundan diğer kanat ucuna doğru uzanan eksendir. Bu eksen etrafındaki dönüşler yunuslama (pitch) hareketi olarak adlandırılır. Dikey eksen, uçağın tepesinden tabanına doğru uzanan eksendir uçak yere paralel iken bu eksen de yerçekimi kuvvetine paraleldir. Bu eksen etrafındaki dönüşler sapma (yaw) hareketi olarak adlandırılır.

Uçağın doğrudan üç eksen etrafında dönüşlerini sağlayan kontrol yüzeyleri birincil kontrol yüzeyleri olarak adlandırılır. Kanatların firar kenarı ve uç bölgesine yerleştirilmiş menteşeli kontrol yüzeyi olan kanatçık (aileron), uçağın uzunlamasına eksen etrafında kararlılığını ve yatış manevrası yapmasını sağlamaktadır. Uçağın yatay stabilizesi (kuyruğu) firar kenarında bulunan irtifa dümeni (elevatör), uçağın yanal ekseni etrafında kararlılığını ve yunuslama manevrası yapmasını sağlamaktadır. Uçağın dikey stabilizesi üzerinde bulunan istikamet dümeni (rudder) ise uçağın dikey eksen etrafında kararlılığını ve sapma manevrası yapmasını sağlamaktadır.

İkincil uçuş kontrol yüzeyleri, birincil uçuş kontrol yüzeyleri gibi doğrudan üç eksen etrafında manevra yapmak için kullanılmazlar. Fakat uçağın taşıma ve sürüklenme kuvvetlerini arttırmak veya azaltmak, birincil uçuş kontrol yüzeylerinin hareketlerini kolaylaştırmak veya sınırlamak gibi amaçlar için kullanılırlar. Uçağın taşıma kuvvetini arttırmak ve stall oluşumunu geciktirmek için kullanılan flaplar ve slatlar uçak kanadının firar kenarında bulunur. Hücum kenarında bulunun flap tipleri de vardır. Slatlar ise uçak kanadının hücum kenarında bulunur. Uçak kanadının üst yüzeyinde bulunan ve yalnızca yukarı yönlü hareket eden spoilerler, taşıma kuvvetini azaltmak ve sürüklenme kuvvetini arttırmak amacıyla kullanılırlar. Fletnerler (tablar), birincil uçuş kontrol yüzeylerinin hareketlerini bazen kolaylaştırmak, bazen sınırlamak amacıyla bazı durumlarda ise uçağın sürekli maruz kaldığı dengesiz bir durumu (örneğin uçağın yan rüzgâra maruz kalması) düzeltmek için kullanılırlar. Tablar, birincil uçuş kontrol yüzeylerinin firar kenarına yerleştirilmişlerdir.

2. Mekanik Uçuş Kontrol Sistemi

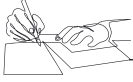
Mekanik veya elle çalıştırılan uçuş kontrol sistemleri, bir uçağı kontrol etmenin en temel yöntemidir. Havacılığın erken dönemlerindeki ilk uçaklarda roll kontrolü için Aileron gibi menteşeli kontrol yüzeyleri kullanılmadan önce kanat bükme (wing-warping) sistemi kullanılmıştır. Wright Kardeşlerin Flyer I (1903) adlı uçağı gibi Antoinette V (1908) ve Blériot XI (1909) isimli uçaklarda da kanat bükme sistemini kullanılmıştır. Şekil 3'de Wright Kardeşlerin Flyer I adlı uçağı ve kanat bükme sistemi gösterilmektedir.



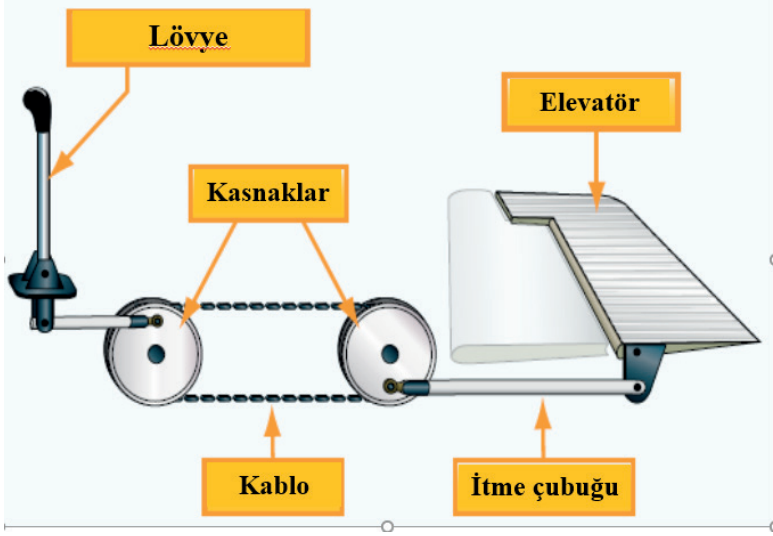
Şekil 3 Wright Kardeşlerin "Flyer I" adlı uçağında kanat bükme sistemi [4]

Wright Kardeşler, yatış ve sapma manevralarını kontrol etmek için bir kalça beşiği (hip cradle) kullanmıştır [1,4]. Pilot kalçasını yana doğru hareket ettirerek ilgili manevraları gerçekleştirebilmektedir. Beşik, uçağın kanat uçlarına tellerle bağlanmıştır. Beşik hareket ettirilmesi kanatların bükülmesini ve uçağın yatış manevrası yapmasını sağlar. Beşik ayrıca uçağın istikamet dümenine de bağlıdır. Pilotun beşiği hareket ettirmesi aynı zamanda uçağın sapma hareketi yapmasını da sağlar. İrtifa kontrolü için pilotun sol eliyle çalıştırılan bir manivela, bir kaskak sistemi ile uçağın irtifa dümenine bağlanmıştır [1,4]. Bu kontrol ile pilot, irtifa dümeninin eğimini ayarlayabilir ve uçağın yunuslama manevrasını gerçekleştirebilir.

1904'te Flyer II, zamanının koordineli dönüş yapan tek uçağı olarak bilinmektedir ve menteşeli kontrol yüzeyi kullanan diğer uçaklardan daha iyi kontrol sağlamıştır [5]. Fakat 1908 yılından itibaren aileron tasarımları rafine edildiğinden aileronların, kanat bükme tekniğinden çok daha etkili ve pratik olduğu ortaya çıkmıştır [5]. Bu şekilde menteşeli kontrol yüzeyleri ile birlikte mekanik uçuş kontrol sistemine sahip olan ve Birinci Dünya Savaşı sırasında en popüler uçaklardan biri olan İngiliz Avro 504, toplam 8970 adet üretilmiş ve 1913 yılından 1934 yılına kadar kullanılmıştır [6,7].



Manuel uçuş kontrol sistemi, kokpit kontrollerine uygulanan kuvvetleri doğrudan kontrol yüzeylerine iletmek için itme-çekme çubukları, germe kabloları, kasnaklar, karşı ağırlıklar ve bazen zincirler gibi mekanik parçaların bir derlemesini kullanmaktadır ve pilot kontrol yüzeylerinde oluşan yükü doğrudan hissederek [2,8]. Bu sistemler havacılık tarihinin ilk motorlu uçaklarında ve günümüzde aerodinamik kuvvetlerin fazla olmadığı uçaklarda da kullanılmaktadır. Şekil 2’de mekanik uçuş kontrol sisteminin basit bir prensip şeması verilmiştir.



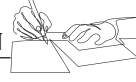
Şekil 2. Mekanik uçuş kontrol sistemi [9]

Büyük uçakların gerektirdiği daha büyük kontrol yüzey alanı veya küçük uçaklardaki yüksek hava hızlarının neden olduğu daha yüksek aerodinamik yükler, kontrol yüzeylerini hareket ettirmek için gerekli kuvvetlerde büyük bir artışa neden olur. Sonuç olarak, pilotlardan gereken kuvvetleri azaltmak ve maksimum mekanik avantajı elde etmek için karmaşık mekanik dişli düzenekleri geliştirilmiştir. Bu düzenleme, Fokker 50 gibi daha büyük veya daha yüksek performanslı pervane uçaklarında bulunabilir [2].

Bazı mekanik uçuş kontrol sistemleri, aerodinamik yardım sağlayan servo-tabları kullanır. Servo-tablar, kontrol yüzeylerine menteşelenmiş küçük yüzeylerdir. Uçuş kontrol mekanizmaları bu tabları hareket ettirir, aerodinamik kuvvetler kontrol yüzeylerinin hareketine yardımcı olur ve gereken mekanik kuvvet miktarını azaltır. Bu tertip erken dönem piston motorlu uçaklarda ve erken dönem gaz türbinli motorlu uçaklarda kullanılmıştır. Boeing 737, toplam hidrolik sistem arızası durumunda, otomatik olarak ve sorunsuz bir şekilde servo-tab yoluyla mekanik kontrol edilmeye geri dönecek şekilde bir sistem içermektedir [2].

3. Hidro-Mekanik Uçuş Kontrol Sistemi

Uçaklar büyüdükçe ve hızları arttıkça kontrol yüzeylerine etki eden aerodinamik kuvvetler katlanarak artmıştır. Pilotların ihtiyaç duyduğu kontrol kuvvetini



yönetebilmek için hidro-mekanik tasarımlar kullanılmıştır.

Bir hidro-mekanik uçuş kontrol sistemi aşağıda belirtildiği gibi iki bölümden oluşmaktadır:

- Kokpit kontrollerini hidrolik devrelere bağlayan mekanik devre; mekanik uçuş kontrol sistemi gibi, çubuklar, kablolar, kasnaklar ve bazen zincirlerden oluşmaktadır.
- Kontrol yüzeylerinin hareketini kolaylaştıran hidrolik devre; hidrolik pompalar, rezervuarlar, filtreler, borular, valfler ve aktüatörlerden oluşmaktadır.

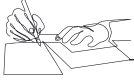
Hidrolik pompalar iki tipti; bunlar motor tahrikli pompa ve elektrikli pompa-dır. Motor tahrikli pompa uçak motorunun aksesuar dişli kutusu ile mekanik olarak irtibatlıdır. Rezervuarlar, her bir hidrolik pompa için hidrolik sıvı beslemesini muhafaza etmek ve pompa kavitasyonunu⁴ önlemek için sıvıyı basınç altında depolamaktadır. Filtreler, hidrolik sıvıdaki parçacıkları süzerek parçacıkların hidrolik sistem elemanlarına zarar vermesini önler. Borular; pompalar rezervuarlar, aktüatörler arasında hidrolik sıvı iletimini sağlar. Valfler, hidrolik sıvının yönünü denetleyen devre elemanlarıdır.

Genel olarak aktüatör, bir sistemi veya mekanizmayı; hareket ettiren veya kontrol eden bir cihazdır. Aktüatörün bir enerji kaynağı ve kontrol sinyali olmalıdır. Enerji kaynağı elektrik gücü, hidrolik güç veya pnömatik güç olabilir. Kontrol sinyali ise mekanik (veya doğrudan insan gücü), elektriksel, hidrolik veya pnömatik olabilir. Kontrol sinyali gücü, nispeten enerji kaynağı gücüne göre çok daha küçük değerlerdedir. Hidro-mekanik sistemlerde aktüatörün enerji kaynağı hidrolik, sinyalizasyonu ise mekaniktir.

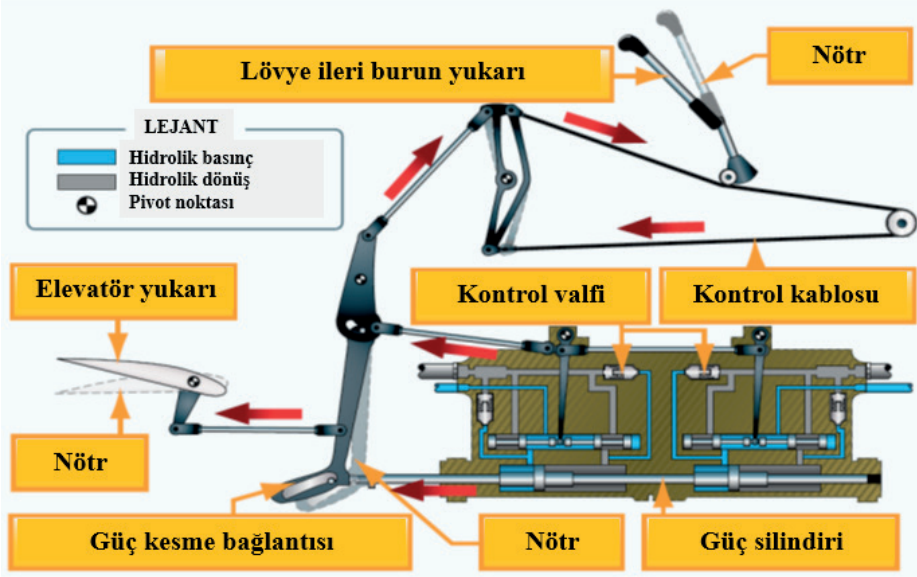
Birçok uçakta, 1920'ler ve 1930'larda iniş takımlarının içeri alınması ve salınması işlemi ile iniş takımı tekerlek frenlerinde hidrolik sıvı kullanılmıştır. Uçuş kontrollerinde ise ilk 1934 yılında Douglas DC-3 uçağının flap sisteminde hidrolik sıvı kullanılmaya başlanmıştır [10]. Fakat Lockheed Constellation (1943) askeri nakliye uçağı ve P-80 (1945) ABD'nin ilk jet savaş uçağına kadar uçakların birincil uçuş kontrol yüzeylerinde hidrolik güç kullanılmamıştır [10]. Havacılıktaki ilk hidrolik sistemler 1500 psi ve daha düşük basınçlarda kullanılmış, 1950'lerde ise 3000 psi basınç uzun yıllar boyunca havacılıkta bir standart haline gelmiştir [10].

Geleneksel mekanik sistem, kokpit kontrollerini hidrolik sisteme bağlar. Sistemin devreye girmesiyle, pilotun bir kontrol hareketi, mekanik bağlantılar aracılığıyla hidrolik servo valfleri açmakta, böylece sistem hidrolik sıvıyı kontrol yüzeylerine bağlı hidrolik aktüatörlere göndermekte ve aktüatörler ilgili kontrol yüzeyinin hareketini gerçekleştirmektedir. Aktüatör hareket ettikçe, servo valf, kontrol yüzeyinin istenen pozisyonda hareketini durduran mekanik bir geri besleme bağlantısı ile kapatılır. Hidro-mekanik uçuş kontrol sistemlerinde uçuş kontrol yüzeylerine bağlı aktüatörlerin sinyalizasyonu mekanik, enerji kaynağı

4 Kavitasyon, akan bir sıvıda alçak basınçlı buhar boşluklarının meydana gelmesi olarak basit bir şekilde açıklanabilir. Kavitasyon pompa ömrünü kısaltan bir olaydır.



ise hidroliktir. Şekil 4'te bir hidro-mekanik uçuş kontrol sisteminin basitleştirilmiş şeması gösterilmektedir.

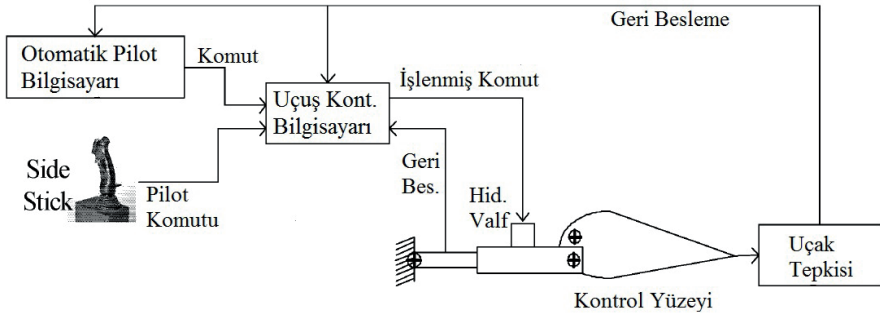


Şekil 4. Hidro-mekanik uçuş kontrol sistemi [9]

Uçaklarda hidro-mekanik sistemlerin kullanılmaya başlanmasıyla kontrol yüzeylerinin maruz kaldığı aerodinamik yükler, pilot kas gücü yerine aktüatörler tarafından karşılanmaktadır. Bu sebeple hidro-mekanik uçuş kontrol sistemlerinde pilot tarafından kontrol yüzeyleri üzerindeki yük hissedilemez ve aşırı kontrol yüzey hareketi ile uçağın aşırı yüklenme riski vardır [2]. Bu problemin üstesinden gelmek için yapay duyu sistemleri kullanılabilir.

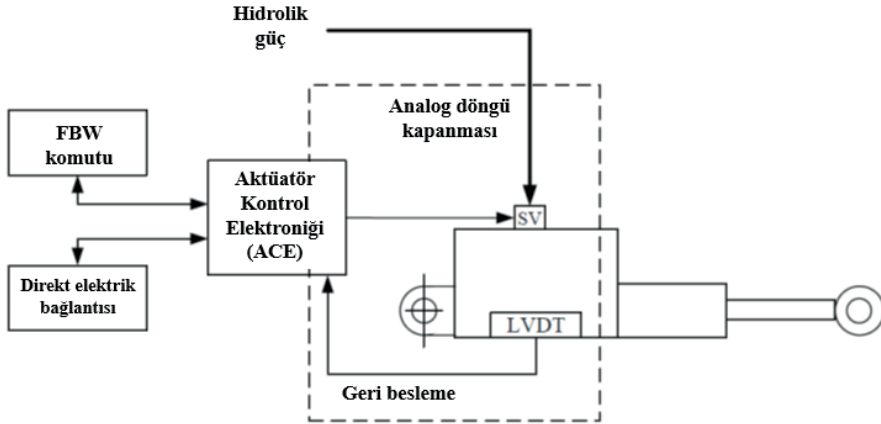
4. Fly-by-Wire Uçuş Kontrol Sistemi

Günümüzde modern uçakların büyük çoğunluğunda kullanılan fly-by-wire (FBW) uçuş kontrol sistemlerinde uçuş kontrol yüzeylerine bağlı aktüatörlerin sinyalizasyonu elektrikseldir ve ismini de buradan almıştır. Mekanik ve hidro-mekanik uçuş kontrol sistemlerinde kullanılan itme-çekme çubukları, germe kabloları, kasnaklar, karşı ağırlıklar ve zincirler gibi mekanik parçaların yerini elektrik kabloları, sensörler ve bilgisayarlar almıştır. Şekil 5'te FBW uçuş kontrol sisteminin basitleştirilmiş blok şeması görülmektedir.



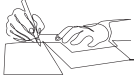
Şekil 5. Fly-by-wire uçuş kontrol sisteminin basitleştirilmiş blok şeması [11]

Bu sistemde kokpit kontrol komutları, elektronik sinyallere dönüştürülerek uçuş kontrol bilgisayarına gönderilir, uçuş kontrol bilgisayarına verilen komutu sağlamak için her kontrol yüzeyinde aktüatörlerin nasıl hareket ettirileceğini belirleyerek hidrolik valfe sinyal göndererek ilgili aktüatörün çalışması sağlanır. Pozisyon sensörleri ilgili kontrol yüzeylerinin durumunu ve uçak tepkisini bilgisayarlara geri bildirimde bulunur. Şekil 6'da FBW uçuş kontrol sistemlerinde kullanılan servo-valf kontrollü hidrolik aktüatörün (SHA) basitleştirilmiş şeması görülmektedir.



Şekil 6. FBW uçuş kontrol sistemlerinde kullanılan SHA [12]

Uçuş kontrol sisteminden gelen dijital FBW veya doğrudan bağlantı talepleri, aktüatör servo-valfine bir analog komut sağlayan aktüatör kontrol elektroniği birimi (Actuator Control Electronics, ACE) tarafından işlenir. Bu işlem, uçak hidrolik sistemi gücünün, aktüatör pistonunun uygun tarafına, pistonun istenen konuma hareket ettirilmesini sağlar. Bu uygulamada, piston konumu, aktüatör etrafındaki döngünün kapalı olduğu ACE'ye geri beslenen bir doğrusal değişken diferansiyel dönüştürücü (Linear Variable Differential Transducer, LVDT) vası-



tasıyla tespit edilir. Bu nedenle ACE iki işlevi yerine getirir, bunlar; dijital uçuş kontrol taleplerinin analog sinyallere dönüştürülmesi ve aktüatörün etrafındaki analog döngünün tamamlanmasıdır.

1976 yılında hizmete giren Concorde, yedek hidro-mekanik uçuş kontrol sistemi ile birlikte ilk analog FBW uçuş kontrol sistemini kullanan ve seston hızlı uçuşu gerçekleştiren ilk sivil uçaktır [13,14]. Rudder ve trim ayarı yapılabilir ya-tay stabilize (trimmable horizontal stabilizer, THS) için yedek mekanik sinyalizasyon ile birlikte üç eksenle kontrol sağlayan yedi adet uçuş kontrol bilgisayarı ile tam otorite dijital FBW uçuş kontrol sistemine sahip ilk sivil uçak Airbus A320 1988 yılında hizmete girmiştir [13,15]. 2007 yılında hizmete giren Airbus A380 ise altı dijital bilgisayar ile bünyesinde hiçbir yedek mekanik sinyalizasyon sistemi barındırmayan FBW uçuş kontrol sistemi ile donatılmıştır [13].

4.1. Fly-by-Light Uçuş Kontrol Sistemi (Optik Veri iletimi)

Fly-by-light (FBL) uçuş kontrol sistemi ile FBW uçuş kontrol sistemi arasındaki temel fark, kontrol sinyalinin iletken kablo yerine fiber optik kablo üzerinden iletilmesidir. Bilgisayarlardaki dijital elektrik sinyalleri ışık sinyallerine dönüştürülerek fiber optik kablolar aracılığıyla ilgili elektro-optik dönüştürücülere gönderilmektedir. Burada, ışık sinyalleri, hidrolik kontrol valflerinin çalıştırılması için elektrik sinyallerine geri döner.

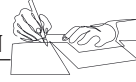
FBW sistemlerinin daha hafif olması, basitleştirilmiş kontrol yönlendirilmesi, kontrol tutarlılığı ve bakım kolaylığı gibi birçok avantajı olmasına rağmen Elektromanyetik Parazit (Electromagnetic Interference, EMI), Yüksek Yoğunluklu Radyasyon Alanı (High Intensity Radiated Field, HIRF) ve yıldırımdan veya nükleer bir patlama sonucu oluşabilecek Elektro Manyetik Darbeye (Electro Magnetic Pulses, EMP) karşı duyarlıdır [2,13]. Bu sorunu çözmek için, bir yaklaşım korumalı elektrik kabloları kullanmaktır, ancak bu yöntem kablo ağırlığını artırır. EMI, HIRF ve EMP sorunlarını önlemek için daha iyi bir yol, elektrik kabloları yerine optik fiber kablolar kullanmak ve elektrik sensörleri yerine optik sensör kullanmaktır, bu da fly-by-light konseptini ortaya çıkarmıştır [16]. Ayrıca FBL uçuş kontrol sisteminin daha fazla ağırlık tasarrufu ve yüksek sinyal bant genişliği kapasitesi avantajları da vardır. 2013 yılında Japon Kawasaki P-1 deniz devriye uçağı, FBL uçuş kontrol sistemi ile donatılarak hizmete girmiş ilk uçaktır [17].

5. Power-by-Wire Uçuş Kontrol Sistemi

Fly-byWire uçuş kontrol sistemlerinde güç, yüksek basınçlı merkezi hidrolik sistem üzerinden hidrolik borular ile uçuş kontrol yüzeylerinin aktüatörlerine iletilir. Power-by-wire (PBW) uçuş kontrol sistemlerinde ise güç, elektrik kaynağından elektrik kabloları ile aktüatörlere iletilir. Bu iki sistem arasındaki temel fark budur. Hidrolik boruların, elektrik kabloları ile değiştirilmesi ağırlık tasarrufu, kolay kurulum ve kolay bakım avantajları sağlar. PBW uçuş kontrol sistemlerinde merkezileştirilmiş hidrolik sistemler yerine modüler alt sistemler kullanılmıştır.

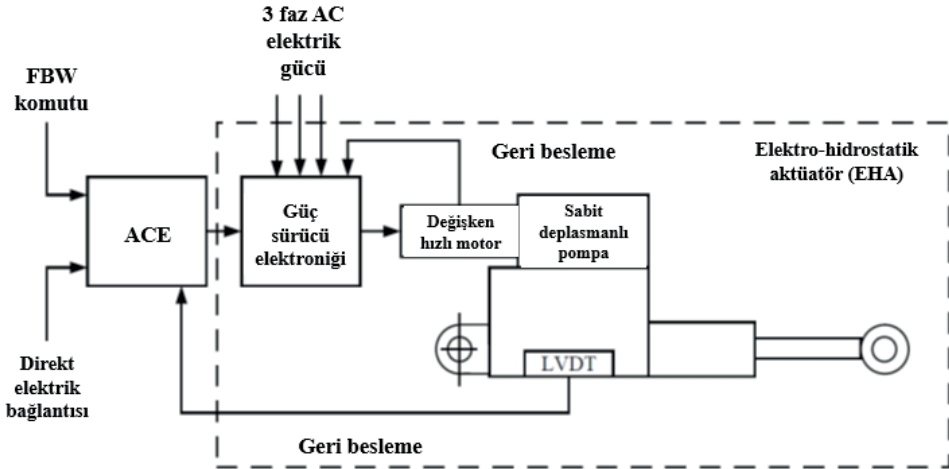
5.1. PBW Uçuş Kontrol Sistemlerinde Kullanılan Aktüatörler

Bu sistemlerde; elektro-hidrostatik aktüatör (EHA), hibrit bir tasarım olan yedek elektrikli hidrolik aktüatör (electrical backup hydraulic actuator, EBHA) ve



elektro-mekanik aktüatörler (EMA) kullanılmaktadır.

Bir EHA; bir silindir, geri besleme ünitesi, değişken hızlı pompa, servo motor, elektrikli sürücü ve kontrol elektroniğini, sadece bir elektrik bağlantısı gerektiren kompakt bir üniteye entegre eden bağımsız bir hidrolik birimdir. Bu aktüatörde, elektrikli bir motorun (genellikle iki yönlü) hidrolik bir silindiri basınçlandırıp bir hidrolik pompayı (tipik olarak sabit deplasmanlı) sürerek, kontrol yüzeyine bağlı pistonu hareket ettirir. Şekil 7’de bir EHA’nın basitleştirilmiş şeması görülmektedir.

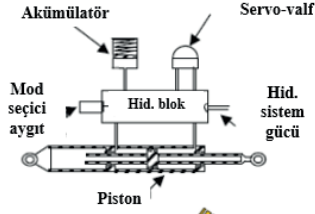


Şekil 7. PBW uçuş kontrol sistemlerinde kullanılan EHA [12]

EHA, elektrik gücünü önce hidrolik güce sonra hidrolik gücü mekanik güce dönüştürür. Elektrikli bir servo motor, bir hidrolik silindirin iki odasına bağlı olan çift yönlü, değişken bir hız pompasını çalıştırır. Akıma bağlı olarak, eksen uzanmakta veya geri çekilmektedir. Merkezi hidrolik sistemin aksine, güç kontrolü pompa tarafından gerçekleştirilir. Pompanın hızını değiştirmek, akışı ve dolayısıyla hidrolik gücü değiştirmek anlamına gelir. Odalardaki basınçlar yüke bağlıdır. Bu, elektro-hidrostatik aktüatörün enerjiyi en verimli şekilde kullanmasını ve talep üzerine güç sağlamasını sağlar. Dolayısıyla merkezi hidrolik sistemlerde geçerli olan bir kontrol talebi veya kontrol yüzeyinde bir yük olmasa dahi sistemin sürekli enerjilendirilmesi elemine edilmiş olur.

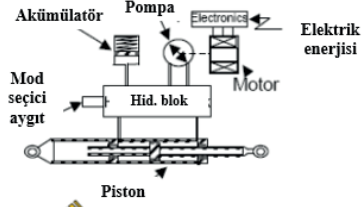
Hibrit bir tasarım olan EBHA, SHA ve EHA’nın birleşiminden oluşur. Bu aktüatörün normal çalışma şekli; servo-valf kontrolünü kullanıp merkezi hidrolik sistemden hidrolik güç alarak bir SHA gibi çalışmasıdır. Yedekli çalışma şekli ise elektrik gücünü kullanarak bir EHA gibi çalışmasıdır. Bu sistem kendi içerisinde ekstra bir yedekli sistemi barındırmasından ötürü ekstra bir emniyet avantajı vardır. Ancak hem merkezi hidrolik sistem muhafaza edildiği için hem de kendi yapısından kaynaklanan ağırlık dezavantajı vardır. Şekil 8’de EBHA’nın basitleştirilmiş bir şeması görülmektedir.

Servo-valf kontrollü hidrolik aktüatör (SHA)

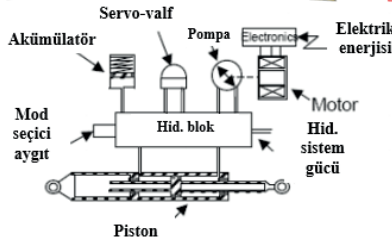


Normal çalışma modu servo kontrollüdür

Elektro-hidrostatik aktüatör (EHA)



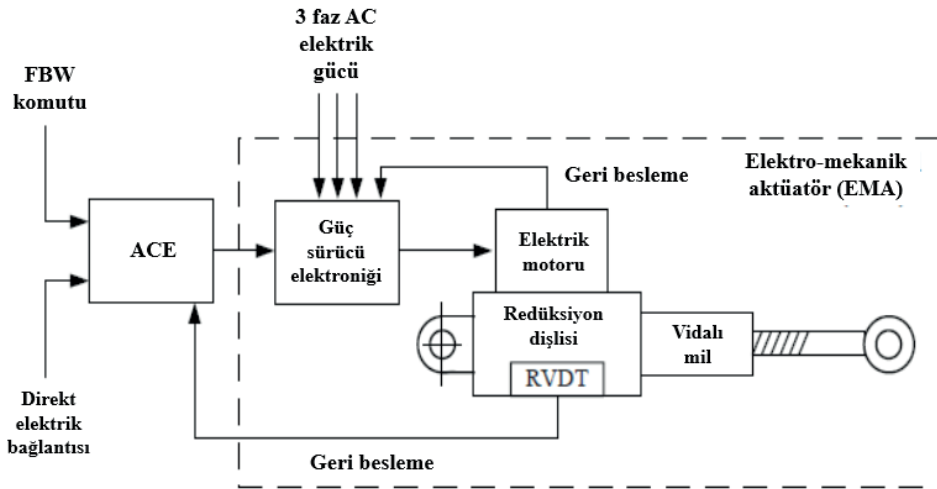
Yedek mod EHA'dır



Yedek elektrikli hidrolik aktüatör (EBHA)

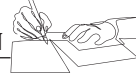
Şekil 8. PBW uçuş kontrol sistemlerinde kullanılan EBHA [12]

Yukarıdaki aktüatörlerden farklı olarak, Elektro-mekanik aktüatör (EMA), herhangi bir hidrolik bileşen içermez ve aktüatör pistonunu sürmek için hidrolik akışı kullanmaz. EMA'da, bir fırçasız doğru akım (brushless direct current, BLDC) motorunun dönme hareketi bir redüksiyon dişli kutusu ve bir bilyeli vidalı mil yardımıyla doğrusal bir harekete dönüştürülür ve aktüatör pistonu hareket ettirilir. Güç sürücüsü elektroniği birimi, uçuş kontrol bilgisayarlarından gelen giriş sinyaline bağlı olarak motora gerekli elektrik enerjisini sağlar. Şekil 9'da EMA'nın basitleştirilmiş bir şeması görülmektedir.



Şekil 9. PBW uçuş kontrol sistemlerinde kullanılan EMA [12]

EMA'nın sağladığı ekstra ağırlık tasarrufu avantajı, sıkışma ve sertlik gibi dezavantajlarının aşılması için araştırmacıları teşvik etmektedir. Dönme hareketini



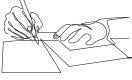
doğrusal harekete dönüştüren EMA'nın bazı mekanik bileşenlerinde (redüksiyon dişlisi, bilyeli vidalı mil) aşırı ısınma ve sıkışma arızası olabilmektedir. Uçağın birincil uçuş kontrol yüzeyi saptırılmış halde iken EMA'da bir sıkışma arızası meydana gelirse bu sorun felaketle sonuçlanabilir. Fakat EMA, trim ayarı yapılabilir yatay stabilize (trimmable horizontal stabilizer, THS), flaplar, slatlar ve spoilerler gibi ikincil uçuş kontrol yüzeylerinde kullanılabilmektedir. 2011 yılında hizmete giren Boeing 787 ticari nakliye uçağında THS ve 14 adet spoilerin dördünde EMA kullanılmıştır [13].

Aşağıdaki Tablo 1'de FBW ve PBW uçuş kontrol sistemlerinde kullanılan aktüatör tipleri ve uçakta kullanım yerleri verilmiştir.

Tablo 1. Uçuş kontrol sistemlerinde kullanılan başlıca aktüatör türleri

Aktüatör Türü	Güç Kaynağı	Sürücü Birimi	Uçuş Kontrol Yüzeyi
SHA	Merkezi hidrolik sistem	Hidrolik akışkan (servo-valf kontrollü)	Aileron, elevatör, rudder, spoiler
EHA	Elektriksel sistem	Elektrik motoru ve hidrolik pompa	Aileron, elevatör, rudder, spoiler
EBHA	Hid. (birincil) Elek. (yedek)	Hidrolik akışkan (servo-valf kontrollü) / Elektrik motoru ve hidrolik pompa	Aileron, elevatör, rudder, spoiler
EMA	Elektriksel Sistem	Elektrik motoru ve redüksiyon dişli kutusu	THS, Slat, Flap, Spoiler

1980'li yıllardan 2000'li yılların başlarına kadar elektrikli aktüatörlerle ilgili birçok araştırma ve test yapılmıştır [13]. 2007 yılında hizmete giren Airbus A380, 2 adet hidrolik ve 2 adet elektrik güç kaynağı bulunan uçuş kontrol aktüasyonu mimarisi (2H-2E mimarisi) ile power-by-wire teknolojisine sahip ilk ticari nakliye uçağıdır. Tüm uçuş kontrol yüzeylerinde EHA kullanılan ve 2015 yılında hizmete giren Lockheed F-35 askeri saldırı uçağı ise, tamamen power-by-wire uçuş kontrol sistemini üzerinde bulunduran ilk uçak olma özelliğine sahiptir [18]. Tablo 2'de günümüzde hizmette olan bazı uçakların ve uçuş kontrol yüzeylerinde SHA, EHA ve EBHA aktüatörlerinin kullanımını gösterilmektedir.



Tablo 2. Hizmete girmiş bazı uçakların uçuş kontrol yüzeylerindeki aktüatör kullanımı [13]

	Airbus A380	Gulfstream G650	Airbus A400M	Airbus A350	Lockheed F-35
Hizmete giriş yılı	2007	2012	2013	2015	2015
Uygulama	Ticari nakliye	İş jeti	Askeri nakliye	Ticari nakliye	Askeri saldırı
Hidrolik basınç (bar)	350	210	210	350	280
Kanatçık	8/4/0	2/0/2	2/2/0	6/2/0	0/2/0
İrtifa dümeni	4/4/0	2/0/2	2/2/0	2/2/0	0/2/0
İstikamet dümeni	0/0/4	1/0/1	0/0/2	2/1/0	0/2/0
Spoiler	12/0/4	4/0/2	8/0/2	8/0/4	
Toplam	24/8/8	9/0/7	12/4/4	18/5/4	0/6/0

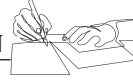
*Tabloda belirtilen nümerik değerler sırasıyla SHA/EHA/EBHA tipindeki aktüatörlerin adedini göstermektedir.

6. Değerlendirme ve Sonuç

Tablo 3'de yukarıda bahsi geçen uçakların ve bu uçaklarda kullanılan sistemlerin kronolojik olarak özeti verilmektedir.

Tablo 3. Uçuş kontrol sistemi kronolojisi

Uçağın İsmi	Hizmete Giriş yılı	Uçuş Kontrol Sistemi
Flyer I	1903	Kanat bükme sistemi ile birlikte mekanik uçuş kontrol sistemi
Antoinette V	1908	
Blériot XI	1909	
Avro 504	1913	Mekanik uçuş kontrol sistemi
Fokker 50	1987	
Douglas DC-3	1934	Hidro-mekanik (flaplar) ve mekanik uçuş kontrol sistemi
Lockheed Constellation	1943	Birincil uçuş kontrol yüzeylerinde Hidro-mekanik uçuş kontrol sistemi
Lockheed P-80	1945	
Boeing 737	1968	
Concorde	1976	Yedek hidro-mekanik uçuş kontrol sistemi ile birlikte analog FBW uçuş kontrol sistemi

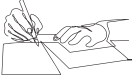


Airbus A320	1988	Rudder ve THS için yedek hidro-mekanik uçuş kontrol sistemi ile birlikte tam otorite dijital FBW uçuş kontrol sistemi
Airbus A380	2007	FBW ve kısmen PBW uçuş kontrol sistemi
Boeing 787	2011	
Gulfstream G650	2012	
Airbus A400M	2013	
Airbus A350	2015	Fly-by-light uçuş kontrol sistemi
Kawasaki P-1	2013	
Lockheed F-35	2015	Tamamen PBW uçuş kontrol sistemi

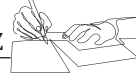
Mekanik uçuş kontrol sistemlerinin düşük hızlarda seyreden küçük ve hafif uçaklarda pilotun kas gücüyle üstesinden gelebileceği ölçekte aktüasyon yüklerine maruz kalan uçakların haricinde kullanımı görülmemektedir. Hidrolik güç, gelişmiş teknoloji seviyesi, aktüatörlerin seviyesindeki güç yoğunluğu, aktüatörlerin üzerinde oluşan ısının merkezi hidrolik sistem sayesinde kolay bir şekilde tahliye edilmesi, güç yönetim fonksiyonlarının (kavrama, fren, sönmüleme, kuvvet sınırlaması) kolay olması gibi birçok olumlu özelliğinden ötürü cazibesini hala korumaktadır. Fakat basit bir perspektiften bakıldığında, hidrolik teknolojinin enerji verimliliği, hidrolik borulardan kaynaklanan ağır hidrolik güç ağları, sızıntı, çevre kirliliği ve bakım zorluğu gibi dezavantajlarına karşın PBW uçuş kontrol sistemlerinin yakıt tüketimi, çevresel etkiler, güvenlik, entegrasyon ve üretim, kolay servis ve kolay bakım gibi önemli avantajları her seviyedeki uçak performansını iyileştirmek için yeni fırsatlar sunmaktadır. Son on yıldaki hizmete girmiş uçaklara bakıldığında PBW eğilimi bariz bir şekilde görülmektedir. Fakat henüz hizmete girmiş tamamen PBW uçuş kontrol sistemini bünyesinde barındıran bir sivil uçak yoktur. FBW uçuş kontrol sisteminin EMI, HIRF ve EMP sorunlarına karşı geliştirilen FBL uçuş kontrol sisteminin daha hafif olması ve yüksek sinyal bant genişliği kapasitesi gibi avantajları da vardır. FBL uçuş kontrol sisteminin ve PBW uçuş kontrol sisteminin entegre bir şekilde beraber kullanılması uçak performansının iyileştirilmesini daha da arttıracak tahmin edilmektedir.

Kaynakça

- [1] «NASA, Wright Brothers Aircraft,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.grc.nasa.gov/www/Wright/airplane/flyer.html>. [Erişildi: 23 Ekim 2018].
- [2] «Wikipedia, The Free Encyclopedia,» [Çevrimiçi]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_flight_control_system#cite_note-1. [Erişildi: 21 Ekim 2018].
- [3] S. KAHVECİOĞLU, R. KALE, D. TURAN, E. TURGUT ve N. KAYA, Uçak Bilgisi ve Uçuş İlkeleri, Eskişehir: T.C. Anadolu Üniversitesi, 2016.



- [4] «NOVA Science Programming on Air and Online,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.pbs.org/wgbh/nova/wright/flye-nf.html>. [Erişildi: 23 Ekim 2018].
- [5] «Wikipedia, The Free Encyclopedia,» [Çevrimiçi]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Aileron#cite_ref-Parkin.b_16-0. [Erişildi: 20 Kasım 2018].
- [6] «Avro 504,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=461. [Erişildi: 22 Kasım 2018].
- [7] «Wikipedia, The Free Encyclopedia,» [Çevrimiçi]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Avro_504. [Erişildi: 22 Kasım 2018].
- [8] C. Fielding, A. Varga, S. Bennani ve M. Selier, Advanced techniques for clearance of flight control laws, Springer Science & Business Media., 2002.
- [9] «FAA Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge Chapter 6: Flight Controls,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak/media/08_phak_ch6.pdf. [Erişildi: 23 Ekim 2018].
- [10] «A History of Aviation Actuation, Control and Fluid Power,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: www.sae.org/works/committeeResources.do?resourceID=482181. [Erişildi: 22 Kasım 2018].
- [11] Samuel E. ve Edson Y., «Electro-Hydraulic Actuator Tester for Fly-By-Wire Aircrafts,» *Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Warsaw, Poland, 2007.
- [12] I. Moir ve A. Seabridge, Aircraft Systems; Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration, Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [13] J.-C. Maré, Aerospace Actuators 2, John Wiley & Sons, Inc., 2017.
- [14] «Wikipedia, The Free Encyclopedia,» [Çevrimiçi]. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Concorde>. [Erişildi: 22 Kasım 2018].
- [15] «Wikipedia, The Free Encyclopedia,» [Çevrimiçi]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A320_family. [Erişildi: 22 Kasım 2018].
- [16] A. Garg, R. I. Linda ve T. Chowdhury, «Evolution of Flight Control System & Fly-By-Light Control System,» *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, cilt 12, no. 3, 2013.
- [17] «Japans P1 leads defence export drive,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.iiss.org/blogs/military-balance>. [Erişildi: 24 Nisan 2018].
- [18] «System Integrator for Lockheed Martin F-35,» Moog Inc., [Çevrimiçi]. Available: <http://www.moog.com/markets/aircraft/military-aircraft/fighter---trainer/system-integrator-for-lockheed-martin-f-35.html>. [Erişildi: 28 Ekim 2018].

**CHAPTER
17****RÜZGÂR ENERJİSİ KURULUŞ YERİ
SEÇİMİ İÇİN GELECEK ÇALIŞMA
ALANLARI****Onur DERSE¹, Ebru YILMAZ²****GİRİŞ**

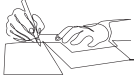
Günümüzde kentleşmenin düzgün olmaması, global ısınma, sera gazı etkisi ve çevrenin kirlenmesigibi problemlerin önemli bir kısmı fosil enerji kaynaklarından oluşmaktadır (Nişancı ve ark., 2010). Fosil enerji kaynaklarının çevreye zararlarının fazla olması ve tükenmeleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının gelişmesine neden olmuştur (Elibüyük ve ark., 2016). Enerji kaynaklarının azalması ve çevre bilincinin artmasında yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır (DaneshvarRouyendeghve ark., 2018). Sürdürülebilir kalkınma, enerji güvenliği ve çevre koruma gibi hedeflere ulaşmada en umut verici çözümlerden birisi elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin rolünü kuvvetlendirmektedir (Alsharif ve ark., 2018). Yenilenebilir enerji kaynakları belli bir ömre sahip değildir. Diğer bir ifade ile belli zamanlarda kendilerini yenileyebilen kaynaklar olduklarından insanlartarafından kalıcı olarak tüketime uğrayamazlar (Elibüyük ve ark., 2016). Enerji üretimindeki geleneksel yöntemlerin çevreye olan zararlı etkileri nedeniyle yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji üretim sistemlerinin stratejik planlanması ve geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Baseer ve ark., 2017).

Dünya'nın hareketlerinden ve güneş etrafındakidönüşünden kaynaklı olarak birbirinden farklı yeryüzü olayları meydana gelir. Bu olaylardan biri de rüzgârdır. Rüzgârdan enerjieldesi rüzgâr türbinleriyle olur (Elibüyük ve ark., 2016). Rüzgâr enerjisi, bölgedeki gelişmiş ekonomik koşullar ve düşük çevresel etkiler içiniyi bir seçenek olabilir (Noorollahi ve ark., 2016). Rüzgâr, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasında yardımcı olabilecek ümit vaat eden sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak görülür (Ouammi ve ark., 2012).

Pek çok ülkede rüzgâr enerjisi için çok fazla araştırma yapılmaktadır ve rüzgârdan enerji eldesiher geçen senedaha da artmaktadır (Nişancı ve ark., 2010) ve son yıllarda rüzgâr enerjisi sektörü tüm Dünya'da üssel bir büyüme gerçekleştirmiştir (Simões ve Estanqueiro, 2016).

Rüzgâr türbini için alan seçimi, çevreye etki ve üretim için uygun yerin tespiti açısından oldukça önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynağı için yanlış yer seçimi çevresel zararlara yol açabilir ve ayrıca proje iptali söz konusu olabilmektedir (Nişancı ve ark., 2010). Bu nedenle, rüzgâr enerjisinden faydalanmak ve ilgili maliyetleri azaltmak için rüzgâr enerjisi santrali için uygun olan yerin seçilebilmesi çok önemlidir (DaneshvarRouyendeghve ark., 2018). Ancak, her alanın rüzgârı

- 1 Araştırma Görevlisi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, 01330, Balcalı, Sarıçam, Adana, Türkiye
- 2 Doktor Öğretim Üyesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, 01330, Balcalı, Sarıçam, Adana, Türkiye



kendine özgüdür ve araziye ve topoğrafik özelliklere bağlıdır (Ramadan, 2017). Bir rüzgâr santrali projesi için uygun bir rüzgâr türbini seçimi, elektrik enerjisi üretimi açısından da önemli bir yere sahiptir (Paul ve Rather, 2016). Ayrıca, uygun olmayan bir rüzgâr türbin seçimi, finansal olarak kötü bir yatırımla sonuçlanır (Perkin ve ark., 2015).

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Rüzgâr enerjisi kuruluş yeri seçimi problemi ile ilgili literatürden bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir:

Bennui ve ark.(2007)'nın çalışmalarında Tayland'daki büyük rüzgâr türbini alan seçimi için çok kriterli karar verme tekniği ile entegre bir şekilde coğrafi bilgi sistemleri uygulanmaktadır. Çalışmada, rüzgâr hızı bilgisi, yükseklik, eğim, karayolları ve demiryolları, inşa alanı ve orman bölgesi gibi faktörler göz önüne alınmıştır. Benzer şekilde, coğrafi bilgi sistemleri ile entegre olarak çok kriterli karar verme tekniklerini kullanan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir: Özşahin ve Kaymaz (2013) çalışmalarında, Hatay ili için, Atici ve ark.(2015) çalışmalarında Batı Türkiye için çalışmalar yürütmüşlerdir. Ayrıca, Latinopoulos ve Kechagia(2015), Baseer ve ark. (2017) ve Değirmenci ve ark. (2018) çalışmalarında rüzgâr türbini yer seçimi için coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme tekniklerini kullanmışlardır.

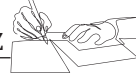
Nişancı ve ark.(2010)'nın çalışmalarında, Trabzon ili dikkate alınarak coğrafi bilgi sistemleri tekniği ile rüzgâr türbinleri için uygun yerin seçimi problemi ele alınmıştır. Çalışmada, rüzgâr türbinlerinin yer seçimi sürecinde hangi aşamaların gerçekleştiği ve yer seçimi kararını etkileyen temel kriterler gibi durumlar belirtilmektedir.

Van Haaren ve Fthenakis (2011)'in çalışmalarında, New York Eyaletindeki rüzgâr türbini çiftlikleri alan seçimi problemi için maliyet-gelir optimizasyonu tabanlı bir yöntem sunulmaktadır. İlk aşamada, arazi kullanımı ve jeolojik kısıtlamalara dayanılarak rüzgâr türbini çiftlikleri için uygun olmayan alanlar kapsam dışına çıkartılmaktadır. İkinci aşamada, beklenen net bugünkü değere göre en uygun alanların belirlenmesi ile ilgilenilmektedir. Üçüncü aşamada ise habitatlar üzerindeki ekolojik etkiler değerlendirilmektedir.

Shaheen ve ark.(2012)'nin çalışmalarında, Pakistan'ın 35 farklı bölgesi değerlendirilerek rüzgâr türbini kurulumu için alan uygunluğu analiz edilmektedir. Çalışmada, rüzgâr hızı, ormanlar, yükseklik, arazi tipi, jeolojik yapı, kurulum maliyeti ve ekolojik etkiler gibi çeşitli faktörler dikkate alınmaktadır.

Ouammi ve ark.(2012)'nin çalışmalarının amacı, rüzgâr enerjisi santrallerinin sürdürülebilir tasarımı için yer seçimi ve kurulacak en uygun teknolojiyle ilgili olarak bir çevresel karar destek sistemi önermektir.

Gass ve ark.(2013)'nin çalışmalarında, Avusturya'da altyapı, doğal çevre ve ekolojik koruma bölgelerinin getirdiği kısıtlar da dikkate alınarak ekonomik olarak rüzgâr türbini sahaları değerlendirilmektedir.



Noorollahi ve ark.(2016)'nın çalışmalarında, İran'ın batısındaki rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için coğrafi bilgi sistemleri uygulanmış ve ayrıca rüzgâr kaynaklarını değerlendirmek için çok kriterli bir karar verme yöntemi ve alan seçim kriterleri geliştirilmiştir.

Solyali ve ark. (2016)'nın çalışmalarında,Kuzey Kıbrıs'ta Selvilitepe bölgesi için rüzgâr enerjisi potansiyelinin teknik bir değerlendirilmesi sunulmaktadır. Çalışmada, bu alanın 2007 ve 2014 yılları arasındaki rüzgâr hızı verileri değerlendirilmektedir.

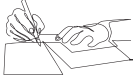
DaneshvarRouyendeghve ark.(2018), çalışmalarında,rüzgâr enerjisi tesisi alanı seçimi için 4 alternatif rüzgâr santrali lokasyonunu ele almışlardır. Alternatifleri değerlendirmek için rüzgâr potansiyeli, yer, maliyet ve sosyal faydaları da içeren 10 kriter seçilmiştir. Konum seçimi problemlerinde çok kriterlikarar verme teknikleri sıklıkla kullanıldığı için, bu çalışmada sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Yer seçimi dışında var olan veya seçilen yerler için yapılan çalışmalar da mevcuttur. Perkin ve ark.(2015)'nin çalışmalarında, teorik rüzgâr türbini tasarımlarını optimize etmek için gerçekçi maliyet modeli gibi birkaç yöntemeye dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Elibüyük ve ark.(2016)'nın çalışmalarında, rüzgâr hızları ve rüzgâr enerjisi hesaplamaları dikkate alınarak kurulacak santralin maliyeti ve amortismanı hesaplanmaktadır. Paul ve Rather (2016) çalışmalarında, belirli bir alan için mevcut rüzgâr türbinleri arasından en uygun rüzgâr türbinini seçmek için bir yaklaşım önermişlerdir. Simões ve Estanqueiro (2016) çalışmalarında, şehirlerin rüzgâr değerlendirme ihtiyaçlarına cevap verebilmek için kentsel rüzgâr kaynağı değerlendirmesine yönelik bir metodoloji geliştirilmiştir. Ramadan (2017)'nin çalışmasında,rüzgâr çiftliğinin ekonomik yaşayabilirliği üzerine odaklanılarak rüzgâr verilerinin ve istatistiksel analizlerin kullanılmasıyla ayrıntılı olarak rüzgâr kaynağı değerlendirilmesi yapılmıştır.

GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Rüzgâr enerji kuruluş yeri seçimi problemi üzerine gelecek çalışma alanları aşağıdaki gibi örneklendirilebilir:

- Gelecek çalışmalarda karar destek sistemlerinde optimizasyon modülünün iyileştirilmesi ile ilgilenilebilir. Ayrıca, ölçümlerin mevcut olmadığı alanlardaki rüzgâr hızını belirlemede bilinen konumlardaki rüzgâr hızı verilerinin dahil edilmesine yönelik modüller ilave edilebilir (Ouammi ve ark., 2012).
- Uzmanlara yönelik bir anket aracılığıyla, analitik hiyerarşi prosesine (AHP'ye) çoklu perspektiflerdâhiledilebilir (Latinopoulos ve Kechagia, 2015).
- Gelecekteki çalışmalarda, gürültü emisyon kontrolü için konutların etrafına tampon mesafelerin uygulanması ve rüzgâr türbinlerinin görsel girişlerinin önlenmesi, flora ve faunadaki olumsuz olabilecek etkilerinden dolayı belirli alanlara kısıtlamalar getirilmesigibi işlemler uygulanabilir (Baseer ve ark., 2017).



- Bazı rüzgâr çiftliklerinin ormanlık alanların veya kentsel alanların yakınında kurulması durumlarında rüzgâr türbinleri, ormanların veya kentsel alanların ürettiği yüksek türbülans etkilenebiler. Bu nedenle, saha değerlendirmesi için orman ve karmaşık arazi modellemesi de incelenebilir (Değirmenci ve ark., 2018).

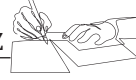
Konu ile ilgili literatürden incelenen çalışmalarda görülen daha çok kullanılan yöntemlerin coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme teknikleri olduğudur. Bunlara ilaveten optimizasyon amaçlı olarak matematik modelleme teknikleri de kullanılabilir.

SONUÇLAR

Günümüzde gelişen teknoloji ve artan nüfus ile orantılı olarak enerji ve dolayısıyla enerji kaynaklarına olan ihtiyaç ta artmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının çevresel zararları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları gün geçtikçe daha fazla ilgi odağı olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları için kullanılabilen alternatiflerden birisi de rüzgâr enerjisidir. Bu enerji kaynağının etkin ve verimli olarak elde edilebilmesi için rüzgâr türbinlerinin yerinin doğru konumlandırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, rüzgâr enerjisi kuruluş yeri seçimi için yapılan çalışmalar detaylıca değerlendirilerek konu ile ilgili gelecek çalışma alanları için önerilerde bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Alsharif, M. H., Kim, J., & Kim, J. H. (2018). Opportunities and challenges of solar and wind energy in South Korea: A review. *Sustainability*, 10, 1822, 23 pages.
2. Atici, K. B., Simsek, A. B., Ulucan, A., & Tosun, M. U. (2015). A GIS-based multiple criteria decision analysis approach for wind power plant site selection. *Utilities Policy*, 37, 86-96.
3. Baseer, M. A., Rehman, S., Meyer, J. P., & Alam, M. M. (2017). GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi Arabia. *Energy*, 141, 1166-1176.
4. Bennui, A., Rattanamanee, P., Puetpaiboon, U., Phukpattaranont, P., & Chetpattananondh, K. (2007). Site selection for large wind turbine using GIS. *PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment*, 561-566.
5. Daneshvar Rouyendegh, B., Yildizbasi, A., & Arikan, Ü. Z. B. (2018). Using intuitionistic fuzzy TOPSIS in site selection of wind power plants in Turkey. *Hindawi, Advances in Fuzzy Systems*, 14 pages.
6. Değirmenci, S., Bingöl, F., & Sofuoğlu, S. C. (2018). MCDM analysis of wind energy in Turkey: decision making based on environmental impact. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 19753-19766.
7. Elibüyük, U., Yakut, A. K., & Üçgül, İ. (2016). Süleyman Demirel Üniversitesi rüzgâr enerjisi santrali projesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-Dergi*, 3(2), 22-32.
8. Gass, V., Schmidt, J., Strauss, F., & Schmid, E. (2013). Assessing the economic wind power potential in Austria. *Energy Policy*, 53, 323-330.
9. Latinopoulos, D., & Kechagia, K. (2015). A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece. *Renewable Energy*, 78, 550-560.
10. Nişancı, R., Yıldırım, V., & Özçelik, A. E. (2010). Rüzgâr enerjisi üretim alanlarının



coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi: Trabzon ili örneği.III. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Gebze, Kocaeli, 213-220.

11. Noorollahi, Y., Yousefi, H., & Mohammadi, M. (2016). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 13, 38-50.
12. Ouammi, A., Ghigliotti, V., Robba, M., Mimet, A., & Sacile, R. (2012). A decision support system for the optimal exploitation of wind energy on regional scale. *Renewable Energy*, 37(1), 299-309.
13. Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. K. (2013). Rüzgâr enerji santrallerinin (RES) yapım yeriseçimiüzerinebir CBS analizi: Hatay örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 6(2), 1-18.
14. Paul, S., & Rather, Z. H. (2016). A new approach for selection of a suitable wind turbine for a wind farm. *2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, 6 pages.
15. Perkin, S., Garrett, D., & Jensson, P. (2015). Optimal wind turbine selection methodology: A case-study for Búrfell, Iceland. *Renewable Energy*, 75, 165-172.
16. Ramadan, H. S. (2017). Wind energy farm sizing and resource assessment for optimal energy yield in Sinai Peninsula, Egypt. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1283-1293.
17. Shaheen, M., Shahbaz, M., & Jadoon, K. A. K. (2012). Data mining for wind energy site selection. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 1, 6 pages.
18. Simões, T., & Estanqueiro, A. (2016). A new methodology for urban wind resource assessment. *Renewable Energy*, 89, 598-605.
19. Solyali, D., Altunç, M., Tolun, S., & Aslan, Z. (2016). Wind resource assessment of Northern Cyprus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 180-187.
20. Van Haaren, R., & Fthenakis, V. (2011). GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3332-3340.

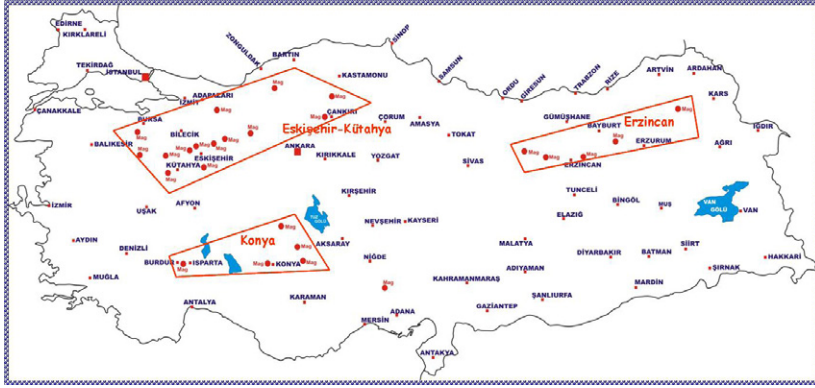
CHAPTER 18

TÜRKİYE MANYEZİTLERİNİN ÖNEMİ VE ZENGİNLEŞTİRİLME YÖNTEMLERİ

Öykü BİLGİN¹

1. Giriş

Manyezit; $MgCO_3$ formülü ile ifade edilmekte ve teorik açıdan içeriğinde % 52.3 CO_2 ile % 47.7 MgO ve az miktarda Fe_2O_3 bulunmaktadır. Sertlik derecesi 3.4-4.5 arasında değişirken özgül ağırlığı ise 2.9-3.1 arasındadır(URL-1). Rengi beyaz, sarı veya gri ve kahverengi arasında değişmektedir. Türkiye; Dünyanın en kaliteli doğal ve yüksek rezervlerde manyezit yataklarından birine sahiptir. Türkiye’de jel tipi yataklardan üretilen manyezitler; ham cevher veya yarı mamul(kalsine ve sinter manyezit) olarak çeşitli ülkelerin geniş talepler almaktadır. Manyezit cevheri üretildikten sonra % 90’dan fazlası kostik kalsine manyezit ve sinter manyezit’e dönüştürülmekte ve bazik refrakter tuğla yapımı gibi ürünler elde edilmektedir. Diğer %10’luk orandaki ham manyezit cevheri de, magnezyum tuzları, ilaç yapımı, çimento, kimya, araba lastiği, kağıt, şeker yapımı vb. alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca deniz suyu kullanılarak yıllık 80.000-90.000 ton sinter manyezit üretilmektedir (URL-2).

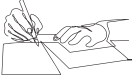


Şekil 1 Türkiye Manyezit Yatakları Haritası(URL-3)

Şekil 1’de Türkiye manyezit yataklarının haritası görülmektedir. Türkiye manyezit yataklarının büyük bir bölümü kriptokristalen yani jel manyezit yataklarıdır. Aşağıda jel tipi manyezit yataklanmasına yönelik örnekler verilmektedir;

- ✓ Kütahya ilinin ilçesinde yer alan Karacaören Köyü, Suludere mevkiisinde filon tipi manyezit yatakları,
- ✓ Eskişehir ilinin ilçesindeki Ballık Köyü, Arapdere mevkiilerinde çatlaklı değişmekte olan kılcal, ince, damar tipinde manyezit cevherleşmesi,

1 Dr. Öğr. Üyesi, Şırnak Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 73000, Şırnak/Türkiye



- ✓ Erzincan ilinin Çayırlı ilçesinde yer alan, Çataksu mevkiisinde sedimanter tip manyezit yataklanmaları
- ✓ Eskişehir ilinin, Mihalicçık ilçesinde yer alan, Bahtiyar Köyünde, serpantin temel üzerinde bulunan masif manyezit blokları ve serpantin içerisinde yer alan ince, kılcal ve kalın manyezit damarları mevcuttur (Güney ve Önal, 1999; Sözal S., 2011).

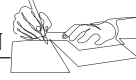
Tablo 1' de Türkiye' de yer alan manyezit rezervlerine örnekler verilmektedir. Buna göre; Türkiye manyezit rezervlerinin toplam yaklaşık 155 milyon ton olduğunu ve en fazla manyezit rezervinin Konya ilinde yer aldığı görülmektedir.

Tablo 1 Türkiye Manyezit Rezervleri (Erdoğan, N. &Yıldız, R., 1995).

İl	Görünür Rezerv (ton)	Muhtemel Rezerv (ton)	Mümkün Rezerv (ton)	Toplam Rezerv (ton)	Potansiyel Rezerv (ton)
Konya	16.905.000	22.850.000	39.861.000	79.616.00	-
Ankara	57.087	18.814	15.000	90.901	65.000
Antalya	-	120.000	-	120.000	-
Bilecik	96.572	128.000	-	224.822	-
Burdur	-	85.000	-	85.000	-
Bursa	160.000	470.000	-	68.000	-
Bolu	-	14.000	-	14.000	4.300.00
Çankırı	-	3.055.220	418.000	3.473.000	510.000
Denizli	-	1.110.000	-	1.110.000	-
Erzincan	4.200.000	128.000	5.200.000	9.528.00	-
Erzurum	-	50.667	389.000	439.667	400.000
Eskişehir	12.487.000	18.209.000	-	30.696.00	-
Kütahya	10.154.000	8.958.500	9.713.000	28.825.56	-
Muğla	-	150.000	60.000	-	-
Genel Toplam	44.059.659	55.747.000	155.199.520	155.199.5	5.335.00

2. Manyezit Üretimi ve Kullanım Alanları

Manyezit üretimi, maden ocağından cevher; genellikle açık işletme metotlarıyla, nadiren de kapalı işletme yöntemleri ile çıkarıldıktan sonra zenginleştirme süreçlerine tabii tutulmaktadır. Zenginleştirme yöntemleri; cevherin, gang minerallerinden ayrılması esasına dayanmaktadır. Kristal manyezit cevheri içerisinde genellikle gang meralleri olarak biyotit, dolomit, kuvars, talk mineralleri yer alırken jel manyezit içerisinde ise serpantin ve opal bulunmaktadır. Genellikle manyezit cevherinde zenginleştirme yöntemi olarak triyaj yani diğer bir isimle el ile ayıklama, ağır ortam ile zenginleştirme, elektrostatik ayırma, manyetik ayırma, flotasyon ve optik ayırma yöntemleri uygulanmaktadır. Diğer bir deyişle manyezit cevherinin zenginleştirilmesi, fiziksel ve kimyasal metotlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. (Amer ve Staden, 2010; Erdoğan, N., 2015). Manyezit cevherinin zenginleştirilmesi için endüstride kullanılan diğer yöntemler ise kalsinasyon, flokülasyon, seçimli hidratasyon, çözündürme, çöktürme, aglomerasyon ve seçimli koagülasyon yöntemleridir. Ülkemizdeki çeşitli bölgelerdeki manyezit cevherlerinin zenginleştirilmesi için manyetik ayırma, manyetik ayırma+lıç ve kalsinasyon, kalsinasyon, elle ayıklama, gravite, manyetik ayırma ve flotasyon,



manyazit yüzey özellikleri ve flokülasyonu, kolon flotasyonu, amin flotasyonu, flotasyon ve manyetik ayırma çalışmaları yapıldığı yapılan araştırmalardan anlaşılmaktadır (Bentli ve diğ., 2004).

Manyazit zenginleştirme yöntemlerini biraz daha açıklarsak; -triyaj(el ile ayıklama) yönteminde; manyazit içerisinde yer alan gang mineralleri renk farklılığı ile el işçiliği yardımıyla yapılmaktadır. Bu yöntemde cevher tane iriliğinin 40 mm'den daha iri boyutta olmalıdır (URL-5).

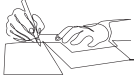
Ağır Ortam ile zenginleştirme yönteminde manyazit ile gang mineralleri arasında yoğunluk farklılığı esasına göre yapılmaktadır. Ağır ortamda koni tambur veya siklon içerisinde oluşturulan ağır ortam 6.7-6.9 gr/cm³ arasınd değişen yoğunluklarda atomize ferrosilikon kullanılmaktadır. Bu yöntemde silikat kökenli gang mineralleri daha başarılı ayrılmaktadır (URL-5).

Kalsinasyon yöntemi ile zenginleştirmede; karbonat, hidroksit, sülfat, asetat, nitrat gibi sıcaklık ile yatay döner veya dikey şaft fırınlarda oksit formuna dönüştürülmektedir. Böylece oksitlerin meydana gelmesi ile bağlı veya serbest kristal olan ürünler (CO₂, SO₂, H₂O) ve uçucu ürünler birbirinden ayrılmaktadır. Bu yöntemde kalsinasyon denilmektedir. (Kaya M., 1993). Kalsinasyon ile zenginleştirme sonucunda elde edilen ürüne kalsine manyazit denilmektedir. Kalsine manyezitin kullanım alanları oldukça geniştir. Bunlar; tarım sektörü (hayvan yemi ve gübre yapımı), maden sektöründe ph ayarlayıcı, mermer ve seramik sektöründe aşındırıcı, ayakkabı sektöründe hammadde yapımı, çevre ve kimya sektörü, yapı sektöründe manyazit yapı levhası, kağıt dolgu ve beyazlatma malzemesi vb., şeker rafinasyonu, cam katkı malzemesi, soral çimento gibi alanlardır(Kümaş Madencilik, URL-6).

Geniş kullanım alanlarına sahip manyazit ürünleri, kullanılan hammaddenin özelliklerine ve kalsinasyon parametrelerine göre farklı alanlara göre üretilmektedir. Bunlar; tane boyutu, spesifik yüzey alanı, aktivite, kimyasal saflık ve kızdırma kaybı gibi özelliklerine göre değişmektedir.

Sinter manyezit; yüksek kaliteli refrakter ürünler üretmek için kullanılan temel endüstriyel hammadde olup, bazik refrakter tuğla ve harçların üretiminde ana bileşendir. Kümaş'ın 1974 yılında başladığı sinter manyezit üretimi, 3 ayrı döner fırında toplam 300.000 ton/yıl kapasitedir. Sinter Manyezit üretimi konsentre manyezit cevherinin 1750°C - 2100°C sıcaklıklarda pişirilmesi yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Ocaklardan çıkarılan yüksek kaliteli manyezit cevherinin işlenmesi ile üretilen sinter manyezit ürünleri, yüksek yoğunluk ve kristal çapı ile ön plana çıkmaktadır(URL-6). Sinter manyezit, manyezitin ortalama 1750°C' de pişirilmesi (yakılması-sinterlenmesi) ile elde edilmektedir. Dünya' da sinter manyezitin %75'i manyezit cevherinden üretilmektedir. Sinter manyezit çoğunlukla bazik refrakter tuğla ve monolitik malzeme şeklinde kullanılmaktadır. Bazik refrakterler tuğla-metalurji sanayiinde fırınlar, potalar ile çimento döner fırınları ve çelik endüstrisinde toplam üretimin %70' i gibi oranlarda tercih edilmektedir(URL-7).

Örnek bir manyezit tesisinde ocaklardan gelen ham işlenmemiş manyezit cevheri, cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisine getirildikten sonra %10



oranındaki bir fire ile zenginleştirilmektedir. Daha sonra konsantre manyezit cevheri; döner fırına beslenmektedir. Fırında sinterleşen magnezyum karbonat; magnezyum oksite dönüşmekte ve kimyasal olarak yaklaşık % 53' lük miktarı kaybolmaktadır. Yani fırına beslenen 90 ton konsantre cevher; sinterleştikten sonra miktarı 42,3 tona düşmektedir. Sonuçta 100 ton ham manyezit cevherinden 90 ton konsantre cevher elde edilmektedir. Fırına beslenen 90 ton konsantre manyezitten de 42,3 ton sinter manyezit üretilmektedir. Sinter manyezit üretimi için manyezit cevherinin 1750°C 'nin üzerinde pişirilmesi gerekmektedir. Sinter manyezit genellikle bazik refrakter tuğla ve harç üretiminde kullanılmaktadır. Doğu Anadolu'da Erzurum'un Aşkale İlçesine 8 km uzaklıkta bulunan tesis, 100.000 ton/yıl sinter manyezit üretim kapasitesine sahiptir. Şekil 2' de konsantre manyezit cevherinin görüntüsü verilmektedir. Şekil 3' de manyezit cevheri cevher hazırlama tesisi manyetik ayırıcıları ve siloları gösterilmektedir (Türkmag Madencilik, URL-8).

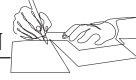


Şekil 2. Konsantre Manyezit(URL-8)



Şekil 3 Manyezit Cevheri Cevher Hazırlama Tesisi Manyetik Ayırıcılar ve Siloları (URL-8)

Manyezit cevheri; 900°C sıcaklıkta kalsinasyon yöntemi ile kostik kalsine manyezite dönüşmektedir. Kostik kalsine manyezit geniş kullanım alanlarına sa-



hiptir. (URL-4; URL-5) Bunlar;

- Tarım sektörü, hayvan yemi katkısı, gübre yapımı vb.
- İnşaat sektöründe; askı taban, izolasyon inşaat blokları ve hafif yapı malzemesi vb.
- Tıp ve ilaç sektörü,
- Kimya sektörü,
- Lastik ve plastik yapımı;
- Kağıt endüstrisi.
- Otomotiv yağlama yağları,
- Uranyum cevherlerinde absorbent ve katalizör olarak,
- Magnezyum karbonatlar: İzolasyon, lastik, mürekkep, cam, seramik, boya, eczacılık ve kozmetik sanayileri.
- Magnezyum hidroksit: Eczacılık ve şeker rafinasyonu.
- Magnezyum klorür: Magnezyum metal üretimi, tekstil, kağıt, seramik ve çimento.
- Magnezyum sülfat: Eczacılık, suni gübre sanayi (URL-4; URL-5)

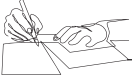
Ergitilmiş Manyezit ürünü; daha önceden kalsine edilmiş ham cevherin ikinci bir ısıtma işlemi ile 3000°C’ de ergitilmesi sonucunda elde edilmektedir. Kümaş; 2008 yılından beri ürettiği fused manyezitte, toplam 37500 ton/yıl kapasiteye ulaşmıştır. Ürünün kullanıldığı ana sektörler; demir-çelik sektörü için MgO-C tuğla üretimi ve nötr indüksiyon ocağı dövme harcı, cam sektörü ve çimento sektörü için pişmiş manyezit bazlı refrakter tuğla, rezistans endüstrisi için orta ve yüksek sıcaklık rezistans tozu uygulamalarında kullanılır (Kümaş Madencilik, URL-6)

Başka bir örnek tesiste Fused Magnezya, manyezit cevherinin 2500 - 2800°C’ lerde elektrik arkıyla pişirilmesiyle elde edilmektedir. Fused Magnezya’nın sinter manyezite göre saflığı, yoğunluğu ve kristal boyu daha yüksektir. Türkiye’de sinter manyezit üretilmesine karşın elektrik enerjisinin pahalı oluşundan dolayı bugünlere kadar Fused Magnezya üretilmemiş veya çok az üretilmiştir. Bu nedenle ihtiyaç duyulan Fused Magnezya yurt dışından ithal edilmektedir. Yılda, ton fiyatı yaklaşık 500-1000 USD olan fused magnezya 25.000 ton civarında ithal edilmekte ve buna da 15-20 milyon USD seviyesinde döviz ödenmektedir. Yeni fused magnezya üreten tesislerin kurulması ile fused magnezya tüketimi karşılanmaya çalışılacak ve kalanı yurt dışına ihraç edilecektir (Türkmag Madencilik, URL-8)

3. Manyezit Zenginleştirmesine yönelik yapılmış bazı çalışmalar

Türkiye’ nin çeşitli bölgelerinde ye alan manyezit cevherlerinin zenginleştirilmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlar;

Bozkurt vd (1988), Doğan (1971), manyetik zenginleştirme, Özdağ vd (1995) manyetik zenginleştirme+liç ve kalsinasyon, Kaytaş ve Acarkan (1988) gravite,



elle ayıklama, manyetik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirme, Yazar vd (1975) manyezit yüzey özellikleri ve flokülasyon, Yamık (1995) flotasyon ve manyetik ayırma ile zenginleştirme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Manyezit cevherinin ince boyutlarında (-0,010 mm) serbestleşmesi veya öğütme sırasında fazla miktarda şlamin ortaya çıkması durumunda seçimli aglomerasyon yani yağ aglomerasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi uygulanmıştır (Uçbaş vd. 1998, Bozkurt vd. 1999). Manyezit cevherinin zenginleştirilmesinde en verimli ve ekonomik yöntemlerden birisi de manyetik ayırma yöntemidir (Bentli ve diğ., 2004). Manyezit cevherinin MGS ile zenginleştirilmesine yönelik çalışmalar da yapılmıştır (Gence N., 2001).

Düşük kalitedeki manyezit cevherlerinin biyoteknolojik yöntemlerle zenginleştirilmesine yönelik çalışmalar mevcuttur (Yanmış D., ve diğ., 2012; Efe D., ve diğ., 2017).

Başka bir çalışmada; manyezit şlamlarının flotasyon ile kazanılması yönteminde ultrasonu bir ultrasonik banyo yardımıyla flotasyondan önce ve flotasyon esnasında uygulamıştır (Özkan Ş.G., 2002; Güngören C., ve diğ., 2017). Diğer bir çalışmada manyezit cevherinin optik ayırma ile zenginleştirilmesine yöneliktir (Gülcan E., 2013).

Flotasyon ile Zenginleştirme yöntemi manyezit cevherlerinin ince tane boyutlardaki zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır (Sengupta vd., 1980; Brandão vd., 1982, Uçbaş Y., vd., 1997). İnce tane boyutundaki manyezit zenginleştirilmesine alternatif bir yöntem de yağ aglomerasyonu yöntemidir (Uçbaş Y., vd., 1997).

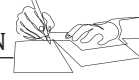
5. Sonuçlar ve Değerlendirme

Manyezit cevheri ve “Diğer Madencilik ve Taş ocakçılığı” kapsamında sınıflandırılmaktadır. Yılda yaklaşık 20-30 milyon dolar ile dünyanın en önemli manyezit üreticisi ve ihracatçılarından birisi olan Türkiye; refrakter sanayiinin ihtiyacını karşılamak için giderek ithalata yönelmektedir. Ayrıca manyezit; madenciliğin önemli ihraç ürünleri arasında da yer almaktadır. Manyezit ihracatı, dönem boyunca 250 bin ton/yıl düzeylerindedir. Manyezit ihracatının ise 40 milyon dolar/yıl olduğu belirlenmiştir (DPT, 2007).

Bu çalışmada; Türkiye’deki manyezit cevherinin zenginleştirilmesine yönelik yöntemler genel olarak incelenmiştir. Anlaşılacağı üzere hemen hemen madencilikte uygulanan zenginleştirme yöntemlerinin birçoğu manyezit zenginleştirme yönteminde de karşımıza çıkmaktadır. Sonuç olarak; zengin ve kaliteli manyezit yatakları olan Türkiye’de manyezit üretim/zenginleştirme tesislerinin kurulmasına ve işletilmesine yönelik teşvikler yapılmalı ve ülkenin ihtiyacı bu tesislerden sağlanmalıdır.

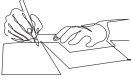
Teşekkür

Yazar katkılarından dolayı Kümaş Madencilik ve Türkmag Madencilik’ e teşekkür eder.

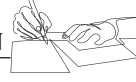


Kaynaklar

1. Amer, A.M., and Staden, V., 2010, "Hydrometallurgical Processing of Low Grade Egyptian Magnesite", Physicochemical Problems of Mineral Processing, 44, 5-12.
2. Bentli, I., Erdogan, N., Birici, B., Topal, U., and Şahbaz, O., 2004, "Manyezit Ara Ürünün Kalsinasyon Manyetik Ayırma Yöntemleriyle Zenginleştirilmesi", Uluslararası 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu (pp. 216-221).
3. Bozkurt, R., Özdağ, H., Gezin, N., 1988. Manyezit Zenginleştirme Atıklarının Değerlendirilmesi, 2.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Aytekin (Ed), İzmir, 209-218.
4. Bozkurt, V., Uçbaş, Y., Bilir, K., 1999. Manyezit Cevherinin Seçimli Aglomerasyon ile Zenginleştirilmesinde Bazı Bastırıcıların Etkisi. Türkiye İö.Madencilik Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 405-410.
5. Brandão, P.R.G. and Poling, G.W 1982 Anionic Flotation of Magnesite, Canadian Metallurgical Quarterly, 21:211-220.
6. Derya Yanmış, Medine Güllüce, Furkan Orhan, Fikrettin Şahin, Düşük Kalitedeki Manyezit Rezervlerinin Biyoteknolojik Yöntemlerle Zenginleştirilmesi, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 03-07 Eylül 2012, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
7. Devlet Planlama Teşkilatı(DPT), 2007, Dokuzuncu Kalkınma Planı, Özel İhtisas Komisyonu, Madencilik, s: 202, Ankara.
8. Doğan, Z., 1971. Tavşanlı Yöresi Manyezit Cevherlerinin Konsantrasyonu, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 2.Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 291- 299.
9. Efe D., Orhan F., Gulluce M.,, Evaluation of the Optimum Conditions for Biotechnological Magnesite Enrichment, Annals of Ecology and Environmental Science Volume 1, Issue 1, 2017, PP 88-93.
10. Erdoğan, N., Yıldız, R., 1995, Manyezit ve Bazik Refrakter Malzeme Teknolojisi, S:155, Kütahya, Türkiye.
11. Erdoğan, N., 2015, Atık Manyezit Cevherinin Zenginleştirilmesi: Karakterizasyon, Özellikler Ve Manyetik Ayırıcı Uygulaması, S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.3, s.4.
12. Gence N., 2001 Enrichment Of Magnesite Ore, Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak. Dergisi C.XIV, S.2.
13. Gülcan E., 2013, Minerallerin Optik Ayırma İle Ayrılabilirliğinin Araştırılması Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, s:171.
14. Güney, A., Önal, G., 1999. Güney ve Önal,İstanbul Maden İhracatçıları Birliği ve Yurt Madencilliğini Geliştirme Vakfı, 2-7, 10-20 s.
15. Güngören C., Özkan Ş.G., Özdemir O., 2017, Ultrasonik İşlemlerin Flotasyonda Kullanımında Farklı Yaklaşımlar, AKÜ FEMÜBİD (17) 025801 (727-735), DOI: 10.5578/fmbd.57268
16. Kaya, M., Magnezit ve Bazik Refrakterler Teknolojisi, Anadolu Üniversitesi Yayınları No:450, Eskişehir, 292 s., 1993.
17. Kaytaz, Y., Acarkan, N., 1988. Properties of Magnesites of Eskişehir-Kütahya and Bursa Region with Respect to Upgrading Possibilities, 2 International Mineral Processing Symposium, Aytekin (Ed), İzmir, 219-229.
18. Özdağ, H., Gürpınar, G., Sönmez, E., 1995. Düşük Tenörlü Manyezit Cevherinden Kimyasal Yöntemlerle Magnezyum Bisülfat Üretimi Olanaklarının Araştırılması, Türkiye 14 Madencilik Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 425-430.



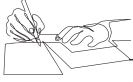
19. Özkan, Ş.G., 2002. Beneficiation of magnesite slimes with ultrasonic treatment. *Minerals Engineering*, 15, 99-101.
20. Sengupta, D.K, Sastri, SR. and Narasimhan, K S 1980 Effect of Additives on Anionic Flotation of Magnesite, *Proc. Australas Inst Min. Metall.* 275 59-65.
21. Sözal S., Göcekler (Mut-Mersin) Manyezitlerinin Meram (Konya) Manyezitleri İle Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, s:107.Konya.
22. Uçbaş, Y., Öteyaka, B., Özdağ, H., 1998. The Effect of pH Regulator on the Process Efficiency, Agglomerate Size and Oleic Acid Consumption in the Concentration of Magnesite Ore by Oil Agglomeration, *The Journal of Ore Dressing*, (1), 1,19-27.
23. Uçbaş Y., Öteyaka B., Özdağ H., 1997, Manyezit Cevherinin Yağ Aglomerasyonu İle Zenginleştirilmesinde Bazı Proses Değişkenlerinin Aglomerat Boyutu Ve Proses Verimi Üzerine Etkisi, Türkiye 15. Madencilik Kongresi,s: 6, ISBN 975-395-216-3.
24. Yamık, A., 1995. Kütahya Kumaş Manyezit Tesisi Atıklarının Değerlendirilmesi, Mühendislikte 20. Yıl Sempozyumu, ZKÜ Mühendislik Fakültesi, Zonguldak, Mad 13.
25. Yazar, B., Özgür, T., 1975. Amorf Yapıdaki Manyezitin Silikadan Koagülasyon ile Ayrılması, TÜBİTAK 5.Bilim Kongresi, Ankara, 131-149.
26. URL-1 <https://ozertas.com.tr/tr/genel-olarak-manyezit-nedir-kullanim-alanlari-ozertas-kimya-maden-kutahya> erişim tarihi:01.11.2018.
27. URL-2 <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/manyezit> erişim tarihi:10.11.2018
28. URL-3 http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/manyezit.jpg
29. URL-4 <http://ekutup.dpt.gov.tr/> erişim tarihi:10.11.2018.
30. URL-5 <http://www.marbleport.com/dogal-kaynaklar/51/manyezit>, erişim tarihi:10.11.2018.
31. URL-6 http://www.kumasref.com/kalsine-manyezit-ccm,KT_399.html Kumaş Madencilik, Erişim tarihi:10.11.2018.
32. URL-7 http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/29231/46271/4_hafta-ehm.pdf, erişim tarihi: 12.11.2018
33. URL-8 <http://www.cihangrup.com.tr/fused-magnezya> Türkmag Madencilik, Erişim tarihi: 10.11.2018.
34. URL-9 <http://www.cihangrup.com.tr/sinter-magnezit>, erişim tarihi:10.11.2018.

**CHAPTER
19****HAVA KİRLİLİĞİNİN
BELİRLENMESİNDE UZAKTAN
ALGILAMA: PARTİKÜL MADDELERİN
MODIS AEROSOL ÜRÜNLERİ İLE
TESPİTİ****Özgür ZEYDAN****Giriş**

Havanın normal bileşiminde bulunmayan gaz veya aerosol (havada askıda kalan katı veya sıvılar) formundaki kirleticilerin insan ve ekosistem sağlığına veya materyallere zarar verecek konsantrasyonda ve yeterince uzun süre havada bulunması hava kirliliği olarak adlandırılır. Partikül maddeler, atmosferik aerosollar içerisinde en önemli fraksiyondur. Hava kalitesinin belirlenmesi için partikül madde konsantrasyonu sürekli olarak izlenmelidir. Hava kalitesi izleme istasyonları vasıtasıyla yapılacak ölçümler sadece belirli bir bölge için kirlilik miktarını belirleyebilmektedir. İzleme ağının yetersiz olması durumunda hava kirliliğinin mekânsal dağılımı hakkında bilgi sahibi olmak mümkün değildir. Son yıllarda oldukça gelişen uydu tabanlı uzaktan algılama teknolojileri sayesinde hava kalitesinin daha uygun bir maliyet ile izlenmesi ve kirliliğin mekânsal dağılımının belirlenmesi mümkün olmaktadır (Hu et al., 2014). Bu çalışmada, partikül maddelerin uzaktan algılama ile belirlenmesi, MODIS aerosol ürünleri örneği ile anlatılmıştır.

Partikül Maddeler

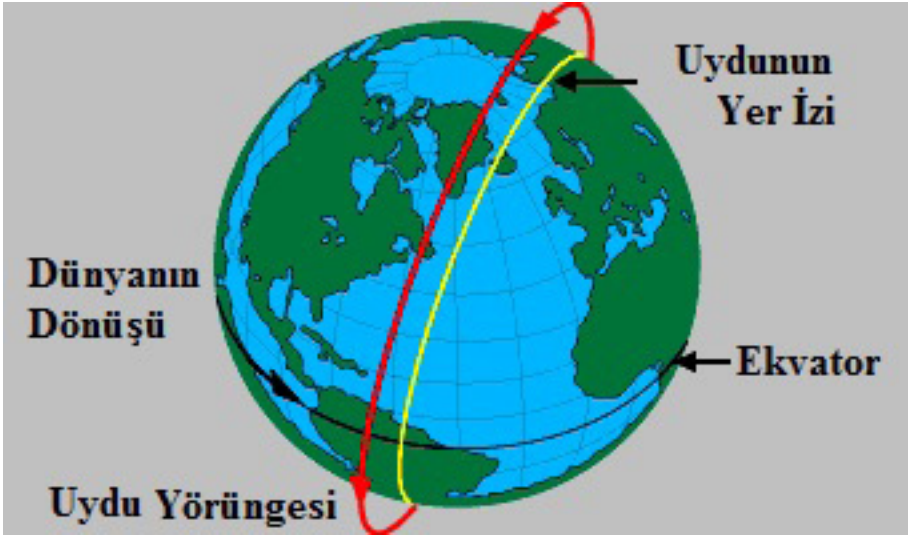
Havada askıda kalan katı parçacıklar, partikül madde olarak adlandırılır. Partikül maddeler doğal veya antropojenik kaynaklardan atmosfere salınabildiği gibi atmosferdeki reaksiyonlar sonucunda da oluşabilmektedir. Deniz spreyi, mineral ve çöl tozları doğal kaynakları oluştururken; sanayi faaliyetleri, güç santralleri yanma prosesleri, dizel yakıtlı araç egzozları ise başlıca antropojenik kaynaklardır (Fenger, 2009; Kampa and Castanas, 2008; López et al., 2005; Samet and Krewski, 2007). Partiküllerin çapı aynı zamanda sağlık etkisini de belirler. Çapı 10 μm 'den küçük olan kaba partiküller (PM_{10}) boğaz bölgesinde ve üst solunum yollarında birikim gösterirken çapı 2.5 μm 'den küçük olan ince partiküller ($\text{PM}_{2.5}$) ise akciğerlerde alveollere kadar ulaşarak kana karışabilmektedir (Kampa and Castanas, 2008). Partikül maddelere maruziyet sonucunda hastane başvurularında artışlar gözlenmekte (Cruz et al., 2015), boğaz bölgesinde tahriş, astım ve KOAH (Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı) gibi solunum sistemi hastalıkları (Kravchenko et al., 2014) ve kardiyovasküler hastalıklar (Neas, 2000) ortaya çıkmaktadır. Daha uzun süreli maruziyetlerde akciğer kanseri ve hatta ölüm meydana gelmektedir (Caiazzo et al., 2013). Partikül maddeler ayrıca, ekosistemin yapısını değiştirmekte, iklim değişikliğine sebep olmakta ve görüş seviyesini de düşürmektedir (Fuzzi et al., 2015; Grantz et al., 2003).



Uzaktan Algılama

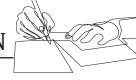
Bir obje ile fiziksel temas halinde olmadan onun hakkında bilgi edinme işlemi uzaktan algılama olarak tanımlanır. Uzaktan algılama için kullanılacak sensör yer seviyesinde olabileceği gibi insanlı veya insansız hava araçlarına (dron, uçak, balon vb.) da monte edilmiş olabilir. Özellikle son 30 yılda uydu teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler sonrasında uydular üzerinde yerleştirilmiş sensörler de uzaktan algılama amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Uydu tabanlı uzaktan algılama hâlâ gelişim sürecinde olsa da, hava kirliliğinin belirlenmesinde de kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. MODIS, MOPITT, MISR, AIRS, SCIAMACHY, OMI, TES, GOME-2, IASI, TANSO-FTS, GOES, GAS, TEMPO, VIIRS, TOMS, AVHRR, CALIOP ve MERIS gibi sensörler atmosferik çalışmalarda kullanılan sensörlerden bazılarıdır. Bu sensörler vasıtasıyla atmosferdeki azot dioksit (NO_2), kükürt dioksit (SO_2), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2), metan (CH_4), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC) ve amonyak (NH_3) gibi gazlar ile partikül maddelerin (PM) tespiti mümkün olmaktadır (Duncan et al., 2014; Martin, 2008; Streets et al., 2013; Toth et al., 2014).

Bu sensörler içerisinde hem Terra hem de Aqua uyduları üzerinde bulunan MODIS (The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) sensörü, atmosferik aerosollerin tespiti amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Ghotbi et al., 2016; Klingmüller et al., 2016; X. Ma et al., 2016; Nordio et al., 2013). Her iki uydu da yerden 705 km yükseklikte, yakın kutupsal, güneşle eşzamanlı, dairesel bir yörüngede bulunmaktadır. Şekil 1’de Yakın kutupsal, güneşle eşzamanlı yörünge şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Yakın kutupsal, güneşle eşzamanlı yörünge (Kaynak: <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/spacebrn.htm>)

Terra, 18 Aralık 1999’da uzaya gönderilmiş ve 2000 yılından itibaren de yer gözlem çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Aqua uydusu ise 4 Mayıs



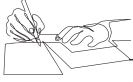
2002'de uzaya fırlatılmış ve aynı yıl yer gözlemi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Kloog et al., 2011; Levy et al., 2010; Papadimas et al., 2009; Z. Wang et al., 2013; You et al., 2016). Aqua ekvatoru yerel saat ile 13:30'da güney-kuzey doğrultusunda geçerken, Terra ise ekvatoru yerel saat ile 10:30'da kuzey-güney doğrultusunda geçen yörüngede dolaşmaktadır (Emili et al., 2010; Li et al., 2011; Papadimas et al., 2009). MODIS sensörleri görünür ışığın mavi dalga boyundan termal kızılötesine kadar 36 farklı dalga boyunda (0.41-14.4 μm) görüntü almaktadır. MODIS görüntülerinin mekânsal çözünürlükleri 250 (Bant 1-2), 500 (Bant 3-7) ve 1000 metre (Bant 8-36) olarak değişmektedir (Bennouna et al., 2011; Martin, 2008). MODIS görüntülerinin swath genişliği 2300 km olup zamansal çözünürlüğü ise 1-2 gündür (Liang et al., 2006; Z. Wang et al., 2013). MODIS sensörlerinden elde edilen veriler, deniz, yer yüzeyi, troposfer ve bulut sıcaklıkları, bulut özellikleri, atmosferik özellikler, aerosol özellikleri, yeşil bitki miktarı ve klorofil miktarının belirlenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

MODIS Aerosol Ürünleri

MODIS sensörlerinin başlıca aerosol ürünü Aerosol Optik Derinliktir (AOD - Aerosol Optical Depth). Bazı kaynaklarda bu terim Aerosol Optik Kalınlık (AOT - Aerosol Optical Thickness) olarak yer almaktadır (Kloog et al., 2014). MODIS AOD verileri yer seviyesindeki partikül madde kirliliğini tespit etmeyi olanaklı kılmakta ve 550 nm. dalga boyunda $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonuna daha duyarlıdır (Streets et al., 2013; Z. Wang et al., 2013). AOD terimi, yüzeyden atmosferin en üst tabakasına kadar olan aerosol kolonunu tanımlamak için kullanılmaktadır. Atmosferik kolondaki aerosollerin varlığına bağlı saçılma ve absorblama sebebiyle, elektromanyetik radyasyonun ışık sönümlenmesi miktarındaki değişikliklerin ölçülmesiyle AOD değeri belirlenir (Guo et al., 2009; Sorek-hamer et al., 2015). 2. seviye bir ürün olan MODIS AOD verisinin üretilmesi için gerekli olan algoritmalar Kaufman et al., (1997) ve Tanré et al., (1997) tarafından detaylı olarak açıklanmıştır. AOD verisi ancak gündüz görüntüleri içinde, bulutsuz havalarda, kar ve buzun olmadığı bölgelerden elde edilebilir (Pawan Gupta and Christopher, 2008; Remer et al., 2013). Orman alanları için "Dark Target (DT)" algoritması; kentsel alanlar, çöller ve kıyı bölgeleri gibi parlak bölgeler için de "Deep Blue (DP)" algoritması kullanılmaktadır (Martin, 2008; Sorek-hamer et al., 2015). İlk olarak aerosol-iklim ilişkisini belirlemek için kullanılan 10 km çözünürlüklü DT algoritmasının partikül madde kirliliği çalışmalarında da oldukça popüler olmuştur. Ancak 10 km. çözünürlüğün maruziyet belirlemede yeterli olmaması nedeniyle 3 km. çözünürlüklü AOD ürünleri 2014 yılında NASA tarafından hizmete sunulmuştur. Tablo 1'de Terra ve Aqua uydularından elde edilen 10 ve 3 km. çözünürlüklü MODIS AOD verilerinin etiketleri yer almaktadır (Remer et al., 2013; Xie et al., 2015).

Tablo 1. Farklı çözünürlükteki MODIS AOD veri etiketleri

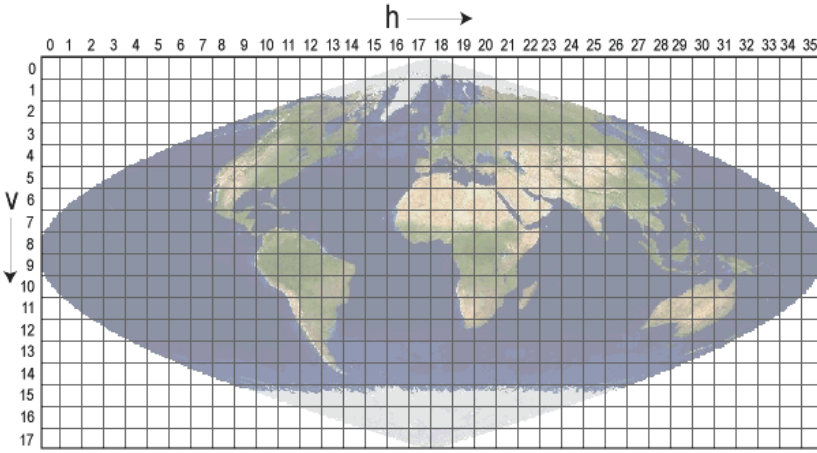
Çözünürlük / Uydu	Aqua	Terra
3 km	MYD04_3K	MOD04_3K
10 km	MYD04_L2	MOD04_L2



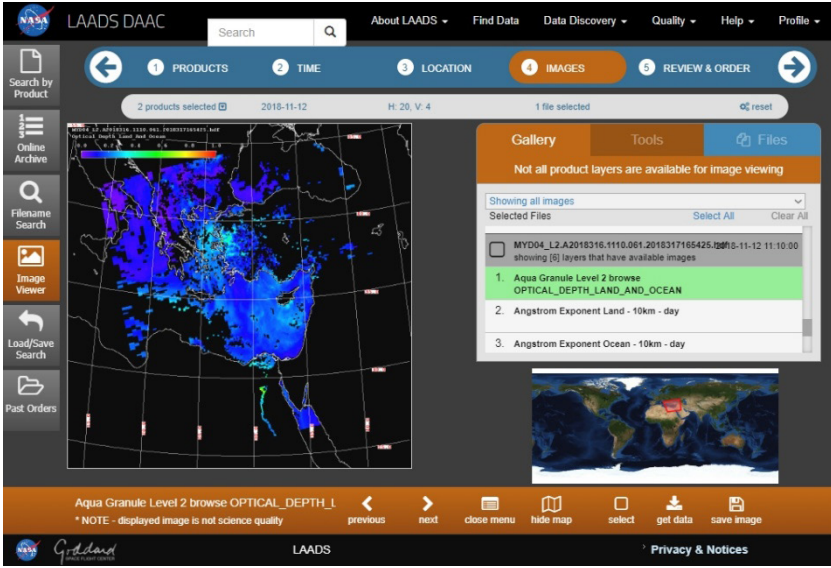
MODIS AOD Verilerinin Elde Edilmesi ve İşlenmesi

MODIS aerosol ürünlerini, NASA'ya ait MODIS Adaptive Processing System (MODAPS) web sitesinden (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>) ücretsiz olarak indirmek mümkündür. AOD verileri Hiyerarşik Veri Formatı'nda-ki (Hierarchical Data Formati EOS-HDF) dosyalar içerisinde yer alır.

İlgili web sitesinde "Products" sekmesinden öncelikle sensör türü olarak "MODIS:Aqua" veya "MODIS:Terra" ardından da Aerosol ürünleri seçilmelidir. Daha sonra istenilen zaman aralığı "Time" sekmesinden ve konum da "Location" sekmesinden seçilir. 2. seviye aerosol ürünleri sinusoidal projeksiyon ile oluşturulmuştur. Bu projeksiyon ile hazırlanan dünya haritası ve $10^\circ \times 10^\circ$ çözünürlükteki karoların adlandırılması Şekil 2'de gösterilmiştir. Konum seçimi sırasında Türkiye için veri almak isteniyorsa "H:20 V:4", "H:20 V:5", "H:21 V:4" veya "H:21 V:5" karoları seçilebilir. Bir sonraki adımda (Images sekmesi) dosyalara ön izleme yapmak veya *.hdf uzantılı dosyaları indirmek mümkündür (Şekil 3). Dosyalar indirilmeden, seçilen dosyalar üzerinde çeşitli "son işlemler" (post-processing) yapmak mümkündür. Bunun için "Review & Order" sekmesi seçilir (bu bölüm ücretsiz üyelik gerektirmektedir). Son işlemler içerisinde çalışma alanına ait koordinatların girilmesi ile veri alt kümesi oluşturma (subsetting), dosya formatını "geotiff"e dönüştürme, projeksiyon değiştirme gibi seçenekler mevcuttur.



Şekil 2. Sinusoidal Projeksiyon ve Karoların Adlandırılması (kaynak: https://modis-land.gsfc.nasa.gov/MODLAND_grid.html)



Şekil 2. MODIS AOD verilerinin MODAPS web sitesinden elde edilmesi

MODIS aerosol ürünlerini içeren hiyerarşik veri dosyaları aşağıda verilen MOD04_L2.AYYYYDDH.HHMM.CCC.YYYYDDHHMMSS.hdf

Burada;

MOD04_L2: ürünün hangi uydudan elde edildiğini ve çözünürlüğünü (bakınız Tablo 1),

YYYYDD: görüntünün alındığı yılı ve günü (jülyen günü olarak),

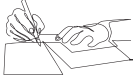
HHMM: görüntünün alındığı saat ve dakikayı,

CCC: verinin versiyon numarasını,

YYYDDHHMMSS: verinin işlendiği yılı, gün, saat, dakika ve saniyeyi göstermektedir (Levy et al., 2009).

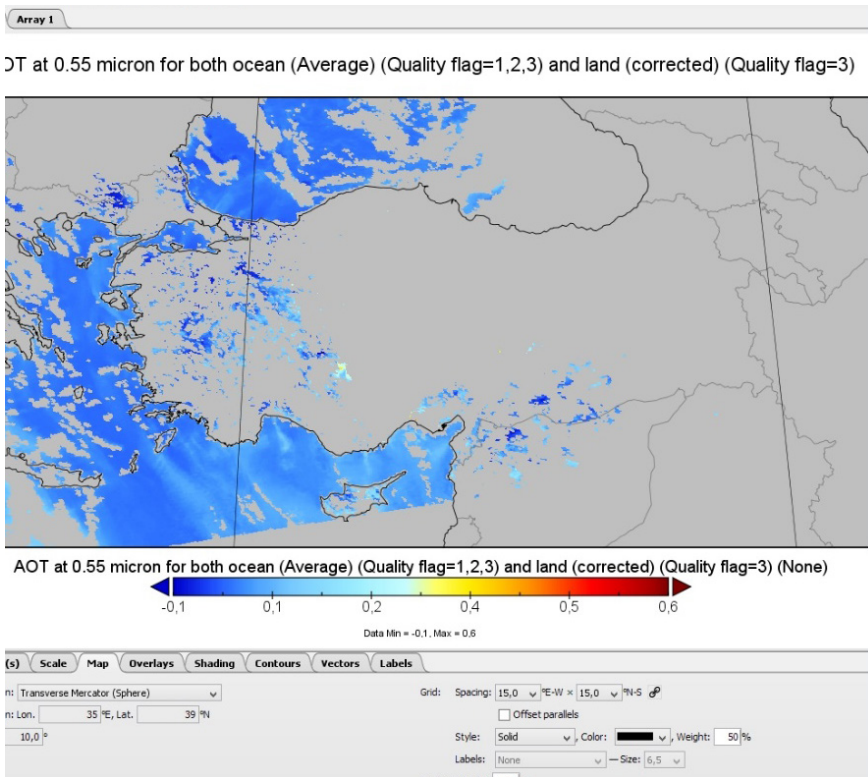
HDF dosyaları, çok sayıda Bilimsel Veri Setini (Science Data Sets, SDS) içerisinde barındırır (Levy et al., 2010; C. Wang et al., 2013). Literatürdeki çalışmalarda partikül madde miktarını belirleyebilmek için kullanılan farklı SDS'ler mevcuttur (Bennouna et al., 2011; Cheng et al., 2012; Liu et al., 2007; Ma et al., 2014; You et al., 2016):

- Optical_Depth_Land_And_Ocean
- Image_Optical_Depth_Land_And_Ocean
- Corrected_Optical_Depth_Land
- Effective_Optical_Depth_Average_Ocean



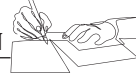
Gupta ve Christopher, (2008) günlük veri analizi yaparken veri kalitesi doğrulaması yapılmış ("quality flag" değerleri yüksek olan) SDS'lerin kullanımını önermektedir. Dark Target algoritması ile elde edilen "Optical_Depth_Land_And_Ocean" 0.55 μm 'de AOD verisini hem okyanus hem de kara üzerinde tespit eden ve veri kalitesi doğrulaması yapılmış olan bir SDS türüdür ve yaygın olarak kullanılmaktadır (Cheng et al., 2012; Levy et al., 2009; Liu et al., 2007; Ma et al., 2014; Remer et al., 2005; You et al., 2016).

MODIS AOD verilerini görüntülemek için "Panoply" yazılımı kullanılabilir. Panoply, <https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/> web sitesinden ücretsiz olarak indirilebilir. Java tabanlı olduğu için bu yazılımı Windows, Linux ve Macintosh gibi farklı işletim sistemlerinde kullanmak mümkündür. Bilgisayarda, "Java Runtime Environment"ın yüklü olması gerekmektedir. Panoply yazılımında, "Data_Fields" bölümünden istenilen SDS seçilerek görüntülenebilir (Şekil 4).

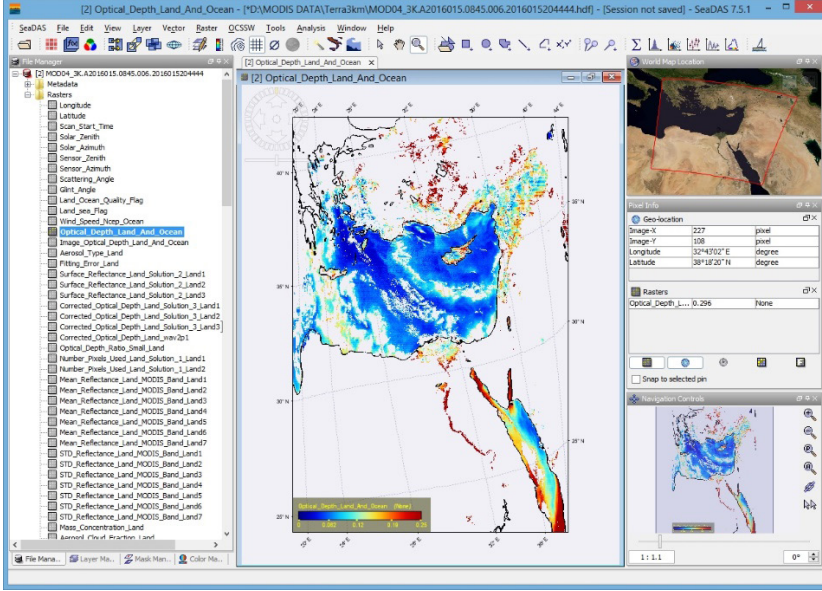


Şekil 4. Panoply yazılımında MODIS AOD verisi

MODIS AOD verilerini görüntülemek için kullanılan bir başka yazılım ise SeaDAS'dır. <https://seadas.gsfc.nasa.gov/> web sitesinden ücretsiz olarak indirilebilen SeaDAS önceleri SeaWiFS sensöründen alınan okyanus rengi görüntüleri için kullanılmakta ise sonradan pek çok uydu görüntüsünü destekler hale gelmiştir. Şekil 5'de SeaDAS yardımı ile görüntülemiş bir hdf dosyası yer almaktadır. Se-

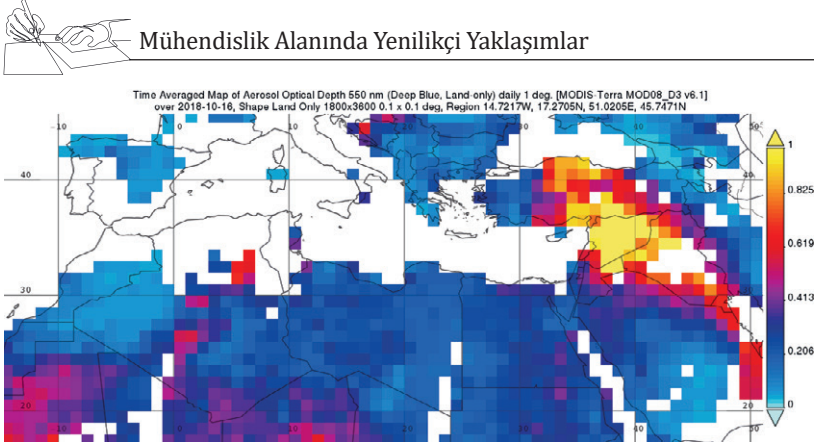


adAS, sadece hdf dosyalarını görüntülemekle kalmamakta aynı zamanda imleç yardımı ile seçilen pikseldeki AOD değerini de vermektedir. El yardımı ile AOD değeri okumak zor olduğu için, “Tools > Pixel Extraction...” komutu ile seçilen dosyalar ve farklı koordinatlar için AOD değerlerini dosyaya yazdırmak mümkün olacaktır. Ayrıca Matlab, R, Python veya IDL gibi hdf ve geotiff dosyalarını okuyabilen yazılımlar da istenilen koordinatlardaki AOD verilerini bir başka dosyaya yazdırmak için kullanılabilir.



Şekil 5. SeaDAS yazılımında MODIS AOD verisi

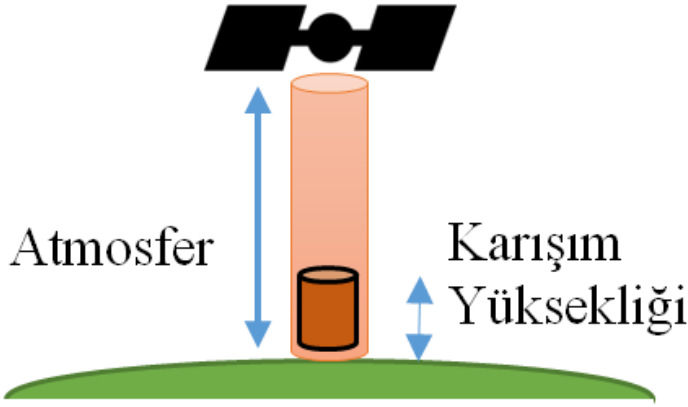
Online olarak kullanılan “Giovanni” uygulaması ile MODIS AOD verileri de dâhil olmak üzere çok sayıda atmosferik, meteorolojik, hidrolojik ve oşinografik veriyi işlemek mümkündür. NASA tarafından geliştirilen Giovanni uygulamasına <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> adresinden ulaşılabilir. “Disciplines” bölümünden “Aerosols” ve “Platform/Instrument” bölümünden de “MODIS-Terra” veya “MODIS-Aqua” seçenekleri seçilir. Ancak bu uygulama ile 3 seviye “Gridli Atmosfer Ürünleri”ne ulaşılır. 2. seviye aerosol ürünlerinin zamansal ve mekânsal ortalamaları ile üretilen 3. seviye aerosol ürünleri MOD08 (Terra) ve MYD08 (Aqua) etiketleri ise isimlendirilmişlerdir. Bu ürünlerin mekânsal çözünürlüğü 1° ve zamansal çözünürlüğü de günlük veya aylıktır. Şekil 6’da, 16 Ekim 2018 tarihinde Türkiye üzerinde gözlenen toz taşınımının Giovanni uygulaması ile oluşturulmuş görüntüsü yer almaktadır. 0.6 – 0.8 gibi yüksek AOD değerleri toz taşınımının göstergesidir.



Şekil 6. 16 Ekim 2018 tarihindeki toz taşınımının Giovanni uygulaması ile oluşturulmuş görüntüsü

MODIS AOD Verisinin Yer Seviyesi PM Konsantrasyonu İle İlişkilendirilmesi

Literatürde yapılmış çoğu çalışmada MODIS AOD verileri ile yer seviyesi $PM_{2.5}$ konsantrasyonu ile ilişkilendirilmiş ve $PM_{2.5} = \alpha_0 + \alpha(AOD)$ şeklinde lineer bir denklem ile ifade edilmiştir (Li et al., 2015; Liu et al., 2009; Z. Ma et al., 2016; Song et al., 2015; Sorek-hamer et al., 2015; Xin et al., 2014). Bazı çalışmalarda da, MODIS AOD ile PM_{10} arasındaki korelasyon incelenmiştir (Emili et al., 2010; Péré et al., 2009; Sotoudeheian and Arhami, 2014). Burada dikkat edilmesi gereken nokta AOD'nin yer seviyesinden atmosferin üst katmanına kadar olan bir kolon içinde ölçüldüğü, yer seviyesi $PM_{2.5}$ ölçümlerinin de bu kolon içerisinde karışım yüksekliğine kadar olan bölüm içinde kaldığıdır (Şekil 7). Yer seviyesi $PM_{2.5}$ (veya PM_{10}) konsantrasyonunun AOD ile ilişkilendirilmesinde basit doğrusal regresyonun tek başına yeterli olmamaktadır. AOD ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonu arasında daha iyi bir ilişki bulabilmek için çok değişkenli doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modellerinin kullanımı önerilmektedir. $PM_{2.5}$ konsantrasyonu etkileyebilecek olan karışım yüksekliği, bağıl nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü ve yüzey sıcaklığı gibi meteorolojik parametreler regresyon modeline eklenebilir (Liu et al., 2007; Sotoudeheian and Arhami, 2014; You et al., 2016). Bazı araştırmacılar arazi kullanım verileri ve emisyon envanterinin de modele dahil edilmesini önermektedir (Hu et al., 2014; Kloog et al., 2011; Sorek-hamer et al., 2015). Zhang ve Li, (2015) ise bir diğer MODIS verisi olan ince mod fraksiyonunun (fine mode fraction, FMF) istatistiksel analizlerde kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Çoklu regresyon modelleri haricinde, Karışık-Etki modelleri (Mixed-Effect models), Kimyasal Taşınım modelleri (Chemical Transport models) ve Coğrafi Ağırlıklı Regresyon (Geographically Weighted Regression) da $PM_{2.5}$ ile AOD arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Chu et al., 2016; Toth et al., 2014).



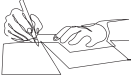
Şekil 7. AOD Atmosfer Kolonu ve Karışım Yüksekliği

Sonuç

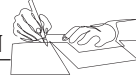
Son yıllarda oldukça gelişen uydu ve sensör teknolojileri sayesinde, çevresel izleme işlemlerinde uzaktan algılamanın kullanımı artış göstermeye başlamıştır. Uydu tabanlı uzaktan algılama ile atmosferdeki NO_2 , SO_2 , CO , CO_2 , CH_4 , NMVOC ve NH_3 gibi gazlar ile partikül maddelerin belirlenmesi ve izlenmesi olanaklı hale gelmiştir. Atmosferde partikül maddelerin tespiti gazlar kadar kolay olmamakla birlikte Aerosol Optik Derinlik ile yer seviyesinde ölçülen partikül madde konsantrasyonlarını ilişkilendirmek mümkündür. Terra ve Aqua uyduları üzerinde yer MODIS sensörlerinden elde edilen Aerosol Optik Derinlik verileri yıllardır hem iklim hem de hava kalitesi ile ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. MODIS AOD verileri ile meteorolojik parametreler, yer seviyesi partikül madde konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanılabilir. Buradaki en önemli nokta, sihirli bir formül olmadığı, doğrusal veya doğrusal olmayan çok değişkenli regresyon modellerinin veya daha gelişmiş modellerin deneme yanılma ile bulunması gerektiğidir. Yüksek korelasyona sahip bir ilişki belirlendiğinde bu model yer seviyesi partikül maddenin mekânsal dağılımını göstermek için kullanılabilir.

Kaynaklar

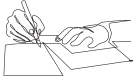
1. Bennouna, Y.S., Cachorro, V.E., Toledano, C., Berjón, A., Prats, N., Fuertes, D., Gonzalez, R., Rodrigo, R., Torres, B., de Frutos, A.M., 2011. Comparison of atmospheric aerosol climatologies over southwestern Spain derived from AERONET and MODIS. Remote Sens. Environ. 115, 1272–1284. doi:10.1016/j.rse.2011.01.011
2. Caiazzo, F., Ashok, A., Waitz, I.A., Yim, S.H.L., Barrett, S.R.H., 2013. Air pollution and early deaths in the United States. Part I: Quantifying the impact of major sectors in 2005. Atmos. Environ. 79, 198–208. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.05.081
3. Cheng, T., Chen, H., Gu, X., Yu, T., Guo, J., Guo, H., 2012. The inter-comparison of MODIS, MISR and GOCART aerosol products against AERONET data over China. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. 113, 2135–2145. doi:10.1016/j.jqsrt.2012.06.016
4. Chu, Y., Liu, Y., Li, X., Liu, Z., Lu, H., Lu, Y., Mao, Z., Chen, X., Li, N., Ren, M., Liu, F., Tian, L., Zhu, Z., Xiang, H., 2016. A review on predicting ground PM_{2.5} concentration



- using satellite aerosol optical depth. *Atmosphere* (Basel). 7, 129. doi:10.3390/atmos7100129
5. Cruz, A.M.J., Sarmiento, S., Almeida, S.M., Silva, A. V, Alves, C., Freitas, M.C., Wolterbeek, H., 2015. Association between atmospheric pollutants and hospital admissions in Lisbon. *Env. Sci Pollut Res* 22, 5500–5510. doi:10.1007/s11356-014-3838-z
6. Duncan, B.N., Prados, A.I., Lamsal, L.N., Liu, Y., Streets, D.G., Gupta, P., Hilsenrath, E., Kahn, R.A., Nielsen, J.E., Beyersdorf, A.J., Burton, S.P., Fiore, A.M., Fishman, J., Henze, D.K., Hostetler, C.A., Krotkov, N.A., Lee, P., Lin, M., Pawson, S., Pfister, G., Pickering, K.E., Pierce, R.B., Yoshida, Y., Ziemba, L.D., 2014. Satellite data of atmospheric pollution for U.S. air quality applications: Examples of applications, summary of data end-user resources, answers to FAQs, and common mistakes to avoid. *Atmos. Environ.* 94, 647–662. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.05.061 Review
7. Emili, E., Popp, C., Petitta, M., Riffler, M., Wunderle, S., Zebisch, M., 2010. PM10 remote sensing from geostationary SEVIRI and polar-orbiting MODIS sensors over the complex terrain of the European Alpine region. *Remote Sens. Environ.* 114, 2485–2499. doi:10.1016/j.rse.2010.05.024
8. Fenger, J., 2009. Air pollution in the last 50 years – From local to global. *Atmos. Environ.* 43, 13–22. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.09.061
9. Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., Denier Van Der Gon, H., Facchini, M.C., Fowler, D., Koren, I., Langford, B., Lohmann, U., Nemitz, E., Pandis, S., Riipinen, I., Rudich, Y., Schaap, M., Slowik, J.G., Spracklen, D. V., Vignati, E., Wild, M., Williams, M., Gilardoni, S., 2015. Particulate matter, air quality and climate: Lessons learned and future needs. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 8217–8299. doi:10.5194/acp-15-8217-2015
10. Ghotbi, S., Sotoudeheian, S., Arhami, M., 2016. Estimating urban ground-level PM10 using MODIS 3km AOD product and meteorological parameters from WRF model. *Atmos. Environ.* 141, 333–346. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.06.057
11. Grantz, D.A., Garner, J.H.B., Johnson, D.W., 2003. Ecological effects of particulate matter. *Environ. Int.* 29, 213–239. doi:10.1016/S0160-4120(02)00181-2
12. Guo, J.P., Zhang, X.Y., Che, H.Z., Gong, S.L., An, X., Cao, C.X., Guang, J., Zhang, H., Wang, Y.Q., Zhang, X.C., Xue, M., Li, X.W., 2009. Correlation between PM concentrations and aerosol optical depth in eastern China. *Atmos. Environ.* 43, 5876–5886. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.08.026
13. Gupta, P., Christopher, S.A., 2008. An evaluation of Terra-MODIS sampling for monthly and annual particulate matter air quality assessment over the Southeastern United States. *Atmos. Environ.* 42, 6465–6471. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.04.044
14. Gupta, P., Christopher, S.A., 2008. Seven year particulate matter air quality assessment from surface and satellite measurements. *Atmos. Chem. Phys.* 8, 3311–3324. doi:10.5194/acp-8-3311-2008
15. Hu, X., Waller, L.A., Lyapustin, A., Wang, Y., Al-Hamdan, M.Z., Crosson, W.L., Estes, M.G., Estes, S.M., Quattrochi, D.A., Puttaswamy, S.J., Liu, Y., 2014. Estimating ground-level PM2.5 concentrations in the Southeastern United States using MAIAC AOD retrievals and a two-stage model. *Remote Sens. Environ.* 140, 220–232. doi:10.1016/j.rse.2013.08.032
16. Kampa, M., Castanas, E., 2008. Human health effects of air pollution. *Environ. Pollut.* 151, 362–367. doi:10.1016/j.envpol.2007.06.012
17. Kaufman, Y.J., Tanré, D., Remer, L. a., Vermote, E.F., Chu, a., Holben, B.N., 1997. Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS



- moderate resolution imaging spectroradiometer. *J. Geophys. Res.* 102, 17051. doi:10.1029/96JD03988
18. Klingmüller, K., Pozzer, A., Metzger, S., Stenchikov, G.L., Lelieveld, J., 2016. Aerosol optical depth trend over the Middle East. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 5063–5073. doi:10.5194/acp-16-5063-2016
 19. Kloog, I., Chudnovsky, A.A., Just, A.C., Nordio, F., Koutrakis, P., Coull, B.A., Lyapustin, A., Wang, Y., Schwartz, J., 2014. A new hybrid spatio-temporal model for estimating daily multi-year PM_{2.5} concentrations across northeastern USA using high resolution aerosol optical depth data. *Atmos. Environ.* 95, 581–590. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.07.014
 20. Kloog, I., Koutrakis, P., Coull, B.A., Lee, H.J., Schwartz, J., 2011. Assessing temporally and spatially resolved PM_{2.5} exposures for epidemiological studies using satellite aerosol optical depth measurements. *Atmos. Environ.* 45, 6267–6275. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.08.066
 21. Kravchenko, J., Akushevich, I., Abernethy, A.P., Holman, S., Ross, W.G., Kim Lyerly, H., 2014. Long-term dynamics of death rates of emphysema, asthma, and pneumonia and improving air quality. *Int. J. COPD* 9, 613–627. doi:10.2147/COPD.S59995
 22. Levy, R., Remer, L., Tanré, D., 2009. Algorithm for Remote Sensing of Tropospheric Aerosol over Dark Targets from MODIS: Collections 005 and 051: Revision 2; Feb 2009. Download from [http:// ...](http://...) 1–96.
 23. Levy, R.C., Remer, L.A., Kleidman, R.G., Mattoo, S., Ichoku, C., Kahn, R., Eck, T.F., 2010. Global evaluation of the Collection 5 MODIS dark-target aerosol products over land. *Atmos. Chem. Phys.* 10, 10399–10420. doi:10.5194/acp-10-10399-2010
 24. Li, C., Hsu, N.C., Tsay, S.-C., 2011. A study on the potential applications of satellite data in air quality monitoring and forecasting. *Atmos. Environ.* 45, 3663–3675. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.04.032
 25. Li, R., Gong, J., Chen, L., Wang, Z., 2015. Estimating ground-level PM_{2.5} using fine-resolution satellite data in the megacity of Beijing, China. *Aerosol Air Qual. Res.* 15, 1347–1356. doi:10.4209/aaqr.2015.01.0009
 26. Liang, S., Zhong, B., Fang, H., 2006. Improved estimation of aerosol optical depth from MODIS imagery over land surfaces. *Handb. Environ. Chem. Vol. 5 Water Pollut.* 104, 416–425. doi:10.1016/j.rse.2006.05.016
 27. Liu, Y., Franklin, M., Kahn, R., Koutrakis, P., 2007. Using aerosol optical thickness to predict ground-level PM_{2.5} concentrations in the St. Louis area: A comparison between MISR and MODIS. *Remote Sens. Environ.* 107, 33–44. doi:10.1016/j.rse.2006.05.022
 28. Liu, Y., Paciorek, C.J., Koutrakis, P., 2009. Estimating regional spatial and temporal variability of PM_{2.5} concentrations using satellite data, meteorology, and land use information. *Environ. Health Perspect.* 117, 886–892. doi:10.1289/ehp.0800123
 29. López, M.T., Zuk, M., Garibay, V., Tzintzun, G., Iniestra, R., Fernández, A., 2005. Health impacts from power plant emissions in Mexico. *Atmos. Environ.* 39, 1199–1209. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.10.035
 30. Ma, X., Wang, J., Yu, F., Jia, H., Hu, Y., 2016. Can MODIS AOD be employed to derive PM_{2.5} in Beijing-Tianjin-Hebei over China? *Atmos. Res.* 181, 250–256. doi:10.1016/j.atmosres.2016.06.018
 31. Ma, Z., Hu, X., Huang, ei, L., Bi un, J., Liu, Y., 2014. Estimating ground-level PM_{2.5} in China using satellite remote sensing. *Environ. Sci. Technol.* 48, 7436–7444.

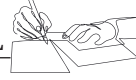


doi:10.1021/es5009399

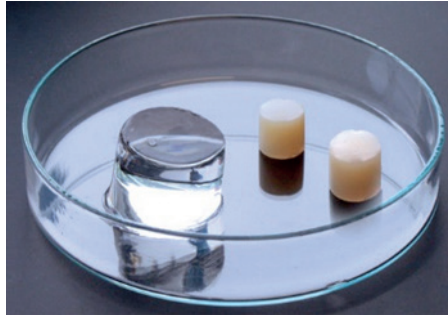
32. Ma, Z., Liu, Y., Zhao, Q., Liu, M., Zhou, Y., Bi, J., 2016. Title: Satellite-derived high resolution PM_{2.5} concentrations in Yangtze River Delta Region of China using improved linear mixed effects model. *Atmos. Environ.* 133, 156–164. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.03.040
33. Martin, R. V., 2008. Satellite remote sensing of surface air quality. *Atmos. Environ.* 42, 7823–7843. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.07.018
34. Neas, L.M., 2000. Fine particulate matter and cardiovascular disease. *Fuel Process. Technol.* 65, 55–67. doi:10.1016/S0378-3820(99)00076-4
35. Nordio, F., Kloog, I., Coull, B.A., Chudnovsky, A., Grillo, P., Bertazzi, P.A., Baccarelli, A.A., Schwartz, J., 2013. Estimating spatio-temporal resolved PM₁₀ aerosol mass concentrations using MODIS satellite data and land use regression over Lombardy, Italy. *Atmos. Environ.* 74, 227–236. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.03.043
36. Papadimas, C.D., Hatzianastassiou, N., Mihalopoulos, N., Kanakidou, M., Katsoulis, B.D., Vardavas, I., 2009. Assessment of the MODIS Collections C005 and C004 aerosol optical depth products over the Mediterranean basin. *Atmos. Chem. Phys.* 9, 2987–2999. doi:10.5194/acpd-8-16891-2008
37. Péré, J.C., Pont, V., Mallet, M., Bessagnet, B., 2009. Mapping of PM₁₀ surface concentrations derived from satellite observations of aerosol optical thickness over South-Eastern France. *Atmos. Res.* 91, 1–8. doi:10.1016/j.atmosres.2008.05.001
38. Remer, L.A., Kaufman, Y.J., Tanré, D., Mattoo, S., Chu, D.A., Martins, J. V., Li, R.-R., Ichoku, C., Levy, R.C., Kleidman, R.G., Eck, T.F., Vermote, E., Holben, B.N., 2005. The MODIS Aerosol Algorithm, Products, and Validation. *J. Atmos. Sci.* 62, 947–973. doi:10.1175/JAS3385.1
39. Remer, L.A., Mattoo, S., Levy, R.C., Munchak, L.A., 2013. MODIS 3 km aerosol product: Algorithm and global perspective. *Atmos. Meas. Tech.* 6, 1829–1844. doi:10.5194/amt-6-1829-2013
40. Samet, J., Krewski, D., 2007. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, Part A: Current Issues Health Effects Associated With Exposure to Ambient Air Pollution. *J. Toxicol. Environ. Heal. Part A Curr. Issues* 70, 227–242. doi:10.1080/15287390600884644
41. Song, Y.Z., Yang, H.L., Peng, J.H., Song, Y.R., Sun, Q., Li, Y., 2015. Estimating PM_{2.5} concentrations in Xi'an City using a generalized additive model with multi-source monitoring data. *PLoS One* 10, 1–22. doi:10.1371/journal.pone.0142149
42. Sorek-hamer, M., Kloog, I., Koutrakis, P., Strawa, A.W., Chat, R., Cohen, A., Ridgway, W.L., Broday, D.M., 2015. Assessment of PM_{2.5} concentrations over bright surfaces using MODIS satellite observations. *Remote Sens. Environ.* 163, 180–185. doi:10.1016/j.rse.2015.03.014
43. Sotoudeheian, S., Arhami, M., 2014. Estimating ground-level PM₁₀ using satellite remote sensing and ground-based meteorological measurements over Tehran. *J. Environ. Heal. Sci. Eng.* 12, 122. doi:10.1186/s40201-014-0122-6
44. Streets, D.G., Canty, T., Carmichael, G.R., De Foy, B., Dickerson, R.R., Duncan, B.N., Edwards, D.P., Haynes, J.A., Henze, D.K., Houyoux, M.R., Jacob, D.J., Krotkov, N.A., Lamsal, L.N., Liu, Y., Lu, Z., Martin, R. V., Pfister, G.G., Pinder, R.W., Salawitch, R.J., Wecht, K.J., 2013. Emissions estimation from satellite retrievals: A review of current capability. *Atmos. Environ.* 77, 1011–1042. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.05.051 Review
45. Tanré, D., Kaufman, Y.J., Herman, M., Mattoo, S., 1997. Remote sensing of aerosol



- properties over oceans using the MODIS/EOS spectral radiances. *J. Geophys. Res.* 102, 16971. doi:10.1029/96JD03437
46. Toth, T.D., Zhang, J., Campbell, J.R., Hyer, E.J., Reid, J.S., Shi, Y., Westphal, D.L., 2014. Impact of data quality and surface-to-column representativeness on the PM_{2.5}/satellite AOD relationship for the contiguous United States. *Atmos. Chem. Phys.* 14, 6049–6062. doi:10.5194/acp-14-6049-2014
47. Wang, C., Liu, Q., Ying, N., Wang, X., Ma, J., 2013. Air quality evaluation on an urban scale based on MODIS satellite images. *Atmos. Res.* 132–133, 22–34. doi:10.1016/j.atmosres.2013.04.011
48. Wang, Z., Liu, Y., Hu, M., Pan, X., Shi, J., Chen, F., He, K., Koutrakis, P., Christiani, D.C., 2013. Acute health impacts of airborne particles estimated from satellite remote sensing. *Environ. Int.* 51, 150–159. doi:10.1016/j.envint.2012.10.011
49. Xie, Y., Wang, Y., Zhang, K., Dong, W., Lv, B., Bai, Y., 2015. Daily Estimation of Ground-Level PM_{2.5} Concentrations over Beijing Using 3 km Resolution MODIS AOD. *Environ. Sci. Technol.* 49, 12280–12288. doi:10.1021/acs.est.5b01413
50. Xin, J., Zhang, Q., Wang, L., Gong, C., Wang, Y., Liu, Z., Gao, W., 2014. The empirical relationship between the PM_{2.5} concentration and aerosol optical depth over the background of North China from 2009 to 2011. *Atmos. Res.* 138, 179–188. doi:10.1016/j.atmosres.2013.11.001
51. You, W., Zang, Z., Zhang, L., Zhang, M., Pan, X., Li, Y., 2016. A nonlinear model for estimating ground-level PM₁₀ concentration in Xi'an using MODIS aerosol optical depth retrieval. *Atmos. Res.* 168, 169–179. doi:10.1016/j.atmosres.2015.09.008
52. Zhang, Y., Li, Z., 2015. Remote sensing of atmospheric fine particulate matter (PM_{2.5}) mass concentration near the ground from satellite observation. *Remote Sens. Environ.* 160, 252–262.

**CHAPTER
20****HİDROJEL MEMBRAN SİSTEMLERİN
KULLANIM ALANLARI****Safiye Meriç AÇIKEL****GİRİŞ**

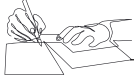
Membran sistemleri iki faz arasında yer alıp, filtrasyon veya saflaştırma görevleri olan bariyer malzemeler olarak bilinmektedir. Günümüzde membran üretimi için sentetik ve doğal olmak üzere çok çeşitli ürünler kullanılmaktadır. Bunlar arasında; seramik, mineral, selülozik, poli amid bazlı doğal malzemelerden üretilmiş membran sistemleri olduğu gibi sıklıkla polimerlerin tercih edildiği sentetik ürünlerde bulunmaktadır. [1] Membran ayırma sistemleri içinde ters ozmos, nano filtrasyon, ultrafiltrasyon, micro filtrasyon, vb. sistemler örnek verilebilir iken son zamanlarda farklı üretim metotları ile uzaklaştırma veya ayırma sistemleri yapılmaktadır. Bunlar arasında hidrojel membranlar yeni sistemlerin arasında yer almaktadır. [2] Ancak yapılan çalışmalar; hidrojel membranların farklı uygulamalar alanları ile sadece saflaştırma, arıtma yada adsorpsiyon gibi alanlarda kullanılmayıp doku mühendisliği, kontrollü ilaç salınımı, yara örtücüler, biyosensörler gibi çok farklı alanlarda da avantajlı özellikleri sayesinde tercih edilebileceğini göstermektedir (Şekil 1). Bu bilgiler doğrultusunda bu derlemede hidrojel membranların kullanım alanları hakkında bilgi verilmektedir.



Şekil 1. Hidrojel Membrane [3]

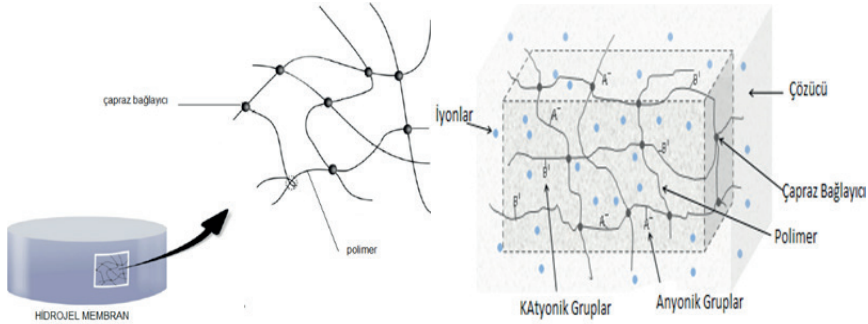
HİDROJEL NEDİR?

Hidrojel terimi bilimsel literatürde ilk olarak 1894 yılında inorganik tuzların kolloidal jeli olarak tanımlanarak yer almıştır [4], [5]. Ancak günümüzde kontakt lenslerde kullanılan poly (2-hidroksietil metakrilat) p(HEMA)'ın su alıp şişebilen çapraz bağlı makromoleküler ağ yapısı yani ilk sentetik Hidrojel 1954 yılında Wichterle ve Lim tarafından tanımlanmıştır [6]. 1958 yılında ise poli vinil akrilat p(PVA) hidrojeli Gama radyasyonu ile üretilmiştir [7]. 1970 yılında ise çapraz bağlanmış poli etilen glikol p(PEG) hidrojeli Gama radyasyonu ile üretilmiştir [8]. 1972 yılında ise ilk defa anti mikrobiyallerinde kontrollü salınımı için pluronik hidrojeller ilaçlarda kullanılmıştır [9]. 1993 yılında ise fotopolimerizasyon yön-



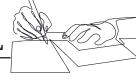
temi ile poli etilen glikol-poli laktik asit p(PEG-PLA) Hidrojeli üretilmiş ve 1997 yılında ise aynı hidrojinin sıcaklık davranışları araştırılmıştır. [10] 1993 yılında ise sentetik ve doğal polimerlerin hibrid Hidrojel kombinasyonları araştırılmıştır [11]. Smart jel” adıyla 1996 yılında piyasaya sürülen ticari jel, oda sıcaklığında yumuşak ve esnek olup, vücut ısısına maruz bırakıldığında katılaştıran bir yapıdır. Bu jel, ayakkabıların (özellikle patenlerin) içine yerleştirilerek, ayağa gerekli desteği ve konforu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır [12].

Bilindiği gibi polimer monomerlerin farklı tepkimeler ile bir ara gelmesiyle oluşmuş ürünlerdir. Bir polimer ürün olan hidrojel ise doğrusal veya dallanmış olarak bağlanmış diğer polimerlerden farklı olarak çapraz olarak üç boyutlu ağı bir şekilde birbirine bağlanmıştır. (Şekil 2) Bu yapılar birbirine güçlü kovalent bağları ile bağlandıkları için hiç bir çözücüde çözünmezler. Ancak yapının diğer polimerlerle kıyaslandığında en büyük farkı bir çözücüde bekletildiklerinde şişmeye başlamış olmalarıdır [13]. Eğerki çözücü su dışında başka bir kimyasal ise genel olarak isimleri kserojel olarak adlandırılmaktadırlar. Bir diğer tanımda Kütlelerinin %20’sinden daha fazla çözücüyü bünyelerine alarak şişme yeteneğine sahip çapraz bağlı homopolimerler veya kopolimerler kserojel (xerogel) olarak isimlendirildiği söylenebilir. Eğerki çözücü olarak su kullanıldığında ise hidrojel ismini almaktadır [14], [15].



Şekil 2: Hidrojel Membran ve Çapraz Bağlı Yapının Şematik Görünümü [19], [20].

Hidrojellerdeki şişme davranışı onun günümüzde çok farklı uygulamalarda tercih edilmesini sağlamaktadır. Özellikle yapıların süngere benzer şekilde gözenekli halde onların çok yüksek miktarlarda hedef maddeleri bünyelerine bağlamaları veya salınımları olabilmektedir. Bir jelin hidrojel şişme davranışı; yapılarındaki $-OH$, $-NH_2$, $-COOH$, $-COOR$, vb. gibi polar ve hidrofilik fonksiyonel grupları içermesi ile ilgili olmaktadır. Bu gruplar su ile etkileşerek hidrojen bağlarını oluşturmaktadırlar [16]. Bağlı durumuna geçen su ile çevrilen, hidrofilik gruplardan jelin hacmi ve kütlesi artar ve jel şişmeye başlamaktadır. Hidrojel polimerin bu su abosroblama kabiliyeti çapraz bağlanma miktarı ile ve fonksiyonel grupların türleri ile ilişkilendirilmektedir. Zincirler arası itme ve çekme, kovalent olmayan elektrostatik, hidrofobik, Van der Waals ve hidrojen bağından etkilenmekte ve jelin şişme davranışını etkilemektedir [17],[18]. Ek olarak bazı hidrojel türlerinde ise şişme davranışı sadece ortamdaki uyarıcı ile gerçekleşebilmektedir. Bu tür hidrojel farklı bir tür olarak uyarıcı cevap hidrojel olarak isimlendirilir.



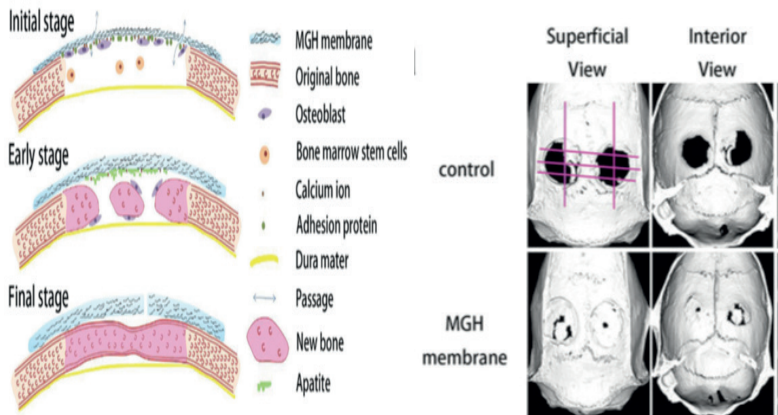
ilmektedir. Uyarıcılar olarak; pH, lazer, iyonik güç, sıcaklık, inflammasyon, metal, üre, morfin, antikor, ultrasonik radyasyon, manyetik alan, elektrik alan, vb. tetikleyiciler örnek olarak verilebilir [17],[18].

HİDROJEL MEMBRAN SİSTEMLERİ

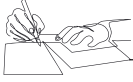
Hidrojellerin günümüzde aktif olarak kullanıldığı birçok alan bulunmaktadır. Kontakt lensler, yara iyileştiriciler, çocuk bezleri, tarımda toprak alternatifi, ateş düşürücü bantlar, kozmetik maskeler veya kremler, vb. birçok ürün bulunmaktadır. Bunların yanında literatürde her geçen gün yeni uygulamalar yapılmaktadır. Hidrojellerin membran şekline dönüştürülerek yapıldığı uygulamalar bunlardan biridir. Özellikle son çalışmalarda biyosensörler, ilaç salınımları, yara örtücüler, kök hücre eklenmiş doku mühendisliği uygulamaları, nano partikül eklenmiş ürünler, su saflaştırma, boya-metal uzaklaştırmaları ve bir çok kimyasala yönelik adsorpsiyon çalışmaları bulunmaktadır. Bu uygulamaların içinde birçok polimer veya polimer kompozit karışımlar ile çeşitlendirilebilmektedir.

DOKU MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

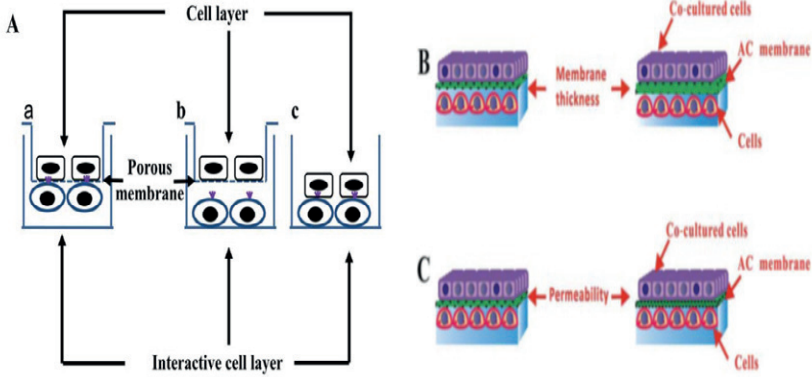
Son yıllarda tıp biliminde, vücut yapılarının tamiri ve rejenerasyonu için kök hücre ve doku mühendisliği uygulamaları önem kazanmıştır. Kolaylıkla bölünebilme ve farklı hücre tiplerine dönüşebilen kök hücreler medikal tedavilerde ve klinik uygulamalarda önem kazanmıştır. Bu uygulamalar içinde hasarlı dokuların onarımı; hücrelerin üremesi ve farklılaşması için morfolojik sinyaller veya hücrede taşıyıcı olarak görevi yapan materyaller yer almaktadır [21], [22]. Hidrojel membran sistemlerin kullanıldığı doku mühendisliği uygulamalarında ise bu amaçların birçoğu gerçekleştirilmektedir. Uygulamalar içinde membran haline dönüştürülmüş dokuların hücre kültürlerine yerleştirerek üreme hızının artırılması sağlanmakta veya kemik gibi organizma tarafından tamirati zor olan hasar görmüş dokuların onarımı gerçekleştirilmektedir. Örneğin; multi katmanlı grafen hidrojel membranının kullanıldığı kemik onarımı için yapılan bir çalışmada kontrol grubuna göre hidrojel membranın eklendiği kemik dokusunun sekiz hafta onarıldığı gözlenmiştir [23].(Şekil 3.)



Şekil 3. Hidrojel Membranlar ile Dokuların İyileştirilmesi [23]



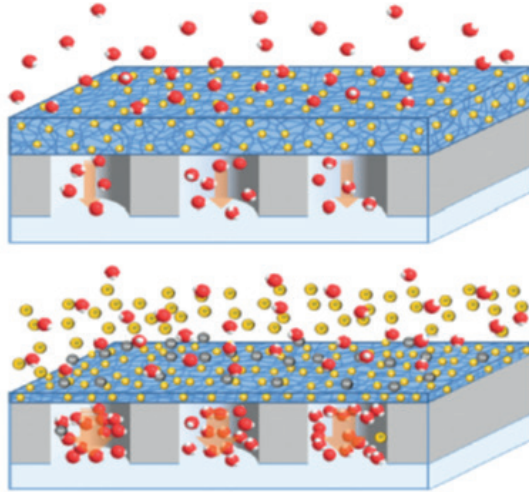
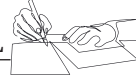
Hidrojel membran ko-kültür sistemler arasına yerleştirilerek hücreler arası etkileşimlere aracılık da edebilmektedir. Ancak hazırlanan membranların kalınlığı çok önemli olmaktadır. Membranların poroz özellikleri hücresel etkileşimleri desteklemekte ancak kalınlık arttıkça geçirgenlik azalmaktadır. Bu sebeple hücre sistemleri ile yapılan hidrojel çalışmalarda gözenekli ürünler olan hidrojel membran sistemlerin etkinliğinde membranın kalınlık faktörü çok önemli olmaktadır hücrelerin rahat etkileşim kurabileceği kalınlarda olması gerekmektedir.[24]



Şekil 4. Hidrojel Membran Ko-Kültür Sistemler [24]

SU SAFLAŞTIRMA İŞLEMLERİ

Hidrojel membranların poroz yapılarında olması sebebiyle diğer membran türlerine göre geniş yüzey alanlarına sahiptirler ve bu sebeple çok yüksek oranlarda hedef kimyasalları bağlayabilmektedirler. Hidrojel membranların bu özellikleri sayesinde; ultrafiltrasyon, nano filtrasyon, revers ozmos, pervaporasyon, por-doldurma amaçlı diğer membran türleri gibi kullanılabilirler. Özellikle uzaklaştırılması istenen yapılara göre çeşitli polimer ile sentezlenebilmekte ve saflaştırma işlemleri çok daha etkili bir biçimde gerçekleştirilmektedir. Hidrojel membranların kullanıldığı çalışmalar arasında genel olarak yağ su emülsiyonlarının ayrıştırılmasında, desalinasyon yani tuz uzaklaştırılmasında veya iyonik olarak sentezlenen hidrojel membranlar ile iyon değiştirici reçinelere benzer şekilde iyonik eleme için tercih edilmektedirler. Bu membran çeşitleri içinde genel olarak hidrojel polimer karışımları veya kompozit ürünlerin eklentisi olabildiği gibi normal membranların üzerine ek bir hidrojel polimer katları ile modifikasyonları gerçekleştirilmektedir.



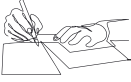
Şekil 5. Hidrojel Kompozit Membranlar ile Membran Distilasyonu [29]

KONTROLLÜ İLAÇ SALINIMLARI

Kontrollü ilaç salınım sistemlerinde; vücuda alınan ilaç mide ve bağırsağa geçtiğinde hızlı bir şekilde çözülmeli, çözüldükten sonra uzun süre etkisini kaybetmemeli ama salınımın etken maddesinin vücuda yüksek yan etkileri olmamalıdır. Ayrıca büyük miktarlarda, kolay ve tekrar şekilde üretilebilmelidir. Polimer yapılı ilaç salınım sistemlerinde ise monomerler sulu çözeltilerde yüksek çözünme kapasitesine ve biyobozunur yapılarda olmalıdır. İlaç salınımı amaçlı tasarlanan hidrojel membran sistemlerde bu sebeple suda çözülebilir monomerler tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalarda özellikle hidrojel sistemlerin vücut sıvıları ile temasında veya protein, hücrelerin ve dokuların yüzeyinde iritasyona sebep olmadığı gözlenmiştir. Özellikle yumuşak ve yüksek su tutma kapasitesi onların diğer sentetik materyallere göre canlı dokulara zarar vermemesi sebebiyle çok daha avantajlı olduğu saptanmıştır.

YARA ÖRTÜCÜLER

Yara örtücüler zarar görmüş dokuları dış etkilere koruyarak hücre üretimini aktive edip hızlı bir şekilde iyileşmesine katkı sağlayan ürünlerdir. Geçmişten beri tercih edilen pamuk, sargı bezi ve gazlı bez gibi geleneksel yara örtücü ürünler sıklıkla kullanılmaktadır. İdeal bir yara örtücü; deri yüzeyindeki hücre ve dokuların hızlı rejenerasyonuna izin verecek kadar nemli, etki oksijen sirkülasyonu sağlamalı ve düşük bakteriyel kontaminasyona sahip olmalıdır. Bu özellikler dikkate alındığında günümüzde araştırmacılar modern yara örtücü ürünlere yönelmiştir. Bu ürünler arasında Hidrokolloidler (Aljinat örtücüler ve Hidrojeller), Köpükler, Şeffaf filmler, Antibakteriyel Etken Madde İçerenler, Büyüme Faktörü İçerenler, Vitamin ve Mineral İçerenler, Greft Ürünler ve Kök Hücre içeren Doku Mühendisliği Ürünleri en popüler ürünler arasında yer almaktadır.

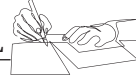


Şekil 6. Hidrojel Yaraörtücü [32]

Hidrojellerden yara örtücü olarak genellikle amorf jel ya da film olarak yararlanılmaktadır. Yara örtücü olarak rahatlıkla tercih edilmesinin en önemli sebebi yüksek su tutma kapasiteleri ve esnek yapılarda olmasıdır. Esnek yapıları; yara yüzeyi ile kolay şekil almakta veya yara yüzeyinden kolaylıkla temizlenmesini sağlamaktadır. Su tutma özellikleri onların yaralı bölgenin nemli kalmasını sağlayarak yaranın hızlı iyileşmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca çapraz bağlı polimerlerden oluşan gözenekli hidrojeller yara örtücü uygulamalarında buhar geçirgenliğine sahip oldukları içinde yaraların hızlı bir şekilde iyileşmesini sağlamaktadırlar. Hidrojellerin yara örtücü amaçlı kullanımlarında poli sakkarit, poli vinil alkol, poli metakrilat ve poli etilenoksid gibi polimer tercih edilir iken nişasta, aljinatı pektin, selüloz gibi ürünler ile modifikasyonları gerçekleştirilmektedir. Bu modifikasyonlar eklendiğinde hidrojeller amorf yani yoğun viskoz sıvılar halini almaktadır. Böylece amorf hidrojeller, çürük dokuların nem içeriğini ve kollajenaz üretimini artırarak hasarlı dokuların iyileşmesini dahada kolaylaştırırlar.

BİYOSENSÖRLER

Biyosensörler biyokomponentler (reseptör) ile fiziksel komponentlerden (transducer) oluşurlar. Biyosensörün görevi biyolojik bir olayın elektriksel sinyale dönüştürülmesidir. Günümüzde biyosensörlerin en tipik örneği şeker ve kolesterol ölçüm cihazlarıdır. Hidrojel membranlar ile biyosensör uygulamaları ticari olarak çok yaygınlaşmamış olmasına karşın günümüz trend çalışmalarında yerini almıştır. Özellikle hidrojel membranların kullanıldığı biyosensör çalışmaları diğer biyosensör uygulamalarına göre; geçirgenliğin çok daha iyi olması sebebiyle hızlı ölçüm gerçekleştirmekte ve tekrar üretilebilirliğin çok daha kolay olması ticari potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bir diğer farkı ise hidrojel membranlardan yararlanılan biyosensörlerin buzdolabında 360 günden fazla saklanabilmesi yani uzun ömürlü ve dayanıklı olmasıdır.

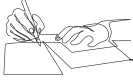


SONUÇ

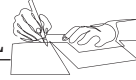
Günümüzde membran sistemleri deyince aklımıza arıtma yada saflaştırma kelimesini çağrışım yapmakta iken hidrojel membran sistemleri ile yapılan çalışmalar incelendiğinde sadece arıtma yada adsorpsiyon amaçlı kullanılmayıp bu sistemlerin özellikle yara örtücüler, biyosensörler, ilaç salınım ve doku mühendisliği uygulamaları gibi çok daha farklı alanlarda da kullanım imkanı sağladığını göstermektedir. Yapılan çalışmalarda hidrojel membranların esnek ve yumuşak olmasının yanında çok çeşitli üstün özellikleri sayesinde bu farklı alanlarda kullanılan diğer malzemelere göre avantajlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla hidrojel membranlar; gelecekte araştırma çalışmalarının yanında ticari olarak da kullanım potansiyelini sunmaktadırlar ve çok çeşitli polimer modifikasyonları ile bu alanlar dışında daha birçok alanlarda tercih edilebileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

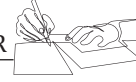
1. NathK., (2008). "Membrane Separation Processes". Prentice-Hall, India, pp.30-33.
2. Şile, M., (2013), "Polimerik Nanokompozit Düz Plaka Membranların Üretimi ve Karakterizasyonu", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, pp:1-155.
3. Anonim, http://www.innovent-jena.de/en/INNOVENT/Departments/Biomaterials/Polysaccharide-derivates-/Resorbable-hydrogels-_4661/, erişim tarihi: 27.07.2016.
4. Syed, K.H., Gulrez and A. Saphwan, "Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications", pp1-35, Available: <http://www.intechopen.com/books/progress-in-molecular-and-environmental-bioengineering-from-analysis-and-modeling-to-technology-applications/hydrogels-methods-of-preparation-characterisation-and-applications>.
5. J.M. Van Bemmelen, "Der Hydrogel und das kristallinische Hydrat des Kupferoxydes", Z. Anorg. Chem. Vol. 5, p.466, 1894.
6. A. Danno, "Gel formation of aqueous solution of polyvinyl alcohol irradiated by gamma rays from cobalt-60", J. Phys. Soc. Jpn. Vol. 13, 1958, pp. 722-727, 1958.
7. O. Wichterle and D. Lím, "Hydrophilic gels for biological use", Nature, 185, pp. 117-118, 1960.
8. P.A. King, P.A. and J.A. Ward, "Radiation chemistry of aqueous poly(ethylene oxide) solutions". I, J. Polym. Sci. A Polym. Chem, vol. 8, pp. 253-262, 1970.
9. R.M. Nalbandian, R.L. Henry, H.S. Wilks, "Artificial skin. II. Pluronic F-127 Silver nitrate or silver lactate gel in the treatment of thermal burns", J. Biomed. Mater. Res, vol. 6, pp.583-590, 1972.
10. A.S. Sawhney, C.P. Pathak, J.A. Hubbell, "Bioerodible hydrogels based on photopolymerized poly (ethylene glycol)-co-poly (α -hydroxy acid) diacrylate macromers", Macromolecules, vol. 26 ,pp.581-587, 1993.
11. B. Jeong, Y.H. Bae, D.S. Lee, S.W. Kim, "Biodegradable block copolymers as injectable drug-delivery systems", Nature, vol. 388, pp.860-862, 1997.
12. M.G. Cascone, B. Sim, D. Sandra, "Blends of synthetic and natural polymers as drug delivery systems for growth hormone", Biomaterials, vol. 16, pp.569-574, 1995.
13. Lu, J.Y., Cheng, C., He, Y.S., Lyu, C.Q., Wang, Y.F., Yu, J., Qiu, L., Zou, D.R., Li, D., (2016), "Multilayered Graphene Hydrogel Membranes for Guided Bone Regeneration", Advanced Materials, vol:28(21), pp:4025-4031.
14. Hennink, W.E., Van Nostrum, C.F. (2002), "Novel crosslinking methods to design hydrogels", Advanced Drug Delivery Reviews, vol. 54, pp.13-36.
15. Özgündüz, H.İ., (2006), "Swelling properties of semi-IPN type hydrogels containing



- acrylic acid- acrylamide- poly(vinyl alcohol) and lipase release behaviors", M.Sc. Thesis, Department Of Chemistry, Gazi University, pp. 1-94.
16. Sorenson, W.R., Sweeny W. F. and Campbell, T.W. (2001), "Preparative Methods of Polymer Chemistry", John Wiley & Sons Inc., Us, 2001.
17. Ahmed, E.M., (2015), "Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review", JARE, Vol. 6(2), pp. 105-121.
18. Osada, Y. and Khoklov, A.R., (2001), "Polymer Gels and Networks", Marcel, Dekker Inc., New York, 2001.
19. Kazakov, S.V. (2012). "Hydrogel Films on Optical Fiber Core: Properties, Challenges, and Prospects for Future Applications, New Polymers for Special Applications", Dr. Ailton De Souza Gomes (Ed.), Available from: <http://www.intechopen.com/books/new-polymers-for-special-applications/hydrogel-films-on-optical-fiber-core-properties-challenges-and-prospects-for-future-applications>
20. Buengera, D., Topuza, F., Grollb, J., (2012), "Hydrogels in sensing applications", Progress in Polymer Science, vol:37(12), pp: 1678-1719.
21. Akça Can, C., Duran, D., (2009), "Doku Mühendisliği Uygulamalarında Tekstil Materyal ve Teknolojilerinin Kullanımı", Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, cilt:3(1), pp:77-86.
22. Büyükyüz, N, Kuru, E.,İ, Doku Mühendisliği ve Oral-Maksillofasiyal Bölgede Uygulamaları, https://www.ido.org.tr/lib_yayin/228.pdf, erişim tarihi:27.07.2016.
23. Lu , J., Cheng , C.,He , Y-S.,Lyu , C., Wang, Y., Yu, J., Qiu, L., Zou, D., Li, D., "Multilayered Graphene Hydrogel Membranes for Guided Bone Regeneration",Advanced Materials, vol:28(21), pp:4025-4031.
24. Gao, B.T., Konno, T., Ishihara, K., (2015), "Fabrication of a live cell-containing multilayered polymer hydrogel membrane with micrometer-scale thickness to evaluate pharmaceutical activity", Journal of Biomaterials Science-Polymer Edition, vol:26(18), pp:1372-1385.
25. Salehi, S.M., Di Profio, G., Fontananova, E., Nicoletta, F.P., Curcio, E., De Filpo, G., (2016), "Membrane distillation by novel hydrogel composite membranes", Journal of Membrane Science, vol:504, pp:220-229.
26. Yuan, T., Meng, J.Q., Hao, T.Y., Zhang, Y.F., Xu, M.L., (2014), "Polysulfone membranes clicked with poly (ethylene glycol) of high density and uniformity for oil/water emulsion purification: Effects of tethered hydrogel microstructure", Journal of Membrane Science, vol: 470, pp: 112-124.
27. Shin, H.J., Yoo, B.M., Park, H.B. Preparation and characterization of graphene oxide (GO) hydrogel composite membrane: Water and salt transport", Abstracts of Papers of The American Chemical Society, Conference: 244th National Fall Meeting of the American-Chemical-Society, 2012, AUG 19-23, Philadelphia, PA, vol: 244, pp:279.
28. Hernandez, S., Papp, J.K., Bhattacharyya, D., (2014), "Iron-Based Redox Polymerization of Acrylic Acid for Direct Synthesis of Hydrogel/Membranes and Metal Nanoparticles for Water Treatment", Industrial & Engineering Chemistry Research, vol:53(3), pp:1130-1142.
29. Salehi, S.M., Di Profio, G., Fontananova, E., Nicoletta, F.P., Curcio, E., De Filpo, G., (2016), "Membrane distillation by novel hydrogel composite membranes", Journal of Membrane Science, vol: 504, pp: 220-229.
30. Yuan, T., Meng, J.Q., Hao, T.Y., Zhang, Y.F., Xu, M.L., (2014), "Polysulfone membranes clicked with poly (ethylene glycol) of high density and uniformity for oil/water emulsion purification: Effects of tethered hydrogel microstructure", Journal of Membrane Science, vol: 470, pp:112-124.
31. Misra, G.P., Siegel, R.A., (2002), "New mode of drug delivery: long term autonomous rhythmic hormone release across a hydrogel membrane", Journal of Controlled Release, vol: 81(1-2), pp: 1-6.



32. Caccavo, D., Cascone, S., Lamberti, G., Barba, A.A., Larsson, A., (2016). "Swellable Hydrogel-based Systems for Controlled Drug Delivery", Smart Drug Delivery System, PhD. Ali Demir Sezer (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/61792. Available from: <http://www.intechopen.com/books/smart-drug-delivery-system/swellable-hydrogel-based-systems-for-controlled-drug-delivery>.
33. Mallikarjuna, B., Rao, K.M., Pallavi, K., Rao, K.C., Subha, M.C.S., (2015), "Biodegradable interpenetrating polymer network hydrogel membranes for controlled release of anticancer drug", Asian Journal of Pharmaceutics, vol:9(2), pp:129-136.
34. Mishra, R.K., Datt, M., Banthia, A.K., (2008), "Synthesis and characterization of pectin/PVP hydrogel membranes for drug delivery system", Aaps Pharmscitech, vol:9(2), pp:395-403.
35. Shang, L., Zhang, S., Du, H., Venkatraman, S.S., (2008), "A novel approach for the control of drug release rate through hydrogel membrane: I. Effect of drug immobilization on drug release rate by copolymerization method", European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, vol:68(3), pp:715-723.
36. Sezgin, Z., Yüksel, N., Baykara, T., (2003), "İlaç Taşıyıcı Sistemler Olarak Polimerik Misellerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu", Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi, vol: 32(2), pp:125-142.
37. Kurtoglu, A.H., Karataş, A., (2009), "Yara Tedavisinde Güncel Yaklaşımlar: Modern Yara Örtüleri", Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi, vol: 38(3), pp:211-232.
38. Zahedi, P., Rezaeian, I., Ranaei-Siadat, S.O., Jafari, S.H., Supaphol, P., (2010), "A review on wound dressings with an emphasis on electrospun nanofibrous polymeric bandages", Polymers for Advanced Technologies, vol:21, pp:77-95.
39. Altay, P., Başal, G. "Yara örtüleri" Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(1), 109-121 (2010).
40. Boateng, J.S., Matthews, K.H., Stevens, H.N.E., Eccleston, G.M., (2007), "Wound Healing Dressings and Drug Delivery Systems: A Review", Journal of Pharmaceutical Sciences, vol: 97(8), pp:2892-2923.
41. Wang, X.F., Fang, D.F., Yoon, K., Hsiao, B.S., Chu, B., (2006), "High performance ultrafiltration composite membranes based on poly(vinyl alcohol) hydrogel coating on crosslinked nanofibrous poly(vinyl alcohol) scaffold", Journal of Membrane Science, vol:278(1-2), pp:261-268.
42. Tamura, H., Furuike, T., Nair, S.V., Jayakumar, R., (2011), "Biomedical applications of chitin hydrogel membranes and scaffolds", Carbohydrate Polymers vol: 84(2), pp: 820-824.
43. Brahim, S., Narinesingh, D., Guiseppi-Elie, A., (2001), "Amperometric determination of cholesterol in serum using a biosensor of cholesterol oxidase contained within a polypyrrole-hydrogel membrane", Analytica Chimica Acta, vol: 448(1-2), pp: 27-36.
44. Brahim, S.I., Maharajh, D., Narinesingh, D., Guiseppi-Elie, A., (2002), "Design and characterization of a galactose biosensor using a novel polypyrrole-hydrogel composite membrane", Analytical Letters, vol.35(5), pp.797-812.
45. Trzebinski, J., Moniz, A.R.B., Sharma, S., Burugapalli, K., Moussy, F., Cass, A.E.G., (2011) "Hydrogel Membrane Improves Batch-to-Batch Reproducibility of an Enzymatic Glucose Biosensor", Electroanalysis, vol.23(12), pp:2789-2795.
46. <http://www.lotusmdc.com/aquagel-hidrojel,2,10329#.W82rm2gzZPY>



CHAPTER 21

ZEOLİT VE TiO_2 / ZEOLİT KOMPOZİT KATALİZÖRLERİN İNCELENMESİ

Selda Topçu ŞENDOĞDULAR¹, Levent ŞENDOĞDULAR¹

Giriş: 1.Giriş: Yarı İletkenlerin Temel Özellikleri

Yenilenebilir enerji kaynağı ve temiz su ihtiyacı önemli bir hal almıştır ve önem arz eden çalışma konuları arasında yer almaktadır. Bu sorunlara çözüm olabilecek teknolojiler arasında güneş ışığı ile aktive olabilen yarı iletken malzemeler alternatif olarak dikkat çekmektedir. Enerji bant aralığı üzerinden güneş ışığı altında çalışabilecek bu malzemelerden en önemlisi katkılı TiO_2 'dir. Buna ek olarak yüzey alanı ve mineral yapısıyla öne çıkan zeolitin üzerine tutundurulan TiO_2 ve katkılı TiO_2 /Zeolit fotokatalizörler artan verimlilik ve işlevselliği ile büyük bir potansiyel teşkil eder. Valans bantı (VB) ile iletim bantının (CB) arasındaki enerji farkı; enerji bant aralığı (band gap, E_g) olarak bilinir ve malzemenin iletken, yarı iletken veya yalıtkan olup olmadığını gösterir. Yalıtkanların veya metallerin aksine yarı iletkenler; enerji bant aralıklarına eşit veya daha yüksek enerjiye sahip fotonu absorbe ettikleri zaman elektron (e^-)/boşluk (hole, h^+) çiftleri oluşturabilir. Yarı iletken metal oksitlerin, uygun bant aralıklarına (E_g) ve bant kenar pozisyonlarına bağlı olarak fotokatalizör olarak yaygın kullanımı bulunmaktadır [1-2]. Yarı iletken malzemelerin bant aralığı elektronik yapılarına göre değişir. Bazı yarı iletken oksit malzemelerin enerji bant aralıkları Tablo 1'de sunulmuştur [1-2]. İdeal bir katalist tepkiyen moleküllerle bağ yaparak bu moleküllerin ürüne dönüşmesini sağlar. Ürüne dönüşen moleküller katalizörden kopar ve katalizör orijinal haliyle döngüsel şekilde tepkimenin gerçekleşmesine yardımcı olur [3-4]. Söz konusu tepkimenin oluşması için gerekli enerjiye aktivasyon enerjisi denir. Tepkimeye giren moleküllerin ürüne dönüşmesi aşamasında birden fazla olasılık bulunmaktadır. Katalizör kullanılan sistemlerin aktivasyon enerjisi katalizör kullanılmayan sistemlere göre daha düşüktür. Örneğin katalizör olmadan su molekülünü ayrıştırmak imkânsıza yakındır. Yani katalist bir tepkimenin aktivasyon enerjisini düşürmez, daha düşük aktivasyon enerjisine sahip alternatif bir yol sunar. Bu nedenle ideal bir katalistin tepkimenin iki yönünde de en düşük aktivasyon enerjisini sunması, yüksek aktif yüzeye sahip olması ve kimyasal değişikliğe uğramadan döngüsel şekilde tepkimeye girebilmesi istenmektedir [5].

Tablo 1. Fotokatalist Olarak Yarı İletkenlerin Enerji Bant Aralığı

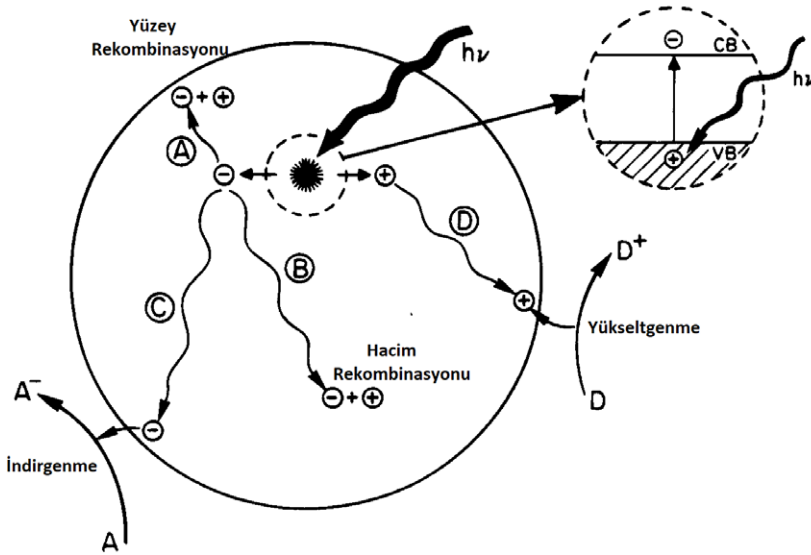
ZrO ₂	ZnS	WO ₃	SnO ₂	GaP	V ₂ O ₅	CuO	CdSe	MnO ₂	CeO ₂	TiO ₂ (Anataz)	TiO ₂ (Rutil)
5.0eV	3.6eV	2.8eV	2.5e	2.25eV	2.6eV	1.7eV	1.7eV	0.25eV	2.94eV	3.2eV	3.0eV

¹ Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

Yarı iletken fotokatalistlerin çalışma mekanizması Şekil 1'de gösterilmiştir. Buna göre yeterli enerjiye sahip bir foton ($\geq$ yarı iletkenin enerji bant aralığı), yarı iletken tarafından absorbe edildiğinde, valans bandında ki elektron (VB) uyarılır ve iletim bandına (CB) atlar ve değerlik bandında bir boşluk oluşturur. Bu elektron-boşluk iyon çifti oluşum süreci foto-uyarım (photo excitation) olarak bilinir. Foto-uyarılmış elektronlar, oksijenin indirgenmesinde kullanılır ve benzer şekilde boşluklar da fotokatalizör yüzeyinde adsorbe edilen su moleküllerinin oksitlenmesinde kullanılır.

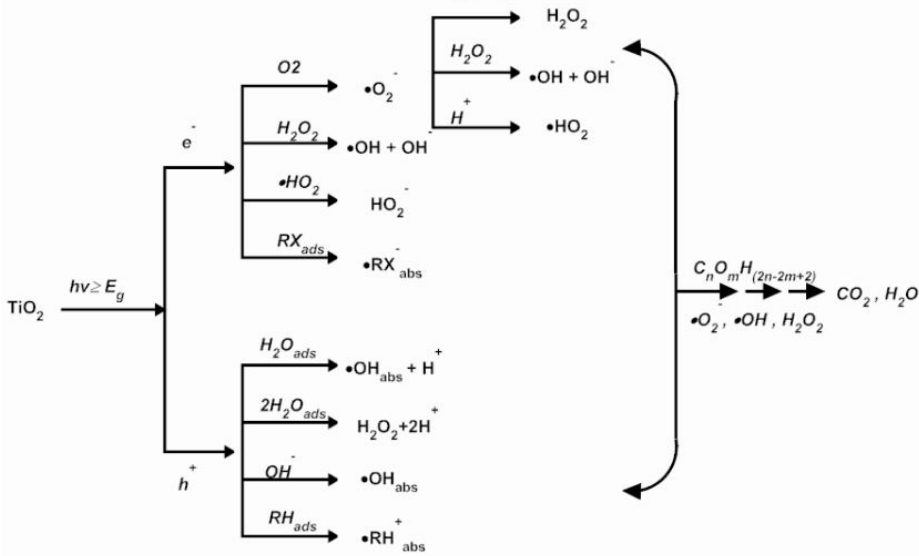
Foto-uyarım: $h\nu \geq E_g$, $\text{TiO}_2(\text{fotokatalizör}) + h\nu(\text{foton}) \rightarrow h^+_{\text{VB}}(\text{valans bandı}) + e^-_{\text{CB}}(\text{iletim bandı})$

(h : Plank sabiti $6.62607004 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} / \text{s}$, ν : Işığın frekansı)



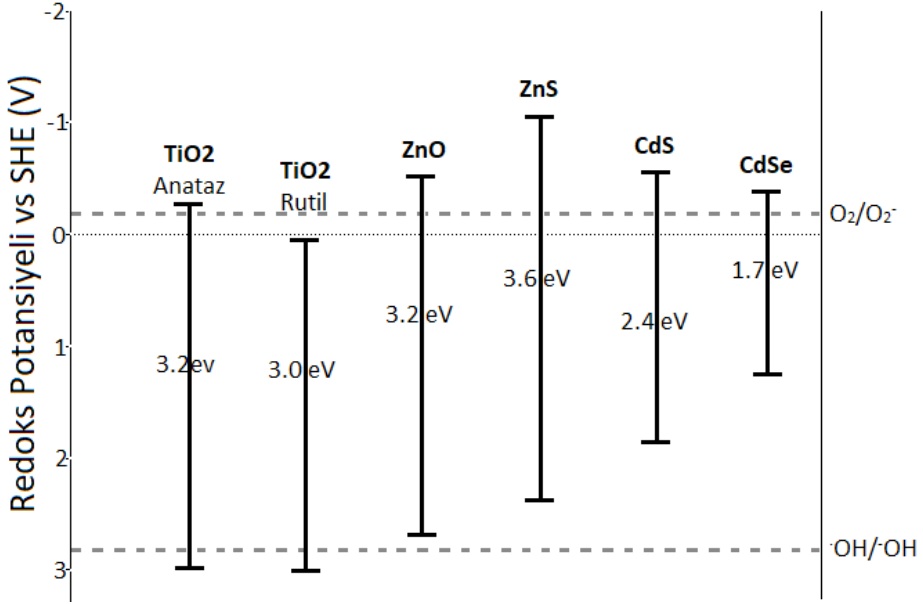
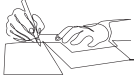
Şekil 1. Uyarılmış Elektron ve Boşluğun Oluşumunun Şematik Gösterimi [1].

Şekil 1'de elektron alıcı (electron acceptor) elektron tarafından azaltılabilir; [a]: $A + e^- \rightarrow A^-$, benzer şekilde elektron veren boşlukla birleşerek oksitlenebilir; [b]: $D \rightarrow D^+ + e^-$. Yarı iletken parçacığının yüzeyinde; [c]: $h^+ + e^- \rightarrow$ foto-korozyon veya yarı iletken parçacığının hacmi içinde; [d] elektron ve boşluk rekombinasyonu oluşabilir [2]. Elektron ve boşluk rekombinasyon süreci, elektron ve boşluğun termal enerji veya foton oluşturarak redoks yeteneğini kaybettiği foto-korozyon olarak bilinir. Fotokatalist yüzeyinde ki adsorbe edilen su, oksitlendiğinde OH^- ve H^+ 'ya ayrılır. Bu hidroksil radikalleri organik kirletici maddeleri kolayca oksitleyebilir. Katyonik radikaller ($\bullet\text{RH}^+$), adsorbe organik kirleticilerin VB'da ki boşluklarla doğrudan oksidasyonu ile üretilir. Diğer taraftan, elektron tarafından oksijenin indirgenmesiyle süper oksit radikal anyonlarının (O_2^-) oluşumu meydana gelir. İletim bantındaki hidrojen dioksit, radikal anyon ve H^+ reaksiyonu ile üretilir. Zincir reaksiyonundan kaynaklanan reaktif oksijen türleri (ROS-Reactive Oxygen Species) Şekil 2'de gösterildiği gibidir [3].



Şekil 2. Zincir Reaksiyonuyla Reaktif Oksijen Türlerinin Üretimi [3].

1.1. Bant Aralık Pozisyonu: Fotokatalistin redoks potansiyelleri ve bant aralığı pozisyonu, foto-indüklenmiş elektron uyarımını (photo-induced electron excitation) kontrol eden önemli faktörlerdir. Yarı iletkenler, ışık saçınımı (light irradiation) altında farklı redoks reaksiyonlarına izin vermelidir. Fotokatalistin iletim bantı, elektronu alıcıya transfer etmek için alıcının potansiyeline kıyasla pozitif potansiyelde olmalıdır. Benzer şekilde, elektronu kabul edebilmek için valans düzeyinin potansiyel değerinin donörden daha negatif olması gerekmektedir [1].



Şekil 3. Çeşitli yarı iletkenlerin redoks potansiyelleri ile band kenar pozisyonu (band edge position) (Demeestere, Dewulf, & Van Langenhove, 2007'den türetilmiştir) [3].

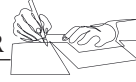
Şekil 3, çeşitli yarı iletkenler için değerlik ve iletim bantı konumlarını göstermektedir. Enerji bant aralığı, yarı iletkenin ışığın hangi farklı dalga boylarında aktif hale getirilebileceğini belirler. TiO₂, ultraviyole ve görünür ışık altında fotokatalitik aktivitesi nedeniyle kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Bu kapsamda TiO₂'nin iki ana faz hali vardır: rutil ve anataz. Anataz, 3.2eV ile daha yüksek bant aralığına sahiptir; UV aralığında ki ışığı emebilen, 388nm'lik bir dalga boyuna eşdeğerdir. Rutil, 3.0eV luk (410nm dalgaboyu) bir bant aralığına sahiptir.

1.2. Işık kaynağının yoğunluğu: Yarı iletken oksitlerin fotokatalitik aktivitesi ışık emiliminin yoğunluğuna bağlıdır. Daha iyi fotokatalitik verim, yükün ayrılmasını iyileştirdiği için ışığın yoğunluğundaki artışla doğru orantılıdır [4].

1.3. Fotokatalistin doğası: Kogo ve arkadaşları fotokatalitik reaksiyon veriminin, fotokatalist yüzey tarafından emilen foton sayısı ile etkilenebileceğini bildirmiştir ki bu adsorbe yüzeyde fotokatalitik reaksiyonların gerçekleştiğini ima eder [5]. Parçacık büyüklüğü ve şekli gibi yüzey morfolojileri, fotokatalitik süreci etkileyen önemli faktörlerdir [6]. Uygulamaların stabilitesi için gerekli boyut ve şekil incelenmiş, farklı sentez yöntemleri geliştirilmiştir [7].

1.4. Çözeltinin pH değeri: Yüzey yükü özellikleri, yarı iletken yüzeyinin farklı yükü nedeniyle çözeltinin pH'ı ve agrega büyüklüğü tarafından yönetilebilir [8].

1.5. Sıcaklık: Reaksiyonun sıcaklığı arttığında, fotokatalitik verim düşer. Çünkü e^-/h^+ çiftlerinin rekombinasyonu ve adsorbe edilen türlerin fotokatalistin dış kısmından desorpsiyonu artar.



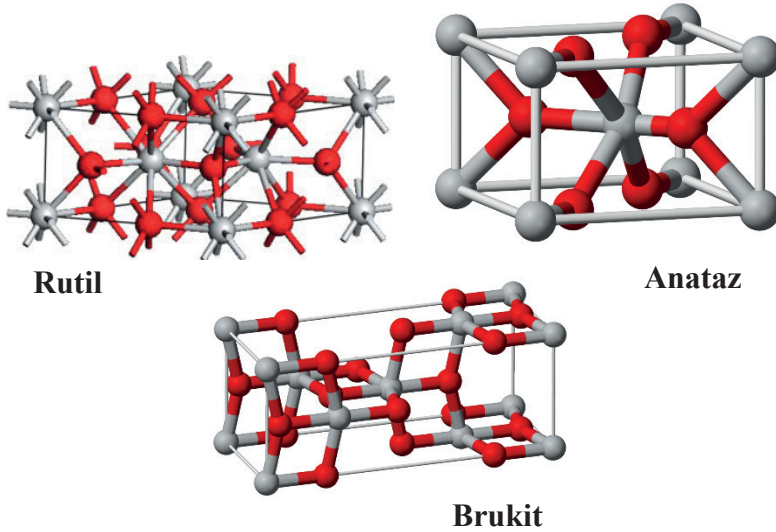
1.6. Fotokatalist miktarı: Fotokatalitik aktivitenin katalizör konsantrasyonunun artmasıyla artırılabilceği düşünülmektedir [9]. Diğer taraftan, katalizör miktarı bir noktadan sonra ışığın çözeltiye difüzyonunu önler; istenmeyen ışık saçılımına yol açar.

TiO₂ Fotokatalizörler

Fujishima ve Honda, 1970'lerde TiO₂'nin fotokatalitik aktivite özelliğini keşfettikten sonra çevre kirliliği sorunlarını gidermek ve enerji üretimi gibi konularda TiO₂ üzerinde yoğun çalışmalar yapılmıştır [10-11]. Titanyum dioksit genellikle toksik olmayan, kararlı ve ucuz olan çok etkili bir fotokatalizör olarak kabul edilir.

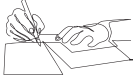
TiO₂'nin Kristal Yapısı

TiO₂'nin kristalografik yapısı Şekil 4'te gösterilmiştir [12]. TiO₂'nin iyi bilinen fazları anataz, rutil ve brukit'dir. Rutil ($a = 4.5937\text{\AA}$, $c = 2.9587\text{\AA}$) ve anataz ($a = 3.7845\text{\AA}$, $c = 9.5143\text{\AA}$) tetragonal yapıda iken brukit ($a = 5.4558\text{\AA}$, $b = 9.1819\text{\AA}$, $c = 5.1429\text{\AA}$) ortorombik kristal yapıya sahiptir. Anatazın C koordinatı diğer fazlardan daha yüksektir ve birim hücrenin c / a oranı rutil ve brukit fazlarından daha büyüktür. Tüm bu fazlar arasında, anataz; rutil, brukit ve TiO₂-B'ye (yapay faz) kıyasla fotokatalitik aktivite ile ilgili en aktif allotropik fazdır.



Şekil 4. TiO₂'in En Yaygın Fazları [12].

Rutil, ortam koşullarında termodinamik olarak stabildir; anataz ise kinetik olarak stabildir ve parçacık büyüklüğüne, ortam basıncına ve diğer parametrelere bağlı olarak daha yüksek sıcaklıklarda rutil fazına dönüşür [13-14]. Brookite fazı aynı zamanda metastabildir, fakat sentezlenmesi zordur, dolayısıyla ilgili çalışmalar az sayıdadır [15]. Tablo 2, deney koşulu, sentez yöntemi ve parçacık büyüklüğü ile TiO₂'in oksit polimorflarını göstermektedir. TiO₂'in üç farklı kristal fazı arasında, anataz 11nm'den daha küçük parçacık boyutu için en yüksek stabiliteyi gösterir.



Benzer şekilde rutil, 35nm'den büyük parçacık boyutunda, brukitin ise 11-35nm aralığında termodinamik stabiliteye uygunluğu gösterilmiştir [16].

Oda sıcaklığında, yığinsal (bulk) anataz faz ile karşılaştırıldığında rutil fazın daha kararlı bir faz olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, Zhang ve ark. tarafından anatazın, parçacık boyutu 14nm'den küçükse, rutile kıyasla toplam serbest enerjinin daha düşük olması nedeniyle daha kararlı bir faza dönüştüğü açıklanmıştır [16]. Daha sonra, bazı çalışmalar rutil ve anatazın birlikte %100 anataz ile karşılaştırıldığında daha yüksek fotokatalitik aktiviteye sahip olduğunu göstermişlerdir. Ticari TiO_2 , Degussa P25, anataz (~%75) ve rutil (~%25) fazlarının bir karışımıdır ve çevresel uygulamalar için en yaygın kullanılan fotokatalisttir [17].

Tablo 2. TiO_2 'in Faz Kararlılığı Üzerinde Parçacık Boyutu Etkisi [16,18].

Faz	Sıcaklık	Tane boyutu, nm	Üretim tekniği
Brukit	-	11-35	Sol-jel
Anataz	Oda Sıcaklığı	<11	Sol-jel
Rutil	$\geq 850^\circ\text{C}$	≥ 35	Sol-jel

Anataz düşük sıcaklıklarda (~40°C) nano boyutta sentezlenebilir; nano boyut büyüklüğü gözenek sayısını artırdığı ve katı-katı etkileşimleri artırdığı için daha iyi fotokatalitik özellikler gösterir. Aksine, daha yüksek sıcaklıklarda (>300°C) nano- TiO_2 daha kötü fotokatalitik aktiviteye sahiptir [19]. Qiuling ve ark. sentezlenen iki fazın (anataz / brukit), elektronlarının brukit iletim bantından anataz iletim bantına aktarılmasından dolayı elektron/boşluk ayrışımına yol açarak daha yüksek fotokatalitik aktiviteye sahip olduğunu da gösterir [20].

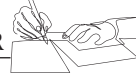
TiO_2 'in Modifikasyonları

TiO_2 , uzun yıllardır en çok incelenen fotokatalist olmuştur ve sadece ultraviyole ışık (UV, $\lambda \leq 400\text{nm}$) ile aktive olabilir. Çünkü TiO_2 geniş enerji bant aralığına sahiptir (anataz için ~3.2 eV ve rutil için ~3.0 eV) ve bu sadece UV ışığını emer. Ancak, UV ışık, solar spektrumun çok küçük bir bölümünü (güneş spektrumunun yaklaşık % 3'ü) oluşturduğu için TiO_2 'in pratik uygulamalarda ki kullanımı sınırlı kalmaktadır [21].

Tablo 3'te görüleceği üzere görünür ışığın foton enerjisi 1.65-3.26eV arasında değişmektedir, dolayısıyla enerjisi UV ve X-ışınlarından daha düşüktür. Bu nedenle TiO_2 fotokatalizörün güneş ışığın altında aktive olabilmesi için enerji bant aralığının 1.65-3.26eV arasında olması gerekir. TiO_2 'nin fotokatalitik etkisinin görünür bölgeye çekilebilmesi için mikroyapısının düzenlenmesi (yüzey alanı, kristal fazı, kristal boyutu ve tek bir parçacığın morfolojisi) ve metal ve metal olmayan iyonları katkılanarak modifiye edilmesi gerekmektedir [22].

Tablo 3. Görünür Işık Dalga Boyuna Bağlı Foton Enerjisi

Görünür Işık (1.65 – 3.26 eV)		
Renkler	Dalga Boyu	Foton Enerjisi
Eflatun	380-450 nm	2.75 – 3.26 eV
Mavi	450-495 nm	2.50 – 2.75 eV
Yeşil	495-570 nm	2.17 – 2.50 eV
Sarı	570-590 nm	2.10 – 2.17 eV
Turuncu	590-620 nm	2.00 – 2.10 eV
Kırmızı	620-750 nm	1.65 – 2.00 eV



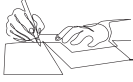
Yük taşıyıcı rekombinasyonu, düşük ara-yüz yük transfer oranları ve geri dönüşüm zorlukları, TiO_2 'in fotokatalitik aktivitesini sınırlar [23]. Bu problemlerin üstesinden gelerek TiO_2 'in performansını artırmak için iki yöntem benimsenmiştir. Birincisi, elektron/boşluk rekombinasyonunu baskılamak için çeşit iyonların TiO_2 içine katılmasıdır. Bu nedenle, görünür TiO_2 modifikasyonları, toprak metalleri, nadir toprak metalleri, ametaller veya bunların oksitleri, TiO_2 'ye katılarak fotokatalitik aktivitesi artırılabilir. Örneğin; nadir toprak elementleri, 4f elektronik düzeni ve spektroskopik özellikleri nedeniyle ideal katkı maddeleridir [24]. Lantanit iyonları, iletim bandı (CB) elektronlarını TiO_2 'den yakalayacak etkili elektron süpürücü (electron scavengers) olarak hareket edebilir. Xu ve ark. N^{3+} , Ce^{3+} , Er^{3+} , Pr^{3+} , Gd^{3+} , Nd^{3+} ve Sm^{3+} gibi nadir toprak iyonlarını TiO_2 'e katkılayarak nitritin bozunmasında fotokatalitik aktivitesinin artırılabilceğini göstermiştir [25]. Nadir toprak elementleri grubunda bulunan seryum periyodik cetvelin 3b grubunda yer alan kimyasal bir elementtir ve seryum dioksit enerji bant aralığı 3eV'tur. Seryum katkılanmış titanyum dioksit ile oluşturulan ince filmlerin yüksek fotokatalitik özellik gösterdiği bilinmektedir [26].

TiO_2 'nin performansını artırmak için uygulanan ikincisi yöntem ise, boşluk boyutu elverişli olan destek malzemelerine katkılı veya katkısız TiO_2 'i emdirerek faz dağılımının hassas bir şekilde kontrol edilmesiyle fotoaktivitenin artırılması ilkesine dayanır. TiO_2 nanopartikülleri için destek malzemesi olarak; aktif karbon [27], cam elyafı [28], kil [29-31] ve zeolitler [32-35] çalışılmıştır. Bu destek malzemeleri arasında zeolitler yüksek yüzey alanı, yüksek termal kararlılığı ve çevre dostu yapılarıyla dikkat çekmektedir.

Zeolit

Zeolitler esneklikleri ve uyarlanabilirlikleri nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Zeolit, ilk kez İsveçli mineralog olan Axel F. Cronstedt tarafından 1756 yılında İzlanda'da bir bakır madeninde bulunan minerallerin özelliklerinin tanımlamasıyla farkedilmiştir [36]. Cronstedt zeolit terimini, zeo (kaynamak) ve lithos (taş) köklerinden türetmiştir. Ayrıca zeolit üretiminin sistemli olarak araştırılması ilk olarak 1930lar öncesi Barrer tarafından yapılmıştır [37-39].

19. yüzyıl boyunca, bazı bilim adamları, zeolit olarak sınıflandırılan yeni mineralin keşfinin yanı sıra bazı temel özelliklerinin tanımını belirlediler. Örneğin, 1857'de A. Damour, farklı doğal zeolit kristallerinin (brewsterit, faujasit, şabazit, gmelinit, analcime, levyne), şeffaflıklarında ve morfolojilerinde herhangi bir belirgin değişiklik olmaksızın suyu emebildiğini gözlemlemiştir. 1896'da G. Friedel dehidrasyona uğrayan zeolitlerin gaz halindeki amonyak, karbon dioksit ve hidrojen sülfürün yanı sıra alkol, kloroform ve benzeri bileşikler bolca emebildiğini bildirmiştir. Benzeri çalışmalar 19. ve 20. Yüzyılın başlarında devam etmiştir [36]. 1948 yılının başlarında A.B.D.'de Union Carbide firmasından Milton ve arkadaşları endüstriyel uygulamalarda kullanılabilen yapıda olan zeoliti (A,X,Y) sentezlemişlerdir [40-42]. Bu çalışmaların devamında 200'den fazla zeolit türü sentezlenmiş ve 63 tane doğal zeolit türü keşfedilmiştir [43]. Zeolit A,X,Y ve ZSM-5 en yaygın bilinen zeolitlerdir.

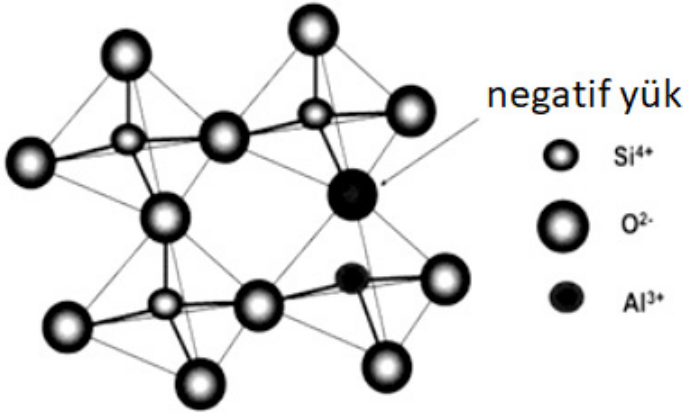


3.1. Zeolitlerin Yapısı

Değerli bir mineral olan zeolit, son yıllarda farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle birçok ileri teknoloji ürünlerinin üretiminde kullanılması ile dikkatleri üzerine çekmiştir. Zeolit üç boyutlu kafes yapısına sahip bir kristal alüminosilikattır. İskelet yapılarındaki Si/Al oranları ve içerdikleri katyon cinsi ve miktarlarındaki bazı farklılıklara rağmen zeolitlerin genel kimyasal formülü aşağıdaki gibidir:

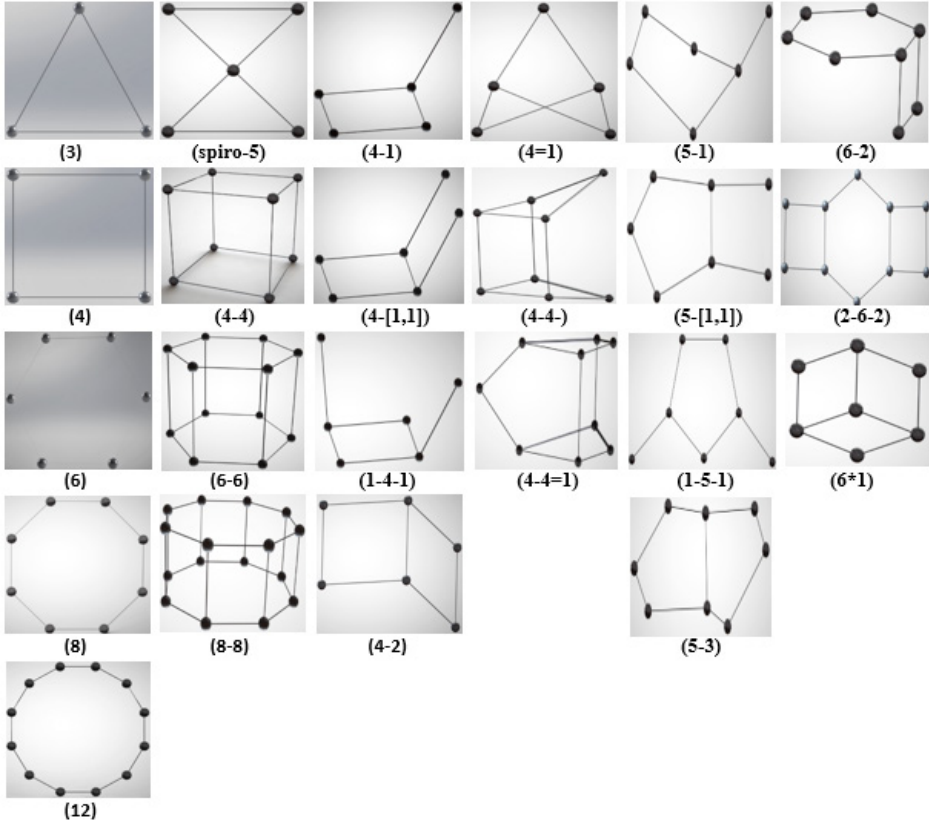


Burada M^{+} bir alkali katyon olup genellikle Na^{+} veya K^{+} , nadiren de Li^{+} olur. M^{+2} ise bir toprak alkali katyondur ve genellikle Mg^{+2} , Ca^{+2} , Fe^{+2} nadiren de Ba^{+2} , Sr^{+2} olur [43-44]. Yapıdaki her oksijen, iki dörtyüzlü tarafından paylaşarak bir zincir oluştururlar. Bu zincirler birbirlerine aralarındaki Na, Ca ve K iyonlarıyla bağlanarak, ortası kanal gibi açık bir yapı oluştururlar. **Kanallar moleküler çapta eş boyutlu gözeneklerdir ve doğal olarak olağanüstü bir yüzey alanına sahiplerdir. Bu özelliği ile çeşitli boşluk çapına (küçük, orta, büyük), farklı boşluk sistemlerine (1-D, 2-D, 3-D) ve iç hücrelere/kafeslere sahip bir ağ yapısı oluştururlar.**

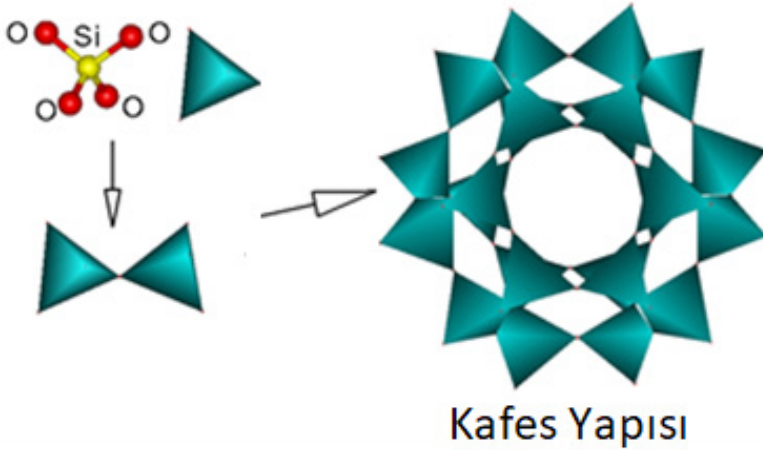


Şekil 5. Zeolitinin Tetrahedral Yapısı [49].

Zeolitlerin kristal yapısı birincil ve ikincil yapı birimlerinden oluşmaktadır. Birincil yapı birimleri $(SiO_4)^{-4}$ ve $(AlO_4)^{-5}$ dörtyüzlüsüdür. Bu dörtyüzlünün merkezinde oksijenden çok daha küçük olan silisyum ya da alüminyum iyonu ve köşelerde de oksijen iyonları bulunur. İkincil yapı birimleri ise, dört yüzlülerin geometrik olarak oksijenleri paylaşması ile oluşur. İkincil yapı birimleri, çeşitli yapılarda bulunmaktadır: tek halka, çift halka, çok yüzlü veya daha karışık birimlerle bir araya gelerek kendine has kanal ve kafes sistemleri oluştururlar. Zeolitlerin birim hücresi her zaman bütünleşik ikincil birim yapılardan oluşur. Zeolitlerin, 23 çeşit ikincil yapı birimleri vardır ve bunlar aşağıda gösterilmiştir (Şekil 6). Şekil 7, birincil ve ikincil yapı birimlerinin sırasıyla nasıl oluştuğunu göstermektedir. Şekil 8'de ikincil yapı birimlerinin bir araya gelerek zeolit yapısını nasıl oluşturduğunu şematik olarak göstermektedir.



Şekil 6. İkincil Yapı Birimleri ve Sembolleri (Mohau ve ark. dan türetilmiştir) [51].

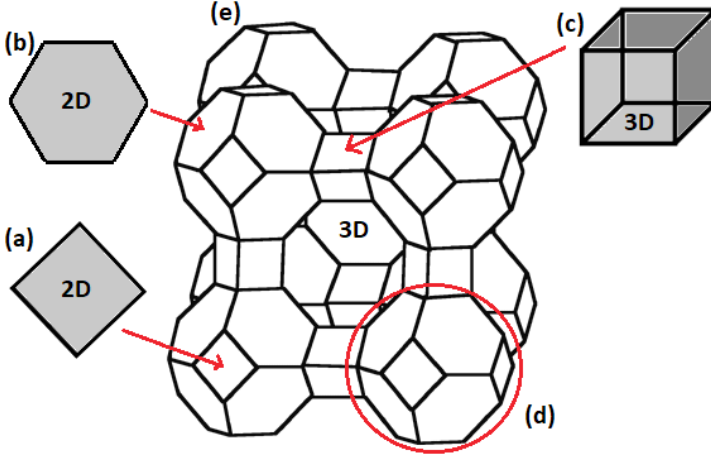


Kafes Yapısı

Şekil 7. Kafes Yapısını Oluşturan İkincil Yapı Birimini Oluşturmak İçin $(\text{SiO}_4)^{4-}$ Birincil Yapıların Biraraya Gelmesi [51].

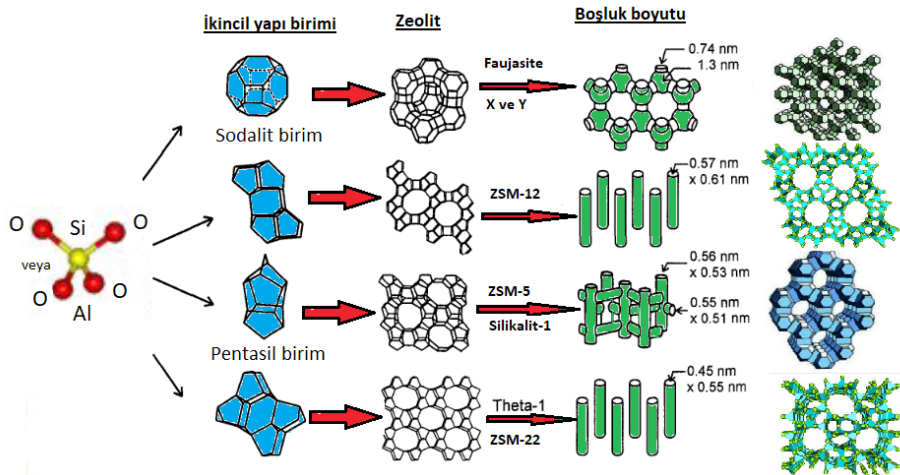
Şekil 8'de çizginin kesişimleri, tetrahedral katyonların (Al veya Si) merkezlerini temsil eder. Şekil 9'da bazı zeolit yapıları ile gözenek sistemleri ve boşluk

boyutları gösterilmektedir. T (Si veya Al) atomları köşelerde ve T-O-T şeklinde birbirlerine bağlanmışlardır. Örneğin, 24 dörtyüzlü eğer Şekil 9'da ilk sıradaki gösterildiği gibi birbirine bağlanırsa, kübik-sekizyüzlü (cubo-octahedron); sodalit birim veya B kafes (B cage) olarak bilinen yapıyı oluştururlar. Bu kafes yapısı, birçok zeolit yapısını oluşturan önemli ikincil yapı birimleridir. Eğer sodalit birimler hegzagonal yüzler ile bir araya gelirse faujasite mineral yapısı oluşur. [52].



Şekil 8. İkincil Yapı Birimlerinin Yönelimleri (a-b) Tek 4 ve 6 halkalı (c) Çift 4 halkalı d) 4 ve 6 halkalı kübik/sekiyüzlüler e) 8 adet '4 ve 6 halkalı kübik/sekiyüzlünün' birleşmesi (Ch. Baerlocher ve ark.'dan türetilmiştir)[50]

Zeolit Y, heterojen kataliz olarak kullanımda önemli bir yere sahiptir. Gözenek sistemi nispeten geniştir ve 12 dörtyüzlü (TO_4) tarafından oluşturulan 0.74nm çapında pencerelerin dört komşu kafes ile tetrahedral olarak bağlanmasıyla oluşan 1.3nm çapa sahip süper kafesler olarak adlandırılan küresel kafeslerden oluşur.



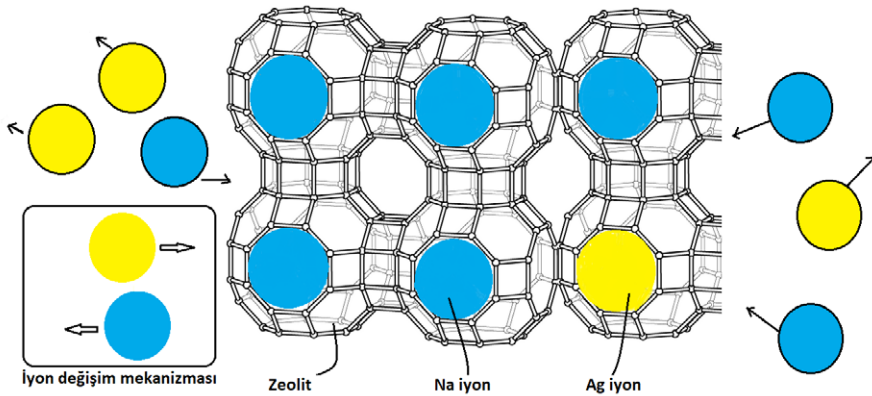
Şekil 9. Bazı Zeolitlerinin Yapısal Özellikleri, Mikro Gözenekleri ve Boşluk boyutları [52].



Zeolit ZSM-5, (Şekil 9, 3. Sıra) silika türevi ($n_{Si/Al} = \infty$) pentasil birimden meydana gelir. Biri düz ve bir sinüzoidal olan on üyeli halka gözeneklerin bir araya geldiği sistemleri içerir. ZSM-5, heterojen katalizde büyük önem kazanan bir zeolit bir başka örneğidir. Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği'ne (IUPAC) göre gözenek boyutu; mikro gözenekli ($2,0\text{nm} \geq d_p$), mezo gözenekli ($2,0 < d_p \leq 50\text{nm}$) ve makro gözenekli ($d_p > 50\text{nm}$) [53]. 3-boyutlu tetrahedral silisyum ve alüminyum ağı ve ortak oksijen atomlarından dolayı zeolitler gözenekli bir yapıya sahiptirler. Bu gözenekler normal olarak 2nm 'den daha küçük boyutlardadırlar [54].

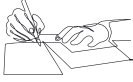
3.2. Zeolitlerin Özellikleri

Gözenek boşluk boyutları çok büyük olduğundan dolayı moleküler elek gibi davranarak molekülleri emer (absorption) ya da yüzeylerinde tutabilirler (adsorption). Zeolitlerin mikro gözenekli özellikleri, dış yüzeylerine göre çok büyük bir iç yüzey alanı sunar. Zeolitler ayrıca kristalin silika (SiO_2) kafesi sayesinde termal ve mekanik kararlılıkları yüksektir. Mikro gözenekler, kristalin içinden çevresine madde aktarımını sağlayan dışarıya açık gözeneklerdir. Mikro gözeneklerin üç boyutlu ağları, aktiviteleri ve seçiciliği aktif bölgeleri tanıtarak güçlendirilecek olan reaksiyon kanalları olarak hareket edebilir. Gözenekler içinde güçlü elektrik alanlarının ve kontrol edilebilir adsorpsiyon özelliklerinin mevcudiyeti, eşsiz bir katalizör üretimi sağlayabilmektedir. Zeolitlerin termal duyarlılığı, farklı miktarlarda silisyumdan dolayı, geniş bir sıcaklık aralığına sahiptir. Düşük silisyum içeren zeolitlerin parçalanma sıcaklıkları yaklaşık 700°C iken neredeyse tamamı silisyumdan meydana gelen zeolitler ise (silikalit gibi) 1300°C 'lere kadar çıkabilmektedir.



Şekil 10. İyon Değişimi (Marturano, Valentina. Cerruti, Pierfrancesco. Ambrogio, Veronica. Polymer additives. 2016'dan türetilmiştir.) [53]

Zeolitlerden süzülen bir çözelti bir engelle karşılaşmadan geçerken içindeki iyonlar zeolit kanallarında ki iyonlarla yer değiştirebilir. İyon değişiminin endüstri de pek çok kullanım alanı bulunmaktadır. Zeolit yapısındaki Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} değişebilir iyonlar olarak bilinmektedir. Bu iyonlar, aluminosilikat yapısını bozmadan, sulu solüsyonlardaki diğer katyonlar ile kolayca yer değiştirebilmektedir. Düşük silis içerikli zeolitler nem tutucu özelliği taşıırken (hidrofilik), yüksek silis-

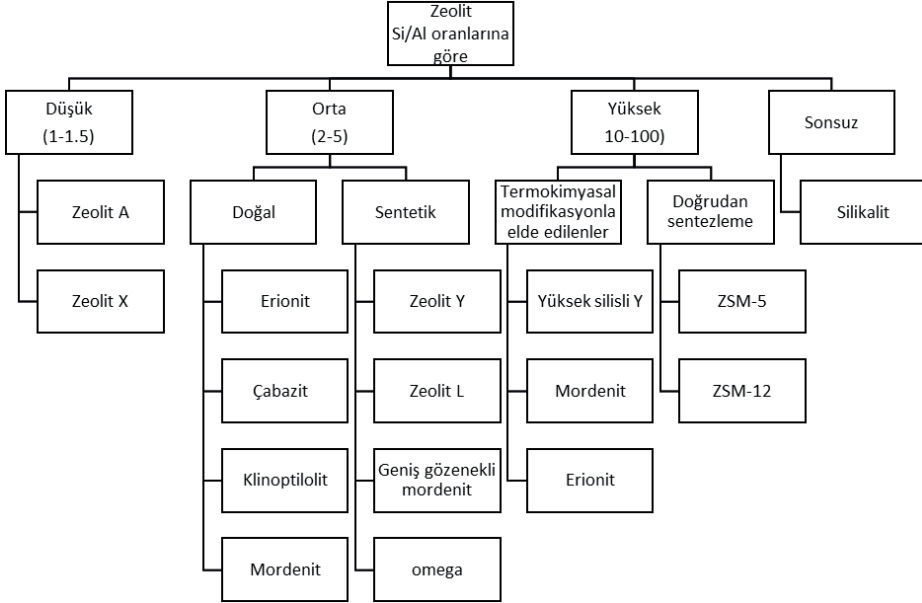


liler suyu tutmazlar (hidrofobik). Zeolitlerin, emilim, kataliz ve katyonların derişimi (iyon değiştirme) ve değiştirilmesindeki seçicilik gibi özelliklerindeki değişimler büyük ölçüde Si/Al oranına bağlı olarak değişir. Zeolit içindeki Si/Al oranının öneminden dolayı bu derlemede zeolitler Si/Al oranına göre sınıflandırılacaktır.

3.3. Zeolitlerin Sınıflandırılmaları

Zeolitlerin birçok sınıflandırılması bulunmaktadır. Fakat yukarıda belirtildiği gibi zeolitlerin Si/Al oranlarına göre sınıflandırılmaları Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Zeolitlerin Si/Al Oranlarına Göre Sınıflandırılması [54]



Si/Al oranlarına göre, zeolitlerin termal stabilite, hidrofilik ya da hidrofobik olma özellikleri, yüzey seçiciliği, asiditeleri ve halka yapıları farklılıklar göstermektedir. Si/Al oranının 1’den ∞ değerine ulaşması ile birlikte zeolitlerde termal stabilite 700°C’tan ~1300°C’a yükselmekte, yüzey seçiciliği ise hidrofilik yapıdan hidrofobik yapıya doğru değişim göstermektedir. Si/Al oranı arttıkça, asidite artmakta, katyon konsantrasyonu azalmaktadır.

3.4. Zeolitin Uygulama alanları

şekil 11’de zeolitlerin çeşitli uygulama alanları gösterilmektedir. evre kirliliğinden enerjiye, hayvancılıktan madencilere birçok çalışma alanları bulunmaktadır. Zeolitlerin en büyük tüketicilerinden biri petrol endüstrisidir. Petrol endstirileri ağır hidrokarbon çatlaması için katalizör olarak ağırlıklı olarak zeolitlere bağımlıdır [56,57]. Zeolitler, özellikle iyon değiştiriciler, adsorbanlar ve kimyasal katalizörler gibi çeşitli endüstriyel uygulamalara da sahiptir. Zeolitlerin, özellikle evre kirliliği kontrolü, enerji üretimi ve depolanması gibi geleceğin sorunlarına çeşitli endüstriyel çözüm potansiyelleri barındırmalarından dolayı bu derlemede daha çok fotokatalizör uygulamaları üzerinde durulacaktır.



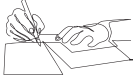
Şekil 11. Zeolitin Uygulama Alanlarının Gösterilmesi [51]

Zeolit Nano Elyaf Üretimi

Zeolit nano elyafların üretiminde farklı teknikler kullanılmaktadır. Bunlar: kendiliğinden tutunma (self-assembly), şablon sentez (template synthesis), faz ayrımı (phase separation), iki bileşenli ekstrüzyon (bicomponent), çekme (drawing), eriyik üfleme (melt-blown technology), eğirmeli bağlama (spunbond) ve elektro-eğirme (elektrospinning, ES) yöntemleridir. Bu derlemede, ES yöntemine odaklanılmıştır. Zeolit nano elyafların diğer yollarla imal edilmesindeki en önemli sınırlama, kontrollü mikroyapı ile büyük çapta ekonomik olarak üretilmemesidir. Diğer tekniklere kıyasla, ES mikro-nanometre arasında değişen çaplarda lifleri imal etmek için çok yönlü bir yöntemdir.

Elektro-eğirme Yöntemi (Electrospinning, ES)

Elektro-eğirme yönteminde elektrostatik kuvvetler kullanılarak polimer çözeltilerinden elyaf üretimi yapılmaktadır. Bu yöntemi diğer yöntemlerden ayıran temel özellik, üretilen elyafların çaplarının mikron metre mertebelerinin altında olması, uygulama kolaylığının olması ve düşük maliyetlerde üretilmesi. Elektro-eğirme işleminde bir şırıngaya takılı iğnenin ucunda ya da kapillerin ucunda asılı olan polimer çözelti damlasına elektrik akımı uygulanır. Kapiller ucuna beslenen polimer çözeltisinin hızı bir pompa ile kontrol edilir. Elektrot ya polimer çözeltisinin içine batırılır ya da kapillerin ucuna bağlanır. Uygulanan elektrik alan, damlayı, "Taylor Konisi" (Şekil 13) olarak adlandırılan koni şekline girmeye zorlar. Belirli bir voltaj değeri aşıldığında elektriksel kuvvet baskın hale gelir ve Taylor Konisinin ucundan yüklü polimer jeti fışkırır. Buharlaşma ve bükülme kararsızlıkları yardımıyla jet katılarak elyaflar elde edilir [58]. Nano elyafları üretmede en kullanışlı yöntem, elektro-eğirme düzeneği Şekil 12'de



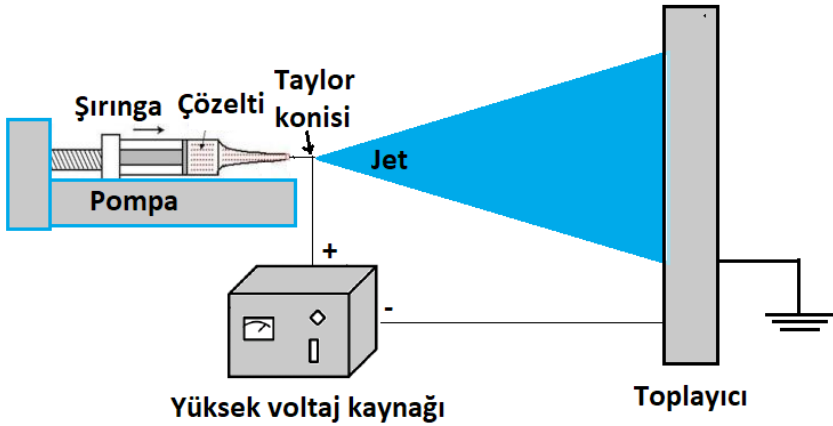
gösterilmiştir. Temel olarak besleme ünitesi yani iğne, toplayıcı ve yüksek voltaj güç kaynağından oluşur [59]. Elyaf form dokuma olmayan mimarisiyle elektron iletimine kısa yollar sunduğu, bu sebeple de toz haline göre daha iyi bir fotokatalitik özellik sağladığı bildirilmiştir [60]. Tablo 5'te yöntemin etkin parametreleri belirtilmiştir.

Tablo 5. Elektron-Eğirme İşleminde Etkin parametreler [62].

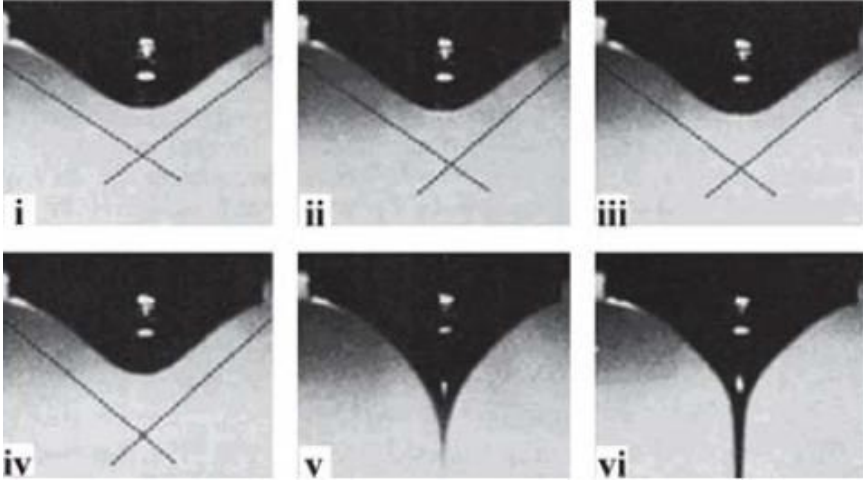
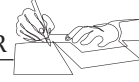
Çözelti Parametreleri	İşlem Parametreleri	Ortam Parametreleri
Viskozite ve elastisite	İğne ile toplayıcı mesafesi	Sıcaklık
Yüzey gerilimi	Nozul ucunun geometrisi	Nem
Polimer ve çözücü iletkenlikleri	Çözelti akış hızı (besleme hızı)	Hava akımı
Çözelti iletkenliği	Toplayıcı yüzeye uzaklık	
Çözelti sıcaklığı	Uygulanan gerilim (voltaj)	
Konsantrasyon		
Buhar basıncı		

ES tekniği kullanılarak zeolit nano elyafların üretilmesi için, aşağıdaki üç adımı takip eden genel bir prosedür adapte edilebilir [63]:

1. Belirli viskozite ve viskoelastisiteye sahip zeolit nanotaneler ve polimer içeren süspansiyon hazırlanır,
2. Üretilen süspansiyonun, zeolit-polimer kompozit elyafların üretilmesi için optimize edilmiş parametreler altında elektro-eğirmesi yapılır,
3. Polimer, belirli bir sıcaklıkta kalsinasyon yoluyla saf zeolit tozu elde etmek için uzaklaştırılır. Bu aşamada, polimer kaybı da lif çapının azaltılmasına yol açar.



Şekil 12. Elektro-Eğirme Yönteminin şematik gösterimi



Şekil 1. Taylor Konisinin Oluşumunda Sıvı Damlasının Evrim süreci [61].

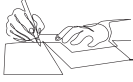
Başarılı bir ES için, dikkate alınması ve optimize edilmesi gereken birkaç önemli nokta vardır. Bunlardan biri süspansiyon bileşimleridir. Süspansiyon bileşimleri, viskoziteyi ve iletkenliği etkiler. Başka bir nokta ise, süreç parametreleridir. Bu, eğirme gerilimi, süspansiyon akış hızı ve iğne-toplayıcı mesafesini içerir. Eğirme ortamı ve ortam parametreleri de lif morfolojisini etkileyebilir. Birkaç çalışmada, hem sıcaklık hem de nemin, nihai lif morfolojisini güçlü bir şekilde etkileyebileceğini bildirilmiştir. %60'tan fazla bir bağıl nem altında, liflerin kurumasından dolayı lifler toplayıcıya düzgün bir şekilde ulaşamaz.

İstenen morfolojiye sahip nano elyafların üretilmesinden tek bir parametrenin sorumlu olmadığı unutulmamalıdır. Bunun yerine, her zaman, istenilen morfolojiye sahip liflerin üretilmesi için optimum parametreler kombinasyonu geliştirilmelidir. ES, kolay ve ekonomik bir yöntem olmasına rağmen, ES parametrelerini optimize etmek zor olabilir.

Zeolit ve Zeolit/TiO₂ Kompozitlerin Katalitik Uygulamaları

TiO₂ yapısına katkılanan elementin veya bileşiğin dağılımı önem arz etmektedir. Mikro veya makro boyutta faz ayrışımı, yapıda yük tuzakları (charge trap) veya enerji bant aralığı yüksek olan bölgelerin oluşmasına sebep olacaktır. Etkin bir yöntemle TiO₂ ve katkı malzemesinin zeolit farklı mineral türlerinden (Na12-A, ZSM-5, Y-Zeolite) birine emdirilmesi ile mümkündür. Çünkü zeolit mikro boşlukları uygun bir kafes görevi görmektedir. Bu da verimliliği arttırmaktadır [64].

Zeolit elyafları, nanotaneli yapıya göre daha üstün özelliklerinden dolayı yeni uygulamalar için büyüyen bir ilgiye sahiptir. Uygun gözeneklilikle tekdüze elyafların üretilmesi katalitik potansiyellerinin daha fazla araştırılmasını sağlamıştır. Ayrıca zeolitler, fizikokimyasal özelliklerinden dolayı mükemmel katalizörler ve katalizör desteği olarak sunulur;

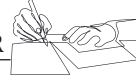


- (i) Yüksek yüzey alanı,
- (ii) Gözeneklerin moleküler boyutları,
- (iii) Yüksek adsorpsiyon kapasitesi,
- (iv) Tepkiyen / ürün ayrışımı bölümlendirilmesi,
- (v) Aktif alanların elektronik özelliklerinin modüle edilme olasılığı,
- (vi) Gözenekler içinde güçlü elektrik alanları ve moleküler hapsi ile molekülleri önceden aktive etme olasılığı.

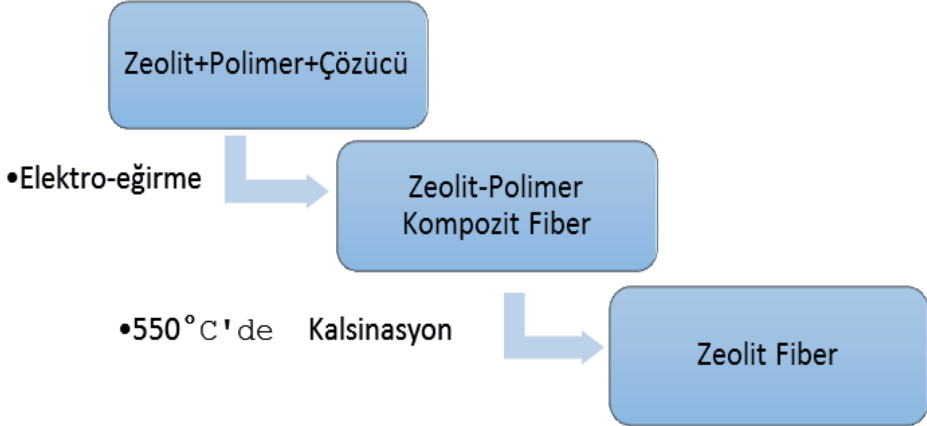
A. Neren Ökte ve grubu TiO_2 destekli ZSM5 zeolit katalizörüne sol-gel yöntemi ile La ve Ce iyonları katlayıp nanopartiküller elde etmişlerdir [65]. Bu çalışmaya göre La katkılı TiO_2 /Zeolit numunesinin UV ışığı altında metilen turuncu parçalanmasının Ce katkılı TiO_2 /Zeolit numunesine göre daha iyi olduğu gözlenmiştir. Ce katkılı TiO_2 /Zeolit yapısının La katkılı TiO_2 /Zeolit yapısına göre daha düşük fotoakatalitik aktivasyona sahip olmasının nedeni, muhtemelen Ce_2O_3 nanopartiküllerinin çok katmanlı bir adsorpsiyon süreci oluşturmasıdır. Lantanit iyonları ile yüklemmeden önce, destek yüzeyindeki mevcut Lewis asit bölgeleri ve Si bölgeleri TiO_2 nanopartikülleri tarafından işgal edilmiştir [64]. Ancak, bu alanların TiO_2 varlıkları tarafından tamamen işgal edilmesi mümkün olmayabilir, serbest kalan siteler La_2O_3 veya Ce_2O_3 nanopartiküllerinin adsorpsiyonu için uygun olabilir. Ayrıca, bu iyonlar iyonik yarıçapları ($\text{La}^{+3} = 116$ pm ve $\text{Ce}^{+3} = 114$ pm, $\text{Ti}^{+4} = 61$ pm) ile karşılaştırıldığında, La_{+3} iyonları veya Ce^{+3} iyonları TiO_2 'nin kafesine giremez. Daha büyük kristal boyutu ve daha düşük yüzey alanı nedeni ile Ce iyonlu katalizörler La iyonlu katalizöre göre daha az katalitik aktivite göstermiştir.

Atheel ve ark.[66] amaranth boyasının katalitik parçalanması için yeni bir heterojen katalizör olan Fe / Ti-NaY heterojen katalizörü başarılı bir şekilde sentezlemişlerdir. İyon değişim yöntemiyle TiO_2 'in zeolitin (NaY) gözenekleri içine sokulmasıyla sentezlenirken Fe (III), emdirme yöntemi (impregnation method) ile kapsüllenmiş TiO_2 üzerinde sabitlenmiştir. TiO_2 /Zeolit yapısına % 0.8 ağırlıkta Fe iyonlarının emdirilmesi ile bant boşluk enerjisi 2.8eV 'lara kadar düşürülmüştür. Aynı grup, TiO_2 /Zeolit yapısına Fe yerine bu sefer La iyonları emdirerek bir çalışma yapmışlardır [67]. Bu çalışmada, katalizörün aktivitesi La yüklemesinden sonra azaldığı gözlenmiştir. Bu azalma, dış yüzey üzerinde bulunan metal kristalitleri ile zeolit Y'nin kafesleri içine kapsüllenmiş TiO_2 arasındaki zayıf temastan kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca, Fe^{+3} 'ün iyonik yarıçapının La^{+3} 'ün yarıçapına göre daha küçük olduğundan dolayı için TiO_2 /Zeolit yapısına Fe iyonları daha kolay girebildiği, katalizörün bant boşluk enerjisini de böylece düşürdüğü iddia edilmiştir. Bu iki çalışmaya göre en iyi katalitik aktiviteyi elde etmek için önemli faktörlerden olan seçilen metalin iyonik yarıçapı ve desteğin gözenek boyutu dikkate alınmalıdır.

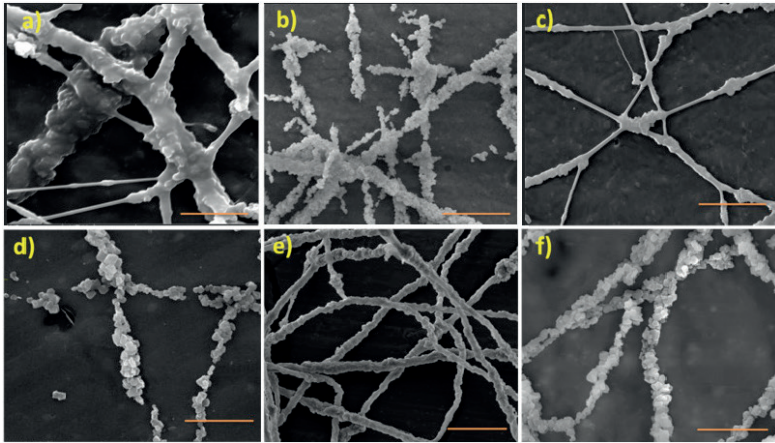
S. F.Anis ve grubu elektro-eğirme yöntemi ile zeolit-Y elyaflarını üretmişlerdir ve Şekil 13'te üretim süreci gösterilmiştir [68]. Optimum bir çözelti konsantrasyonu aranmış ve elektro-eğirme parametrelerinin bir fonksiyonu olarak elyaf morfolojisi için çalışılmıştır. Elyafın morfolojisi taramalı elektron mikroskobu ile incelendiğinde elyaf çapının ve elyafın sürekliliğinin süreç parametrelerinden büyük ölçüde etkilendiğini göstermişlerdir. Sol-gel yöntemi ile hazırlanan elektro-eğirme çözeltisinde PVP oranının azalıp artması ile elyaf yapısında süresiz-



lik ve üniform olmayan lif oluşumu gözlenmiştir. Şekil 14'de üç farklı PVP/Zeolit oranına sahip numunelerin kalsinasyon öncesi ve kalsinasyon sonrası SEM görüntüleri görülmektedir. Yüksek ve düşük PVP/Zeolit oranlarında numunelerin iyi kalitede olmadığı gözlenmektedir. Daha yüksek zeolit içeriğinin etanol içinde zeolit tanelerinin homojen olarak dağılmadığını, daha düşük zeolit içeriği de gerektiğinden fazla polimere sahip elyaflar arasında fazla polimer ayrışması nedeniyle boşluklar oluşturduğu söylenebilir.

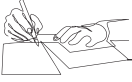


Şekil 13. Zeolit-Y elyaflarının üretim süreci

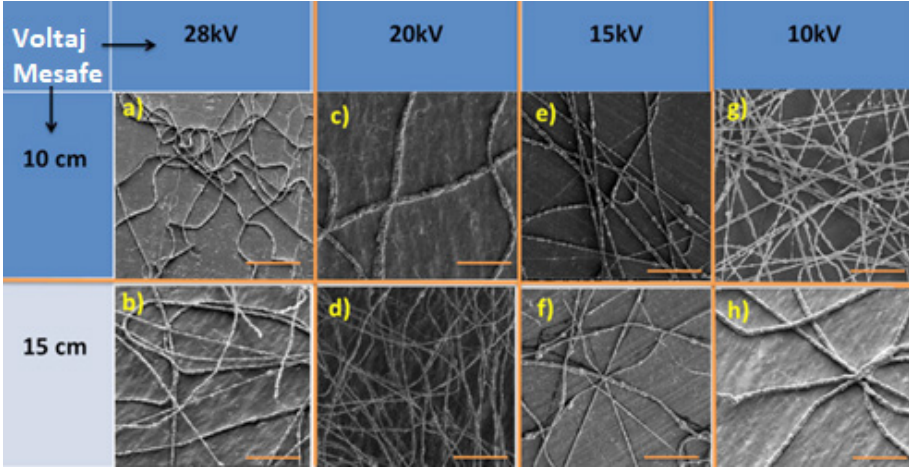


Şekil 14. Kalsinasyon Öncesi (a, c, e) ve Kalsinasyon Sonrası (b, d, f) Elyafların SEM Görüntüleri (Ağırlıkça PVP Oranları Sırasıyla 1:07, 0.7:1 ve 1:1, ölçek=10 mikron) [68].

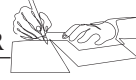
Ayrıca aynı grup elektro-eğirme parametrelerinin elyaf oluşturmada önemli bir yeri olduğunu göstermişlerdir. Şekil 15'de Zeolit-PVP elyaflarının voltaj ve elektro-eğirme mesafesine bağlı SEM görüntüleri görülmektedir. Çeşitli lifler arasındaki morfolojik farklılıkları anlamak için, voltaj ve mesafe parametrelerinin eş zamanlı olarak değiştirilmesiyle oldukça zorlaştığı, daha düşük voltaj ve daha yüksek elektro-eğirme mesafesinde de minimum boncuklanma (beading) ile birlikte daha pürüzsüz zeolit liflerin üretilebildiği belirtilmiştir. Zeolit-Y'nin lifli bir



forma dönüştürülmesi, zeolitin yüksek yüzey alanını korur ve aynı zamanda gözenekli bir makro yapı sağlar. Bu tür bir yapı, katalizörün aktif bölgelerine reaktanların erişiminin gerekli olduğu zeolitin katalitik uygulamaları için uygundur.

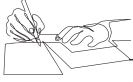


Şekil 15. Kalsinasyon öncesi Zeolit-PVP elyaflarının farklı voltaj ve elektro-eğirme mesafelerindeki SEM görüntüleri (ölçek 50 mikron) [68].



Tablo 6. Zeolit ve TiO_2 /Zeolit katalizörünün süreç parametreleri ile çeşitli hazırlama yöntemleri üzerine literatür taraması.

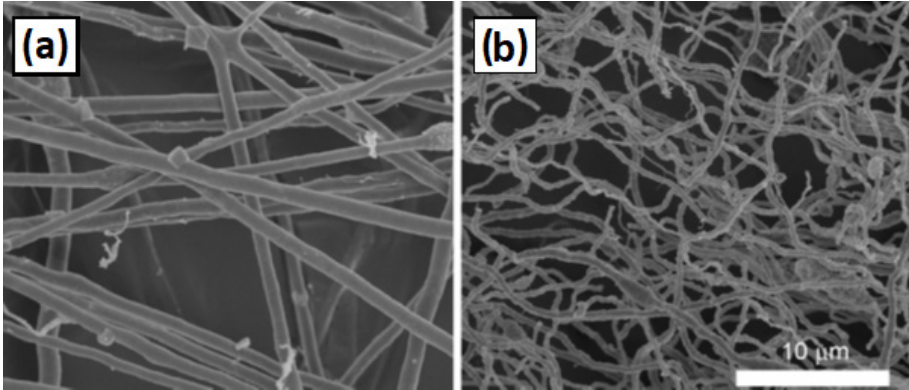
Katalizör	Destek Malzemesi	Katkı Ağırlıkça%	Üretim Yöntemi	Morfoloji	Isıl İşlem	Enerji Bant Aralığı	Işık Kaynağı	Bozulma/Verim Oranı	Kaynak
TiO_2	ZSM-5	0.28 La	Sol-jel	Nanopartikül	600 °C/6s	-	UV	%94/30 dak/Metilen turuncusu	[64]
TiO_2	ZSM-5	Ce	Sol-jel	Nanopartikül	600 °C/6s	-	UV	%57.5/4s/Metilen turuncusu	[64]
TiO_2	Zeolit-Y	0.64 La	İyon Değişim	Nanopartikül	550 °C/5s	-	-	45%/120 dak/Amaranth dye	[66]
TiO_2	Zeolit-Y	0.30 Ti	İyon Değişim	Nanopartikül	550 °C/5s	-	UV	50%/120 dak/Amaranth dye	[66]
TiO_2	Zeolit-Y	0.8 Fe	İyon Değişim, Döleme	Nanopartikül	550 °C/5s	2.8ev	-	%97/120 dak/Amaranth dye	[67]
TiO_2	Doğal Zeolit	-	Sol-jel	Nanopartikül	450°C/4s	-	-	%75/5s/Çivit boyası	[70]
TiO_2	-	1.5 Pt	Sol-jel, foto indirgeyici biriktirme	Nanopartikül	-	-	UV	% 86.2/30 dak/Metilen turuncusu	[71]
TiO_2	Zeolit Y	-	Klasik Döleme	Nanopartikül	500°C/5s	400-500 nm	UV, Görünür Işık	İyi/2-propanol	[73]
TiO_2	Doğal zeolit	-	Sol-jel	Nanopartikül	500°C/2s	2.7 eV	UV	% 84/60dak/ Metilen mavisi	[74]
TiO_2	Doğal zeolit	CuO	Sol-jel	Nanopartikül	500°C/2s	1.48 eV	Görünür Işık	% 85/60dak/ Metilen mavisi	[74]
TiO_2	LTA, FAU zeoliti	-	-	Nanopartikül	550 °C	-	UV, Görünür Işık	% 80/50 dak/ Metilen turuncusu	[75]
TiO_2	Zeolit-Y	10 Fe	Sol-jel	Nanopartikül	450 °C/3s	2.55eV	UV, Görünür Işık	100/60dak/Metilen mavisi	[78]
TiO_2	Zeolit Y	-	İyon değişimi	-	500 °C/5s	-	-	-	[79]
TiO_2	13X Zeolit	N-Fe	Sol-jel	-	600 °C/2s	-	Görünür Işık	% 47 /Asetaldehit	[80]
TiO_2	Zeolit-4A	-	Sol-jel	Nanopartikül	450 °C/4s	3.66eV	UV	%100/Metilen mavisi	[81]
TiO_2	Na-Y Zeolit	Cb	Döleme	Nanopartikül	500 °C/3s	-	UV	-	[82]
TiO_2	ZSM-5	Fe	Sol-jel	Nanopartikül	550 °C / 4	-	UV	% 80 / Atık su	[83]
TiO_2	Doğal zeolit	Ag	Mikrodalga ile hidrotermal	-	600 °C/2s	-	UV	%70/2s/Humik asit	[84]
TiO_2	ZSM-5	Ni/Fe	Hidrotermal	Nanopartikül	400 °C/3s	480-620 nm	Görünür Işık	%100/15dak/Sarı GX	[85]



Tablo 6'da Zeolit ve TiO_2 /Zeolit kompozitlerinin sentezi ile ilgili olarak önceki bölümlerde de tartıştığımız makalelere hızlı bir bakış sağlar. Zeolitin katalitik uygulamalarıyla ilgili çok sayıda yayınlanmış makale olmasına rağmen; Zeolit ve TiO_2 nano elyaflar için fazla bir çalışma yoktur. Görüldüğü üzere, zeolit mikro ve nano elyafların alanı henüz olgunlaşmamıştır. Seri üretilebilirliği nedeniyle silikat-1 ve ZSM liflerine doğru daha fazla eğilim görülebilir. Üretim süreci açısından, hidrotermal sentez şimdiye kadar en popüler yöntem olarak görülmektedir, ikinci en çok tercih edilen üretim yöntemi olarak da elektro-eğirme gelmektedir. Bunun nedeni, bu iki tekniğin ekonomik, basit ve esnek oluşlarıdır. Son olarak, lif çapı, uzunluk ve genel morfoloji söz konusu olduğunda, üretim yolları ve malzeme özelliklerinde büyük fark olması nedeniyle, bir makalenin diğerine göre değişimi oldukça yüksektir.

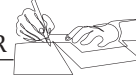
Zeolit Destekli TiO_2 Elyafların Üretimindeki Zorluklar

Elektro-eğirme tekniği kullanılarak zeolit nano elyaflar üretirken karşılaşılabilecek zorluklardan biri liflerin mekanik stabilitesidir. Nano elyaf yapılarından faydalanabilmek için, liflerin kalsinasyondan sonra ve özellikle katalitik reaksiyon sırasında şekillerini muhafaza etmesi gerekir. Kalsinasyondan önce nano elyaf şekli, süspansiyondaki polimer bileşenlerinin varlığı nedeniyle elde edilebilir. Nano elyaf yapılarda polimer matriks görevi görür ve kalsinasyon esnasında polimer uzaklaştırılarak, elyaflarda zeolit nanopartikülleri kalır ve böylece zeolit nano elyaflar elde edilir.

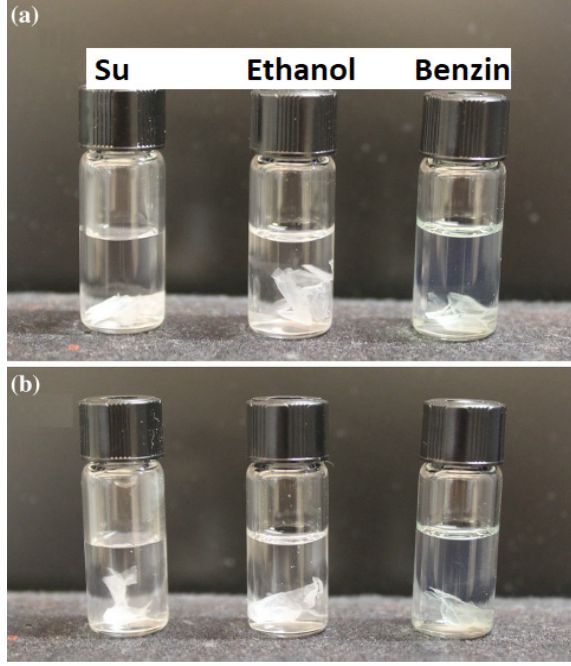


Şekil 16. Alümina ile Desteklenmiş Zeolit a) Kalsinasyon Öncesi ve b) Kalsinasyon Sonrası SEM Görüntüleri [69].

Bu zeolit nanopartikülleri, elyaf yapısının çöküşüne sebep olacak şekilde, birbirlerine gevşek şekilde bağlanmış olabilirler. Bu problemi çözmek için alternatif bir strateji; zeolit nanopartiküllerini yerinde tutan nano elyaflara eklenecek katkı malzemeleri ile liflerin mekanik stabilitesini arttırmaktır. Katkı malzemeleri yüksek erime noktasına sahip olmalıdır, bu yüzden kalsinasyon sırasında yanıp uzaklaşmazlar. Katkı malzemesi olarak kullanılabilecek birkaç potansiyel metal oksit arasında alümina veya silika gösterilebilir (Şekil 16). Bu oksitler genellikle teknik katalizörler için bağlayıcı ve dolgu maddesi olarak kullanılır [69].

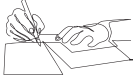


Polimer matris içerisinde zeolit partiküllerinden oluşan sürekli bir elyaf yapısı elde etmek de zordur. Saf zeolit elde etmek için zeolit tanelerini çevreleyen polimerik faz kalsinasyon ile sistemden uzaklaştırıldıktan sonra eğer zeolit taneleri birbirine kaynaşmamış ise süreksiz yapılar oluşabilir. Literatürde PVP/zeolit/etanol oranının son elyaf yapısı üzerinde etkili bir parametre olduğu gösterilmektedir [68].



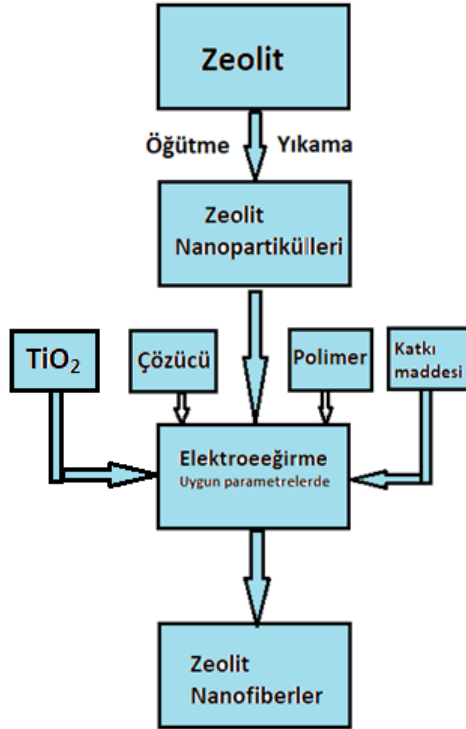
Şekil 17. Alümina ile Desteklenmiş Zeolit Elyafların Su, Ethanol ve Benzin İçerinde a) Kalsinasyon Öncesi, b) Kalsinasyon Sonrası Kararlılığı [69].

Bununla birlikte ultrasonik karıştırma cihazı da elyafların mekanik kararlılığını arttırmak için kullanılabilir. Li ve ark., elektro-eğirme yöntemi ile oluşturulan içi boş ZSM-5 elyaflarının, 20 dakika süreyle ultrasonikasyon tekniği uygulandıktan sonra daha iyi mekanik ve yapısal kararlılığa sahip olduğunu rapor ettiler [86]. Ultrasonikasyon, sıvı içindeki partikülleri dağıtmak için kullanılan bir tekniktir. Parçacık aglomeralarını kırmak ve dispersiyonu iyileştirmek ve elyafların mekanik mukavemetini niteliksel olarak belirlemek için kullanılır. Eğer zeolit elyafı daha düşük mekanik mukavemete sahipse, o zaman suda kolayca çözünebilir ki buda istenmeyen bir durumdur. Diğer benzer bir çalışmada da LTL zeolit liflerini üretmek için elektro-eğirme tekniği uygulanmıştır [69]. Zeolit elyaflarının mekanik kararlılığını arttırmak için elektro-eğirmeden önce çözeltiye katkı maddesi olarak alüminyum klorür eklenmiştir. Alüminyum klorür ile katılanmış zeolit kalsinasyon öncesi SEM görüntüsünde elyaflar düzgün bir görünümündedir. Kalsinasyon sonrası ise elyafların daha kısa, kıvrık ve dolaşık olduğu görülmüştür. Bu da polimer bileşeni olan PVP'nin kalsinasyon sırasında uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 17’de alüminyum klorür ile katkılanmış LTL-zeolit elyaflarının bazı sıvılar (su, etanol ve benzin) içerisinde 10 dakikalık ultrasonikasyonu öncesi ve sonrası SEM görüntüleri verilmektedir. Görüldüğü üzere, ultra-sonikasyon sonrası önemli mekanik mukavemet gösteren elyaflar hiçbir bozulmaya maruz kalmadan şekillerini korumuşlardır.

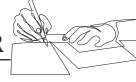
Elektro-eğirme için hazırlanan süspansiyonun homojenliği de elyaf kalitesini etkileyen diğer bir parametredir. Karıştırma koşullarına bağlı olarak zeolit nanopartikülleri polimer içerisinde süspansiyondan ayrılabilir ve dolayısıyla homojen olmayan süreksiz elyaflar üretilir. Ayrıca bu heterojen yapıdan dolayı, elyafı oluşturan zeolit taneleri arasındaki polimer uzaklaştırıldığında taneler arasında boşluklar oluşur. Bu yüzden çözelti içinde zeolit tanelerinin homojen olarak dağılması önemlidir. Anis ve ark. süspansiyon kararlılığını geliştirmek için elektro-eğirme çözeltisine yüzey aktif madde (surfactant) katkı maddeleri eklenebileceğini önermişlerdir [87]. Süspansiyonun zayıf iletkenliği varsa, iyonik sıvı katkı maddeleri eklenebilir.



Şekil 18. Elektro-Eğirme Tekniğini Kullanarak Zeolit Nano Elyafların Üretimi

Sonuç olarak, elektro-eğirme tekniğini kullanarak zeolit nano elyafları üretmek için, Şekil 18’de gösterilen adımlar takip edilebilir.

Elektro eğirme parametrelerinin elyaf üretiminde önemli parametreler olduğu bilinmektedir. Özellikle iğne ucu-toplayıcı arasındaki mesafe ve voltaj miktarı elyaf kalitesini etkilemektedir. Voltaj ve mesafedeki değişimlerin elyafların oluş-



masında önemli etkisi olduğu gösterilmiştir [68]. Düşük elektrik alan ve daha uzun elektro-eğirme mesafesi ile minimum boncuklar (beading) ve dolayısıyla düzgün elyaflar üretildiği gösterilmiştir. Ayrıca mesafe voltajdan daha fazla etkilidir. Yüksek elektrik akımının düzensiz jet oluşumu ile elyafları kopardığı düşünülmektedir. Düşük voltajlarda düzensiz elyaf oluşumunun nedeni ise yetersiz elektrik alanın jeti sürekli olarak çekemeyerek elyaf oluşturamamasıdır. Başka bir çalışmada daha uzun bir toplama mesafesinin elyafların toplayıcıya ulaşması için daha fazla zaman gerektirdiği, bu kapsamda da çözücünün buharlaşma hızının dikkate alınması gerektiğini belirtilmektedir [68]. Mesafe çok kısa olduğunda ise elyafların toplayıcıya ulaşip katılaşması için yeterli zaman olmayacaktır [68]. Çözelti elektro eğirme işlemi için hazır hale geldikten sonra elektro eğirme yöntemi üzerinden voltaj, mesafe ve besleme hızı parametreleri optimize edilerek elyaflar üretilmeye çalışılmalıdır.

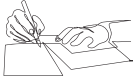
Sonuç

Bu derlemede önemli bir yarı iletken alternatif malzeme olarak zeolit, TiO_2 /zeolit ve katkılı TiO_2 /zeolit katalizörlerin yapısı ve üretimi ile potansiyel kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Fotokataliz yardımıyla su dan hidrojen üretme, kirli suyu temizleme gibi süreçlerde kullanılan bu tür malzemelerin verimliliğini arttırmak için kullanılan farklı destek malzemeleri arasında, fotokatalist zeolitlerin detaylı incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Zeolitler, yüksek yüzey alanları, benzersiz nano boyutlu gözenekli yapıları ve yüksek verimli fotokatalizör tasarımıyla kullanılabilen iyon değiştirme özellikleri ile öne çıkmaktadırlar. Ayrıca zeolitler, fotokatalitik reaksiyonlarda çok önemli olan yük transferi ve elektron transfer işlemlerinin kontrolü gibi özel foto-fiziksel özellikler de sağlamaktadırlar.

Zeolitlerin destek malzemesi olarak sağladığı çeşitli avantajların olduğu görülmüştür. TiO_2 yarı iletken olarak fotokatalitik aktiviteyi ve stabilitelerini geliştirmek için zeolitlere katılmıştır. Zeolitleri kullanarak burada sunulan çalışmaların umut verici olabileceği düşünülse de, çözülmesi gereken en büyük sorunlar; doğru foto-elektrokimyasal özelliklere sahip olan yarı-iletken malzemeyi belirlemek, yüksek kimyasal ve fiziksel kararlılığa sahip bu malzemenin ayrıca ekonomik olması gerekliliğidir. Zeolit mineralinin boşluklu yapısı ve optimizasyon süreci katalizör uygulamaları için elektro-eğirme yöntemi üzerinden kolayca düzenlenebilir. Çünkü bu yöntem nano boyutta kolay şekilde çalışma fırsatı sunmaktadır. Sonuç olarak, bu sistemlerin kullanılarak fotokatalizörlerin aktiviteleri geliştirilebilir, yeni nesil fonksiyonel katalizörler tasarlanabilir.

Kaynaklar

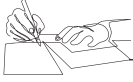
- [1] Amy L. Linsebigler, Guangquan. Lu, ve John T. Yates (1995). Photocatalysis on TiO_2 surfaces: principles, mechanisms, and selected results. Chemical reviews, 95(3), 735-758.
- [2] Zahra Shayegan, Chang-SeoLee, ve Fariborz Haghighat (2018). TiO_2 photocatalyst for removal of volatile organic compounds in gas phase – A review, *Chemical Engineering Journal*, 334, 2408-2439.
- [3] Demeestere, K., Dewulf, J., & Van Langenhove, H. (2007). Heterogeneous photocatalysis as an advanced oxidation process for the abatement of chlorinated, monocyclic



- aromatic and sulfurous volatile organic compounds in air: state of the art. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37(6), 489-538.
- [4] Karunakaran, C., and Senthilvelan, S. (2005). Photooxidation of aniline on alumina with sunlight and artificial UV light. *Catalysis Communications*, 6(2), 159-165.
 - [5] Kogo, K., Yoneyama, H., & Tamura, H. (1980). Photocatalytic oxidation of cyanide on platinized titanium dioxide. *The Journal of Physical Chemistry*, 84(13), 1705-1710
 - [6] Ding, H., Sun, H., & Shan, Y. (2005). Preparation and characterization of mesoporous SBA-15 supported dye-sensitized TiO_2 photocatalyst. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: chemistry*, 169(1), 101-107
 - [7] Gao, Y., & Liu, H. (2005). Preparation and catalytic property study of a novel kind of suspended photocatalyst of TiO_2 -activated carbon immobilized on silicone rubber film. *Materials Chemistry and Physics*, 92(2), 604-608
 - [8] Haque, M., & Muneer, M. (2007). Photodegradation of norfloxacin in aqueous suspensions of titanium dioxide. *Journal of Hazardous materials*, 145(1), 51-57.
 - [9] Krýsa, J., Keppert, M., Jirkovský, J., Štengl, V., & Šubrt, J. (2004). The effect of thermal treatment on the properties of TiO_2 photocatalyst. *Materials Chemistry and Physics*, 86(2), 333-339.
- Chun, H., Yizhong, W., & Hongxiao, T. (2000). Destruction of phenol aqueous solution by photocatalysis or direct photolysis. *Chemosphere*, 41(8), 1205-1209
- [10] Asahi, R., Morikawa, T., Ohwaki, T., Aoki, K., & Taga, Y. (2001). Visible-light photocatalysis in nitrogen-doped titanium oxides. *Science*, 293(5528), 269-271.
 - [11] Chen, X., & Mao, S. S. (2007). Titanium dioxide nanomaterials: synthesis, properties, modifications, and applications. *Chem. Rev.*, 107(7), 2891-2959.
 - [12] Woodley, S., & Catlow, C. (2009). Structure prediction of titania phases: implementation of Darwinian versus Lamarckian concepts in an evolutionary algorithm. *Computational Materials Science*, 45(1), 84-95.
 - [13] Suresh, C., Biju, V., Mukundan, P., & Warriar, K. (1998). Anatase to rutile transformation in sol-gel titania by modification of precursor. *Polyhedron*, 17(18), 3131-3135.
 - [14] Zhu, K.-R., Zhang, M.-S., Hong, J.-M., & Yin, Z. (2005). Size effect on phase transition sequence of TiO_2 nanocrystal. *Materials Science and Engineering: A*, 403(1), 87-93.
 - [15] Beltran, A., Gracia, L., & Andres, J. (2006). Density functional theory study of the brookite surfaces and phase transitions between natural titania polymorphs. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110(46), 23417-23423.
 - [16] Zhang, H., & Banfield, J. F. (2000). Understanding polymorphic phase transformation behavior during growth of nanocrystalline aggregates: insights from TiO_2 . *The Journal of Physical Chemistry B*, 104(15), 3481-3487
 - [17] Fox, M. A., & Dulay, M. T. (1993). Heterogeneous photocatalysis. *Chemical reviews*, 93(1), 341-357
 - [18] Ye, X., Sha, J., Jiao, Z., & Zhang, L. (1997). Thermoanalytical characteristic of nanocrystalline brookite-based titanium dioxide. *Nanostructured materials*, 8(7), 919-927
 - [19] Tseng, Y.-H., Kuo, C.-S., Huang, C.-H., Li, Y.-Y., Chou, P.-W., Cheng, C.-L., & Wong, M.-S. (2006). Visible-light-responsive nano- TiO_2 with mixed crystal lattice and its photocatalytic activity. *Nanotechnology*, 17(10), 2490.
 - [20] Tay, Q., Liu, X., Tang, Y., Jiang, Z., Sum, T. C., & Chen, Z. (2013). Enhanced photocatalytic hydrogen production with synergistic two-phase anatase/brookite TiO_2 nanostructures. *The Journal of Physical Chemistry C*, 117(29), 14973-14982



- [21] Hashimoto, K., Irie, H., & Fujishima, A. (2005). TiO₂ photocatalysis: a historical overview and future prospects. *Japanese journal of applied physics*, 44(12R), 8269.
- [22] Yi Ma, Xiuli Wang, Yushuai Jia, Xiaobo Chen, Hongxian Han*, and Can Li (2014). Titanium Dioxide-Based Nanomaterials for Photocatalytic Fuel Generations, *Chem. Rev.* 114, 9987–10043.
- [23] Subramanian, V., Wolf, E. E., & Kamat, P. V. (2004). Catalysis with TiO₂/gold nanocomposites. Effect of metal particle size on the Fermi level equilibration. *Journal of the American Chemical Society*, 126(15), 4943-4950.
- [24] Babu, V.J., Vempati, S., Uyar, T., Ramakrishna, S., (2015). Review of one-dimensional and two-dimensional nanostructured materials for hydrogen generation. *Chem Phys.*, 17., 2960-2986.
- [25] Xu, A.-W., Gao, Y., & Liu, H.-Q. (2002). The preparation, characterization, and their photocatalytic activities of rare-earth-doped TiO₂ nanoparticles. *Journal of Catalysis*, 207(2), 151-157.
- [26] Cao, X., Yang, X., Li, H., Huang, W. and Liu, X., (2017). Investigation of Ce-TiO₂ photocatalyst and its application in asphalt- based specimens for NO degradation. *Constraction Building. Material*, 148, 824–832.
- [27] Yanzong Zhang, Shihuai Deng, ^aBaiye Sun, Hong Xiao, Li Li, Gang Yang, Qi Hui, Jun Wu, Jingtang Zheng (2010). Preparation of TiO₂-loaded activated carbon fiber hybrids and application in a pulsed discharge reactor for decomposition of methyl orange, *Journal of Colloid and Interface Science*, 347(2), 260–266
- [28] K. Hofstadler, R. Bauer, S. Novalic, and G. Heisler, (1994). New reactor design for photocatalytic wastewater treatment with TiO₂ immobilized on fused-silica glass fibers: photomineralization of 4-chlorophenol, *Environmental Science Technology*, 28 (4), 670-674
- [29] H. Yoneyama, S. Haga, and S. Yamanaka (1989). Photocatalytic activities of microcrystalline TiO₂ incorporated in sheet silicates of clay," *The Journal of Physical Chemistry*, 93, 4833–4837,
- [30] James F.Tanguay*Steven L.Suib[†]Robert W.Coughlin[‡] (1989). Dichloromethane photodegradation using titanium catalysts, *Journal of Catalysis*, 1127 (2), 335-347
- [31] A.N. Ökte, E. Sayınsöz,(2008). Characterization and Photocatalytic activity of TiO₂ supportef sepiolite catalysts, *Purification. Technology.*, 62, 535
- [32] M. Takeuchi, T. Kimura, M. Hidaka, D. Rakhmawaty, M. Anpo, (2007) Photocatalytic oxidation of acetaldehyde with oxygen on TiO₂/ZSM-5 photocatalysts: Effect of hydrophobicity of zeolites, *Journal Catalysis*, 246, 235-240
- [33] W. Panpa, P. Sujaridwongkarun, S. Jinawath *Appl. Catal. B: Environ.*, 80 (2008) p. 271
- [34] N. Dubey, S.S. Rayalu, N.K. Labhsetwar, R.R. Naidu, R.V. Chatti, S. Devotta (2006). Photocatalytic properties of zeolite-based materials for the photoreduction of methyl orange, *Applied Catalysis A: General*, 303 (2), 152-157
- [35] X. Liu, K.-K. Iu, and J. K. Thomas, (1993). Preparation, characterization and photoreactivity of titanium(IV) oxide encapsulated in zeolites," *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*, 89(11),1861–1865.
- [36] A. F. Cronstedt, (1756). Rön och beskrifning om en obekant bärg art, som kallas Zeolites," *Akademeins. Handlingar*, Stockholm, 18, 120.
- [37] R. M. Barrer and D. A. Ibbison, (1944)Occlusion of hydrocarbons by chabazite and analcite," *Transactions of the Faraday Society*, 40,195–206.
- [38] R. M. Barrer, "Process for the manufacture of crystalline absorbents," US Patent

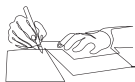


2413134, 1946.

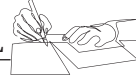
- [39] R. M. Barrer, (1945) Separation of mixtures using zeolites as molecular sieves. I. Three classes of molecular-sieve zeolite," Journal of the Society of Chemical Industry, 64, 130.
- [40] D. W. Breck, (1964) Crystalline molecular sieves, Journal of Chemical Education, 41(12), 678-689.
- [41] R. M. Milton, (1968). Performed zeolites and silicates, in Molecular Sieves, Society of Chemical Industry, 199
- [42] J. A. Rabo, (1981) Unifying principles in zeolite chemistry and catalysis, Catalysis Reviews: Science and Engineering, 23 (1-2), 293-313.
- [43] J. V. Smith, (1963) Mineralogical Society of America Special Papers, 1, 281.
- [44] Corma A. and Davis M. E. (2004). Issues in The Synthesis of Crystalline Molecular Sieves: Towards The Crystallization of Low Framework-Density Structures, Chemical. Physics. 5(3), 304-313.
- [45] Alyüz B., Veli, S. (2005). Ağır Metal İçeren Atık Su Arıtımında Kullanılan Düşük Maliyetli Adsorbanlar, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 2005/3.
- [46] C. Baerlocher, L. B. McCusker, Database of Zeolite Structures. <http://www.izastructure.org/databases>.
- [47] Worayingyong, A., Sang-urai, S., Smith, M. F., Maensiri, S. and Seraphin, S. (2014). Effects of Cerium Dopant Concentration on Structural Properties and Photocatalytic Activity of Electrospun Ce-doped TiO₂ Nanofibers, Applied Physics A: Materials Science and Processing, 117(3), 1191-1201.
- [48] Cundy C. S. and Cox P. A. (2005). The Hydrothermal Synthesis of Zeolites: Precursors, Intermediates and Reaction Mechanism, Microporous Mesoporous Materials, 82(1-2), 1-78.
- [49] Kaynak: <http://steemit.com/science/@kedi/zeolites-and-usage-areas>
- [50] Baerlocher, Ch., McCusker, L. and Olson, D.H. 2007. Atlas of Zeolite Framework Types, 6th ed. Elsevier Publishing co. Amsterdam.
- [51] Mohau Moshoeshoe, Misael Silas Nadiye-Tabbiruka, Veronica Obuseng, (2017). A Review of the Chemistry, Structure, Properties and Applications of Zeolites, American Journal of Materials Science, 7(5), 196-221
- [52] Weitkamp, J.: (2000) .Zeolites and catalysis. Solid State Ionics 131, 175 - 188.
- [53] D.H. Everett, Pure Appl. Chem. 31 (1972) 585.
- [54] Mesut Demir, (2005). Doğrudan sentez yönteminin yüksek silica içeren zeolitlerin kaplamalarının hazırlanmasında kullanılması, İstanbul teknik üniversitesi
- [55] Castaldi, P., Santona, L., Enzo, S. and Melis, P.: Sorption processes and XRD analysis of a natural zeolite exchanged with Pb²⁺, Cd²⁺ and Zn²⁺ cations. Journal of Hazardous Materials 156 (2008) 428 - 434.
- [56] A.V. Abramova, E.V. Slivinskii, Y.Y. Goldfarb, A.A. Panin, E.A. Kulikova, G.A. Kliger Development of efficient zeolite-containing catalysts for petroleum refining and petrochemistry, Kinet. Catal., 46 (2005), pp. 758-769
- [57] Ahmad Galadima, Oki Muraza, Hydrocracking catalysts based on hierarchical zeolites: A recent progress, [Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Volume 61](#), 25 May 2018, Pages 265-280
- [58] Di, J., Zhao, Y., and Yu, J., 2011. Fabrication of molecular sieve fibers by electrospinning. Journal of Materials Chemistry, 21(24), 8511. <https://doi.org/10.1039/c1jm10512d>
- [59] [Huang, ZM](#) (Huang, ZM); [Zhang, YZ](#) (Zhang, YZ); [Kotaki, M](#) (Kotaki, M); [Ramakrishna](#),



- S (Ramakrishna, S), A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, *Composites Science and Technology*, 63, 15,2223-2253
- [60] Li, D (Li, D); Xia, YN (Xia, YN), Electrospinning of nanofibers: Reinventing the wheel?, *Advanced Materials*, 16, 14, 1151-1170
- [61] Di, J., Zhao, Y., and Yu, J., 2011. Fabrication of molecular sieve fibers by electrospinning. *Journal of Materials Chemistry*, 21(24), 8511. <https://doi.org/10.1039/c1jm10512d>
- [62] Saikat Sinha Ray, Shiao-Shing Chen, Chi-Wang Li, Nguyen Cong Nguyen and Hau Thi Nguyen. A comprehensive review: electrospinning technique for fabrication and surface modification of membranes for water treatment application, *RCS Advances*, 2016, 88
- [63] H. Wu, W. Pan, D. Lin, H. Li. Electrospinning of ceramic nanofibers: fabrication, assembly and applications, *J. Adv. Ceram.*, 1 (2012), pp. 2-23
- [64] A.Neren Ökte, Özge Yılmaz, (2009). La and Ce loaded TiO_2 -ZSM-5 catalysts: Comparative characterization and photocatalytic activity investigations, *Microporous and Mesoporous Materials* 126(3):245-252
- [65] K.T. Chung, S.E. Stevens Jr, C.E. Cernigla, (1992). The reduction of azo dyes by the intestinal microflora, *Critical Reviews in Microbiology*, 18,175
- [66] Atheel Hassan Alwash, Ahmad Zuhairi Abdullah, and Norli Ismail, (2013). La Loaded TiO_2 Encapsulated Zeolite Y Catalysts: Investigating the Characterization and Decolorization Process of Amaranth Dye, *Journal of Engineering*, , Article ID 407167, 10
- [67] H. Alwash, A. Z. Abdullah, and N. Ismail, (2012). Zeolite Y encapsulated with Fe- TiO_2 for ultrasound-assisted degradation of amaranth dye in water,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 233-234, pp. 184–193
- [68] Shaheen Fatima Anis, Raed Hashaikeh, (2016). Electrospun zeolite-Y fibers: Fabrication and morphology analysis, *Microporous and Mesoporous Materials*, 233, 78-86
- [69] Saepurahman, Gnana Pragasam Singaravel, Raed Hashaikeh, (2016). Fabrication of electrospun LTL zeolite fibers and their application for dye removal *Journal of Materials Science*, 51(2), 1133–1141
- [70] Colling G. Joseph, Yen Ling Sharain-Liew Awang Bono and Limyee Teng, (2013). Photodegradation of Indigo Dye Using TiO_2 and TiO_2 /Zeolite System, *Asian Journal of Chemistry*; 25(15),8402-8406
- [71] Miaoliang, H.; Xu, C.; Wu, Z.; Huang, Y.; Lin, J.; Wu, J. (2008). Photocatalytic discolorization of methyl orange solution by Pt modified TiO_2 loaded on natural zeolite. *Dyes Pigments*, 77, 327–334.
- [72] Sudha ,G.. Subramanian, E.. Synthesis, Characterization and Photocatalytic Study of Cerium Oxide/Zeilite-NaX Catalyst with Brilliant Green Dye Degradation. 2015
- [73] Kamegawa, Takashi. Ishiguro, Yasushi. Kido, Ryota. Yamashita, Hiromi, (2014). Design of Composite Photocatalyst of TiO_2 and Y-Zeilite for Degradation of 2-Propanol in the Gas Phase under UV and Visible Light Irradiation, *Molecules*. 19(10), 16477-88.
- [74] Lei Zhao, Ting Cui, Yajun Li, Bo Wang, Jianhua Han, Li Han and Zhifeng Liu, (2015). Efficient visible light photocatalytic activity of p-n junction CuO/TiO_2 loaded on natural zeolite. *RSC Advances*, 79
- [75] Laila M. Al-Harbi, Samia A. Kosa, Islam H. Abd El Maksod and Eman Z. Hegazy (2015). The Photocatalytic Activity of TiO_2 -Zeilite Composite for Degradation of Dye Using



- Synthetic UV and Jeddah Sunlight, *Journal of Nanomaterials*, 2015, 6
- [76] Sang Hyun Ji a,b, Jeong Ho Choa, Young Hun Jeonga, Jon Do Yunb, Ji Sun Yuna (2017). The synthesis of flexible zeolite nanofibers by a polymer surface thermal etching process, *Applied Surface Science*, 416, (15)178-182
- [77] Shaheen Fatima Anis, Gnanapragasam Singaravel , Raed Hashaikeh, (2017). Electropsun Ni-W/zeolite composite fibers for n-heptane hydrocracking and hydroisomerization, *Materials Chemistry and Physics*, 200, 146-154
- [78] Ghania Foura, Nawel Chouchou, Ahcène Soualah, Kahina Kouachi, Matteo Guidotti and Didier Robert, Fe-Doped TiO₂ Supported on HY Zeolite for Solar Photocatalytic Treatment of Dye Pollutants (). *Catalysts* 2017, 7(11), 344;
- [79] H.Chen, A. Matsumoto, N. Nishimiya, K.Tsutsumi, (1999). Preoaration and characterization of TiO₂ incorporated Y-zeolite, *Colloids adn Surfaces*, 157, 295-305
- [80] Soheila Izadyar and Shohreh Fatemi, (2013).Fabrication of X Zeolite Based Modified Nano TiO₂ Photocatalytic Paper for Removal of VOC Pollutants under Visible Light, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52 (32),10961-10968
- [81]Ravikiran Nagarjuna, Sounak Roy, Ramakrishnan Ganesan,(2015). Polymerizable sol-gel precursor mediated synthesis of TiO₂ supported zeolite-4A and its photodegradation of methylene blue, *Microporous and Mesoporous Materials*, 211(15)1-8
- [82] AminTaheri NajafabadiFariborzTaghipou, (2012). Cobalt precursor role in the photocatalytic activity of the zeolite-supported TiO₂-based photocatalysts under visible light: A promising tool toward zeolite-based core-shell photocatalysis, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry Volume 248*, (15), 1-7
- [83] Zahra Ghasemi, Habibollah Younesi, Ali Akbar Zinatizadeh Zahra Ghasemi Habibollah Younesi, Ali Akbar Zinatizadeh, (2016). Preparation, characterization and photocatalytic application of TiO₂/Fe-ZSM-5 nanocomposite for the treatment of petroleum refinery wastewater: Optimization of process parameters by response surface methodology, *Chemosphere* 159, 552e564
- [84] Lazau, C.; Ratiu, C.; Orha, C.; Pode, R.; Manea, F. (2011). Photocatalytic activity of undoped and Ag-doped TiO₂-supported zeolite for humic acid degradation and mineralization. *Materials. Research. Bulletin.* , 46, 1916-1921
- [85] Khatamian, M.; Hashemian, S.; Yavari, A.; Saket, M. (2012).Preparation of metal ion (Fe³⁺ and Ni²⁺) doped TiO₂ nanoparticles supported on ZSM-5 zeolite and investigation of its photocatalytic activity. *Material. Science and. Engineering B*, 177, 1623-1627.
- [86] Jia Liu, Guiyuan Jiang, Ying Liu , Jiancheng Di, Yajun Wang , Zhen Zhao , Qianyao Sun, Chunming Xu , Jinsen Gao, Aijun Duan , Jian Liu , Yuechang Wei, Yong Zhao and Lei Jiang, (2014). Hierarchical macro-meso-microporous ZSM-5 zeolite hollow fibers withhighly efficient catalytic cracking capability, *Scientific Reports* 4, 7276.
- [87] Shaheen Fatima Anis, Abdullah Khalil, Saepurahman, Gnanapragasam Singaravel Raed Hashaikeh, (2016). A review on the fabrication of zeolite and mesoporous inorganic nanofibers formation for catalytic applications, *Microporous and Mesoporous Materials*, 236, -192.

**CHAPTER
22V****HİZMET SEKTÖRÜNDE DANIŞMANLIK
FİRMASI SEÇİMİ PROBLEMİNE
YÖNELİK KRİTER ARAŞTIRMASI****Ufuk AYDOĞMUŞ¹, Melih CAN², M. Talha SEVAL³****GİRİŞ**

Günümüzde işletmeler, rekabet ortamında devamlılıklarını sağlayabilmek için sürekli ve hızlı bir şekilde değişen müşteri isteklerine başarılı bir şekilde cevap vermelidirler. İşletmeler, verimliliklerini arttırabilmek, yüksek kar sağlamak, sorumluluklarını yerine getirmek gibi çeşitli amaçlar altında müşteri tatminini de sağlayabilmek için yeni yönetim felsefeleri arayışı içine girmektedirler. İşletmeler aynı zamanda, “piyasa şartlarında değişen ve gelişen hem iç hem de dış piyasa koşullarını alarak, sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmek” şeklinde tanımlanan stratejiler belirlemektedir (Yumurtacı Aydoğmuş vd., 2018). Sanayi devriminden önce ürün çeşitliliği, hızlı ürün teslimatı, kalite gibi kavramlar çok fazla göz önünde bulundurulmazken günümüzde artık bu kavramlar başarılı olmak için olmazsa olmaz unsurlar olarak yer edinmiştir. Güncel yönetim anlayışları içinde Müşteri İlişkileri Yönetimi, Tedarik Zinciri Yönetimi gibi felsefeler yer almaktadır. Toplam Kalite Yönetimi (TKY) felsefesi bu anlayışlardan daha eski olsa da halen güncelliğini korumaktadır. TKY'nin yardımcı araçlarından birisi olarak Kalite Yönetim Sistemlerini (KYS) işletmeler bünyelerinde kullanmaktadır. Üretim sektöründe daha fazla kullanıma sahip KYS, artık hizmet sektörü için de sık başvuru alan bir kavramdır.

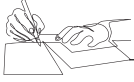
Karmaşık bir yapıya sahip olan işletmeler, bahsedilen zor rekabet koşulları altında sürekli olarak karar verme problemleri ile karşılaşmaktadır. Belirsizlik altında, risk altında karar vermek oldukça zordur. İşletmeler bu zorlukların üstesinden gelebilmek için literatürde üzerinde çalışılmış çeşitli nicel veya nitel karar verme yöntemlerine başvurabilmektedir. Nicel karar verme yöntemleri arasında mevcut alternatifler içinde en uygun olanın belirlenebilmesini, alternatiflerin öncelik sırasına konulabilmesini sağlayan Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKV) sıklıkla başvuru alan yöntemlerdendir.

Bu çalışmada işletmelerin karşılaştığı karar verme problemlerinden biri olarak, KYS'nin kurulması için ihtiyaç duyulan danışmanlık firmasının seçimi ele alınmıştır. Literatürde imalata yönelik farklı sektörlerde, farklı alanlarda danışmanlık firması seçimi uygulamaları mevcut olup hizmet sektöründe uygulama ile karşılaşmamıştır. Bu yönüyle çalışma, hizmet sektöründe danışmanlık firması seçim kararının verilebilmesi açısından sektörel ve akademik olarak yol gösterici bir çalışmadır. Gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda elde edilen kriterlerin uzmanlar tarafından değerlendirilmesiyle, hizmet sektöründe kullanılabile-

1 Öğr. Görevlisi

2 Araş. Gör.

3 End. Müh.



cek kriterler tanımlanmıştır.

Danışman seçimi işletmenin amaçlarına, kaynaklarına ve tercihlerine bağlıdır. Bu karar verme problemi, birbiriyle çatışan, belirsiz yapıda ve kesin olmayan verilere dayanan çok sayıda faktörden etkilenmektedir. Bu karmaşık ve çelişkili durumlarda, uygun danışmanın seçilmesi için ÇKKV yöntemlerine başvurulması kaçınılmazdır (Kabir, 2014). Bu tip problemlerde, karar verme sürecine birden fazla kişinin dahil olması bu sürecin karmaşıklığını artırmaktadır. ÇKKV, genellikle çelişen kriterler ile karakterize edilen mevcut alternatifler üzerinde tercih kararının (örneğin değerlendirme, önceliklendirme ve seçim) alınmasını ifade etmektedir (Kabir ve Hasin, 2012; Aktaran Kabir ve Sumi, 2014).

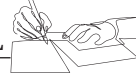
Çalışmanın birinci bölümünde kalite kavramı ve Türk Standardları Enstitüsü (TSE) tarafından belgelendirme yapılan sistemlerin tanımları verilmiştir. İkinci bölümde ÇKKV yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Sürecinin (AHP) aşamaları sunulmuştur. Üçüncü bölümde hizmet sektörüne yönelik danışmanlık firması seçimi problemine ait kriterlerin belirlenmesi için gerçekleştirilen literatür taramasına yer verilmiştir. Bu bölüm altında turizm sektöründe danışmanlık firması seçimi için bir örnek uygulamayla kriterlerin analizi gerçekleştirilmiş ve AHP yöntemi ile kriter öncelikleri belirlenmiştir.

KALİTE KAVRAMI VE KALİTE YÖNETİM SİSTEMİ

İşletmelerin mevcut müşterileri elde tutmak veya işletmeye yeni müşteriler kazandırmak için kaliteli hizmet sunması kaçınılmaz bir gerçektir (Karaman, 2018). Kalite kelime kökü Latince “nasıl oluştuğu” anlamına gelen “qualis”tir ve esas olarak kalite sözcüğü hangi ürün ve hizmet için kullanılıyorsa, onun gerçekte ne olduğunu belli etmek amacını taşımaktadır. Subjektif değerlendirmeler içeren kalite anlayışı kişiden kişiye, yöreden yöreye ya da ülkeden ülkeye çok sayıda faktörün etkisi altında değişik yapı göstermektedir. Bu nedenlerle tüketicinin ürün ve hizmetler için kullandıkları kalite kelimesinin ifade edeceği anlamlar da farklı olabilmektedir (Şimşek, 1998; Aktaran Özçakar, 2010).

Literatürde karşılaşılan farklı kalite tanımları şu şekilde listelenmiştir (Aktaran Taner ve İlke, 2005):

“Shewart’ın tanımıyla kalite “malın mükemmelliği”dir, Taguchi’ye göre kalite, ürünün dağıtımından sonra toplumda meydana getirdiği en az zarardır, Juran’a göre kalite kullanıma uygunluktur, Ishikawa’ya göre kalite kontrolü uygulamak; en ekonomik, en kullanışlı ve tüketiciyi daima tatmin eden kaliteli ürünü geliştirmek, ürünün tasarımını yapmak, üretmek ve satış sonrası hizmetlerini vermektir (Halis, 2000). J.François David’in tanımına göre “Kalite, tatmin edici bir üretimin en düşük maliyetle tüketicilerin ihtiyaçlarını hemen giderebilme yeteneğidir” (Efil, 1997). Avrupa Kalite Organizasyonu’na göre kalite “bir mal ya da hizmetin tüketicilerin isteklerine uygunluk derecesi”dir (Bozkurt ve Asil, 1995, s. 34). İngiliz Standartlar Enstitüsü kaliteyi, “mal veya hizmetin belirlenen veya ima edilen ihtiyaçları karşılama yeteneğiyle alakalı, mal veya hizmeti diğerlerinden ayıran özellik ve vasıflarının toplamı” olarak tanımlamıştır (Johns, 1992, s. 14). Amerikan Kalite Kontrol Derneği’ne göre kalite, mükemmeli arayışın sistematik bir



yaklaşımıdır. Japon Standartları Enstitüsü (JIS)'ne göre ise kalite, ürün veya hizmeti ekonomik bir yoldan üreten ve tüketici isteklerine cevap veren bir üretim sistemidir.”

Günümüzde imalat sektöründe, kalitenin rekabet konusundaki stratejik etkileri göz ardı edilemeyecek bir gerçek olup, firmaların kalite yönetimi ve kontrolü için kullanılabilecekleri en önemli araçlardan birisi KYS'dir (Magd ve Curry, 2003; Aktaran İç ve Yeşiloğlu, 2017).

Standartlar, bir müşteri-tedarikçi ilişkisinde güvenin oluşturulması ve sürdürülmesi için bir araç olarak görülmektedir. Kalite standartlarının başka bir özelliği, tasarımdan servise kadar tüm aşamalarındaki özelliklerin uygunsuzluğunu önleme yetenekleridir (Johannsen, 1995).

Ülkemizde kalite yönetim sistemleri denince akla gelen ilk kuruluş Türk Standartları Enstitüsü (TSE) olmaktadır. Bu enstitü, her türlü madde ve mamüller ile usul ve hizmet standartlarını yapmak amacıyla 18.11.1960 tarih ve 132 sayılı kanunla kurulmuştur. Enstitünün ilgili olduğu bakanlık Sanayi ve Teknoloji Bakanlığıdır.

TSE'nin web sitesi incelendiğinde⁴ çok sayıda farklı sistemlere yönelik belgelendirme yapıldığı görülmektedir. TSE tarafından belgelendirme yapılan sistemler söz konusu web sitesinde şu şekilde sıralanmıştır:

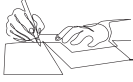
9001 - Kalite Yönetim Sistemi

TS EN ISO 9001 Kalite Yönetimi Sistem Standartları, 1987 yılında yayımlandığı tarihten itibaren en fazla ilgiyi ve uygulama alanını bulan Uluslararası Standartlar haline gelmiştir. Günümüz rekabet ortamında işletmelerin ayakta kalabilmesi, tüm sektörlerde müşteri ihtiyaç ve beklentilerine uygun mal ve hizmet üretiminin sağlanmasıyla gerçekleşebilmektedir. Bunun için kuruluşlar tasarım aşamasından başlayarak üretim, pazarlama ve satış sonrası hizmetlere kadar tüm aşamaları kapsayan ve sürekli gelişmeyi hedefleyen Kalite Yönetim Sistemi ni uygulamaktadır.

14001 - Çevre Yönetim Sistemi

Çevre Yönetim Sistemi tüm dünyada ISO 14001 Standardı ile bilinmektedir. Çevre Yönetim Sisteminin, ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi Standardından sonra uluslararası kuruluşlarda tanınması ve uygulanması çok hızlı olmuştur. Bugünün tüketicisi beklenti ve ihtiyaçlarının en üst düzeyde karşılanmasının yanı sıra kendisine, yaşadığı çevreye ve dünyasına değer verilmesini, saygı gösterilmesini talep etmekte ve piyasada bunu sorgulamaktadır. Bu doğrultuda, kuruluşların çevre ile etkileşimlerini kontrol altında tutabilmelerini ve çevre icraat ve başarılarını sürekli iyileştirebilmelerini sağlayacak yönetim sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

4 <https://tse.org.tr/IcerikDetay?ID=2438&ParentID=8977>



22000 - Gıda Gv. Yönetim Sis.

Gıda retiminde gıda güvenliği, ürünü kullanan tüketicinin mutlak talebidir. Bunu sağlamak için Gıda Güvenliği Kontrol Sistemi kurulmak zorundadır, fakat bu durumda analizler bazen çok uzun, elde edilen veriler yetersiz olabilmekte, bu yüzden de sistemin kullanılışı zor veya imkansız hale gelebilmektedir. Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi söz konusu ihtiyaa cevap veren, tüm proses aşamalarını daha sistematik bir şekilde ele alan ve önleyici yaklaşıma sahip bir sistemdir.

18001 - İş Sağ. Ve Gv. Yn. Sis.

Kuruluşlarda karşılaşılan en önemli insan kaynakları sorunlarından biri, çalışanların emniyetli ve sağlıklı bir çalışma ortamına sahip olmamalarıdır. Kuruluşların daha iyi rekabet koşullarına ulaşabilmesi için çalışanların iş sağlığı ve güvenliği konusunda planlı ve sistemli çalışmalar yürütmeleri gerekmektedir. İş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve sürekli iyileştirilerek korunabilmesi için bu standarda gereksinim duyulmuştur.

22000 - FSSC Gıda Güvenliği Sistemi

FSSC 22000, tüm gıda zincirinde yer alan gıda üreticilerinin, gıda güvenliği sistemlerinin tetkik edilmesi ve belgelendirilmesinde kullanılan uluslararası çapta kabul görmüş, ISO temelli bir belgelendirme programıdır. FSSC 22000, mevcut TS EN ISO 22000, ISO 22002-1 / ISO 22002-4 standartlarının şartlarını ve bu programa has diğer şartları içermektedir. FSSC 22000, Gıda Güvenliği konusunda dünyada söz sahibi olan ilgili birçok kuruluş ve organizasyonun geniş katılımıyla oluşturulmuştur.

IQ Net SR 10 - Sosyal Sorumluluk Yönetim Sistemi

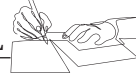
TS EN ISO 9001, TS EN ISO 14001, TS 18001 gibi diğer yönetim sistemleri ile de kolaylıkla entegre edilebilen Planla-Uygula-Kontrol Et-nlem Al sürekli iyileştirme modeline göre tasarlanmış IQNET SR 10 sosyal sorumluluk yönetim sistemi, iyi yönetim uygulamalarının, ekonomik boyutların yanı sıra çevresel ve sosyal boyutlarla da bütünleştirilmesini sağlaması bakımından büyük işletmelerin, KOBİlerin, zel veya kamu sektöründeki tüm kuruluşların beklentilerini karşılayacak biçimde oluşturulmuştur.

10002 - Müşteri Memnuniyeti Yönetim Sistemi

Müşteri beklentilerinin artması ve pazar payının giderek küçülmesinden dolayı kuruluşlar müşteri memnuniyeti proseslerini oluşturmakta ve yönetmekte zorlanmaya başlamışlardır. Müşteri şikayetlerinin bir sistematik dahilinde yürütülmesi ile ilgili çalışmalar dünyada 1990'lı yılların başlarında CRM (Customer Relations Management) alışmalarıyla başlamıştır. 2004 yılında ISO 10002 standardı yayınlanmış ve 2006 yılında lkemizde TS ISO 10002-2006 olarak yrrlğe girmiştir.

TSE K 118 - n Dökümlü Betonarme Yapı Elemanları

TS EN ISO 9001 standardının proses modeli üzerine kurulan bu standar-



dın bazı maddeleri inşaat sektörüne yönelik olarak daha detaylı hazırlanmıştır. Öndökümlü Betonarme Yapı Elemanlarının belgelendirilmesinde, Türkiye Prefabrik Birliği ile yapılan işbirliği çerçevesinde tüm prefabrike yapıların projelendirme, üretim ve montaj süreçleri belirlenen işbölümü çerçevesinde her iki kuruluş tarafından denetlenecek ve belgelendirilecektir. Bu yönetim sistemi dünyada ilk defa ülkemizde oluşturulmuştur.

50001 - Enerji Yönetim Sistemi

Enerjinin giderek daha da büyük önem taşıdığı günümüzde, enerjinin verimli kullanılması esasına dayanan TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EYS), her sektörde küçükten büyüğe her türlü işletmeye uygulanabilecek, tek başına olabileceği gibi diğer yönetim sistemleriyle entegre olarak da yürütülebilecek bir yönetim sistemidir. EYS, kuruluşların enerji politikalarını belirlemesi, amaç ve hedefleri doğrultusunda oluşturduğu enerji yönetim programları çerçevesinde enerji tüketimini yönetmesi ve enerji yönetim sisteminin performansını değerlendiren iyileştirmelerin sağlanmasına dayanmaktadır.

13485 - Tıbbi Cihazlar Yönetim Sistemi

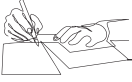
TS EN ISO 13485 Standardı, medikal sektörde faaliyet gösteren kuruluşlar için kalite sistemi şartlarını ortaya koymaktadır. Bu standard, ISO 9001 standardının proses modeli üzerine kurulmuştur. Ancak; GMP (Good Manufacturing Practices-İyi İmalat Teknikleri) kurallarına uyum, risk yönetimi (TS EN ISO 14971), validasyon ve eğer uygulanıyorsa, sterilizasyon prosesinin validasyonu, stabilite çalışmaları, klinik ve biyolojik değerlendirmelere ait uygulamalar gibi ek kurallar gerektirmektedir. Bu standard, ISO 14001 veya OHSAS 18001 gibi yönetim sistemleri ile de uyumludur.

15224 - Sağlık Hizmetleri Kalite Yönetim Sistemi

Sağlık hizmetleri sunan kuruluşlar tarafından tek başına da tercih edilebilecek bir yönetim sistemi olan bu standarttaki şartlar, TS EN ISO 9001:2008 şartları ve sağlık hizmetleri için ek spesifik tanımlamaları içermektedir. Bu standart, sağlık hizmetleri, örneğin temel sağlık, hastane öncesi bakım ve hastane servisleri, üçüncül sağlık hizmetleri, bakım evleri, düşkünler evleri, önleyici sağlık hizmetleri, zihinsel engelliler bakım hizmetleri, dişçilik, fizik tedavi, meslek hastalıkları sağlık hizmetleri, rehabilitasyon merkezleri ve eczaneler olmak üzere tüm sağlık sektöründe uygulanabilecek bir yönetim sistemi standardıdır.

22301 - İş Sürekliliği Yönetim Sistemi

Bu standart; işlerin aksamasına sebep olabilecek bir olayın ardından bir kuruluşun ürün veya hizmet sağlama kabiliyetinin önceden belirlenmiş kabul edilebilir seviyelerde devam etmesi, bir faaliyetin kesintiye uğraması sonucunda kuruluş faaliyetinin devam edebilmesinin temin edilebilmesi için prosesler, prosedürler, kararlar ve faaliyetler oluşturması, başka bir deyişle, kuruluşların krizlerden ve felaketlerden kaçınmasına yardımcı olmak için proaktif ve reaktif planlar yaparak bu gibi durumlar gerçekleştiğinde hızlı bir şekilde olağan duruma geri dönülebilmesini sağlamaya yardımcı olmaktadır.



28000 - Tedarik Zinciri Güvenliği Yönetim Sistemi

Bu standart, uluslararası bir standart olup, Tedarik Zinciri Güvenliği Yönetim Sisteminin (TZGYS) gereklerini tanımlar ve bu sistemi uygulamak isteyen kuruluşlara bir yönetim modeli sağlar. TZGYS standardında geçen güvenlik kelimesi tedarik zincirine, bilerek veya yetkisiz olarak düzenlenmiş eylemlerle zarar verebilecek faaliyetlere karşı koyma olarak tanımlanmaktadır. Bu çerçevede, kuruluşun bazı alanlarda etkin bir risk değerlendirmesi yaparak, tedarik zincirinde meydana gelebilecek risklerini kontrol altına almalarını sağlamaktadır.

29990 - Eğitim Ve Öğretim Hizmetleri Yönetim Sistemi

TS ISO 29990 standardının amacı, kaliteli mesleki uygulama ve performansı için genel bir model sağlamak, öğrenme hizmeti sağlayıcıları ile bunların müşterileri için yaygın eğitim, öğretim ve gelişimin tasarımı, geliştirilmesinde ve verilmesinde ortak bir referans temin etmektir.

31000 - Risk Yönetimi

Bu standart, risk yönetimini etkin kılmak için sağlanması gereken pek çok sayıdaki prensibi tesis etmektedir. Bu standartta açıklanan genel yaklaşım, herhangi bir karakterdeki riski sistematik, şeffaf ve güvenilir bir şekilde, kapsam ve içerik dahilinde yönetmek için prensipleri ve genel esasları sağlamaktır.

Yeşil Liman/Eko Liman

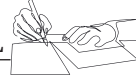
Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı, Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü (DTGM) ve TSE arasında 16.12.2014 tarihinde imzalanan protokol çerçevesinde "Yeşil Liman/Eko Liman" projesine başlanmış ve projeye katılım gönüllülük esasına dayanmaktadır. Bu protokol ile Yeşil Liman/Eko Liman Projesi Sektörel Kriterler Belgelendirmesi, TS EN ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi Belgelendirmesi, TS EN ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi Belgelendirmesi, TS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Belgelendirmesi başlıklarındaki hizmetler bir paket halinde Liman İşletmelerine sunulmaktadır.

22716 - İyi Üretim Uygulamaları (GMP)

Gıda, ilaç, kozmetik, medikal cihaz gibi insan sağlığını doğrudan etkileyen ürünlerin güvenilir koşullarda ve sistemlerde üretilmesi için hazırlanmış, ürünün hazırlanmasından dağıtımına kadar her aşamasında enfekte olma olasılığını önlemek ve güvenilirliği artırmak amacıyla hazırlanmış koruyucu önlemler dizisidir.

39001 - Yol Trafik Güvenliği Yönetim Sistemi

Yol trafik sistemi ile etkileşimde olan kamu ve özel kuruluşların etki edebileceği yol trafik çarpışmalarına bağlı ölümleri ve ciddi yaralanmaları azaltmak, riskleri yöneterek azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmaya yönelik olarak yol trafik güvenliği yönetim sistemi şartlarını ortaya koymaktadır.



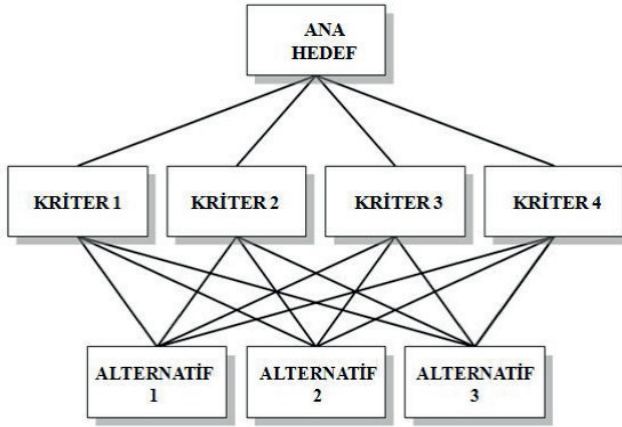
Ts 13811 Hijyen ve Sanitasyon Yönetim Sistem

Bu standardın amacı, toplum sağlığını korumaya yönelik yönetsel bir çerçeve oluşturmak, amaç ve hedeflere ulaşmak için şartları tanımlamak, toplum sağlığının korunmasına yönelik asgari hijyen ve sanitasyon standartlarına ulaşmaya yardımcı olmaktır.

AHP YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ

AHP, nicel analiz için ÇKKV yöntemlerinden faktör önem derecelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin arasında en yaygın olanlardan birisidir (Erdal, 2018).

Şekil 1’de AHP yönteminin genel hiyerarşik yapısı sunulmuştur. Bu şekilde en üstte ulaşılmak istenen hedef yer alırken, bir ara aşamada ana (ve varsa alt) kriterler yer almaktadır. Hiyerarşide en alta ise alternatifler yer almaktadır.



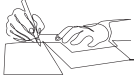
Şekil 1. Üç Kademeli Genel AHP Yapısı (Aydoğmuş vd., 2018)

Bu başlık altında AHP yönteminin işlem adımları açıklanmıştır.

AHP Yöntemi

Lee vd. (2008), AHP’nin içerdiği altı temel adımı şu şekilde sıralamıştır:

- I. Yapılandırılmamış sorunun çözülmesi için, problemin amaçları ve sonuçları açık bir şekilde belirtilir,
- II. Karmaşık yapıdaki problem, karar elemanlarıyla (kriterler, ayrıntılı kriterler ve alternatifler) hiyerarşik bir yapıya ayrılır,
- III. Karar öğeleri arasında karşılaştırma matrisleriyle ikili karşılaştırmalar yapılır,
- IV. Karar öğelerinin nispi ağırlığının tahmini için özdeğer yöntemi kullanılır,
- V. Karar vericilerin kararlarının tutarlı olmasını sağlamak için matrislerin



tutarlılık analizi yapılarak kontrol edilir,

VI. Alternatifler için genel bir derecelendirme elde etmek için karar unsurlarının nispi ağırlıkları toplanır.

Söz konusu altı adım içinde ikili karşılaştırma matrislerinin hazırlanması, karar vericiye ait kişisel yargılar içermesi açısından oldukça önemli bir aşamadır.

AHP uygulamasının ilk iki adımında ÇKKV probleminin genel yapısı oluşturulmaktadır (Aydoğmuş, 2018).

Üçüncü adımda $n \times n$ kare matris olarak ikili karşılaştırmalar gerçekleştirilir. Karşılaştırma matrislerinin köşegenlerindeki değerler 1'dir ve aşağıda gösterilmiştir (Erdal, 2018).

A=

Ögeler	1	2	...	n
1	$a_{1/1}$	$a_{1/2}$	...	$a_{1/n}$
2	$a_{2/1}$	$a_{2/2}$	...	$a_{2/n}$
...	...	...	...	...
n	$a_{n/1}$	$a_{n/2}$	...	$a_{n/n}$

Karar vericinin dilsel yargılarının sayısal değerlere farklı tercih seviyelerinde atanmasında bir tercih ölçeği kullanılmaktadır (Taha, 2003). AHP için kullanılan tercih ölçeği genellikle, bir faktörün diğerine göre önemini yansıtmak için 1'den 9'a kadardır ve bu ölçek Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İkili karşılaştırmalar için temel ölçek (Saaty ve Vargas, 2013)

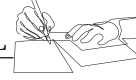
Ölçek	Tanım
1	Eşit Derecede önemli
3	Az önemli
5	Oldukça veya kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Mutlak derecede önemli
2,4,6,8	Ara değerler
Bir faktör ikinciye göre daha önemli ise, o zaman ikinci faktörün birinciye göre önemi onun tersidir (örneğin; $a_{ij}=5$ ise $a_{ji}=1/5$)	

Dördüncü adımda karar öğelerinin önceliklerinin hesaplanması için ikili karşılaştırma matrisinde ilk olarak değerler normalize edilmektedir. Normalizasyon aşağıdaki ifadeye göre yapılmaktadır:

$$w_i = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Denklem (1)

a_{ij} , ikili kıyaslama matrisindeki herhangi bir değeri göstermektedir. Normalize edilmiş tabloda satır ortalamaları alınarak ölçeklerin nispi ağırlıkları hesaplanmaktadır.



Beşinci adım için tutarlılık oranı (TO) ölçek sayısı ile temel değer adı verilen λ katsayısının karşılaştırılması prensibiyle elde edilmektedir. (TO) 0,1'den küçük ise ikili karşılaştırma matrisi tutarlı kabul edilmektedir. λ 'nın elde edilmesi için karşılaştırma matrisi ile ölçeklerin öncelik vektörü matris çarpımı yapılarak D sütun vektörü oluşturulur (Erdal, 2018).

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

D ve w sütun vektörlerinin karşılıklı elemanlarının birbirlerine oranlanması ile karar ölçekleri için temel değer (E) Denklem 2'deki gibi hesaplanır. λ değeri ise E değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak Denklem 3'teki gibi hesaplanır (Erdal, 2018).

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{Denklem (2)}$$

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^n E_i}{n} \quad \text{Denklem (3)}$$

Tutarlılık indeksi (TI), rassallık indeksi (RI) ve tutarlılık oranı (TO) değerleri sırasıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$TI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad \text{Denklem (4)}$$

Tablo 2. Rasgele tutarlılık indeksi değerleri (Yumurtacı Aydoğmuş vd., 2015)

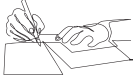
n	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

$$TO = \frac{TI}{RI} \quad \text{Denklem (5)}$$

Son aşamada alternatiflerin öncelik değerleri her kriterin ağırlığı ve kriter bazında alternatiflerin ağırlıkları çarpılarak elde edilir.

HİZMET SEKTÖRÜNDE DANIŞMANLIK FİRMASI SEÇİMİ KRİTERLERİ

Bu çalışmada literatür taraması yapılarak çoğunlukla imalat sektöründe danışmanlık firması seçimi gerçekleştirildiği görülmüştür. Söz konusu çalışmalardan elde edilen kriterler turizm sektörüne ışık tutması açısından uzman görüşleri doğrultusunda değerlendirilmiş ve bu değerlendirme sonucunda elde edilen kriterlerin öncelik değerlerinin hesaplanması yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir.



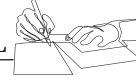
Kriter Araştırması

Literatürde kalite iyileştirme danışmanının seçimi veya değerlendirilmesi için farklı ÇKKV yöntemleri önerilmiştir (Kabir ve Sumi, 2014). Danışmanlık firmasına yönelik ÇKKV çalışmaları tarandığında daha çok kurumsal kaynak planlama (ERP) danışmanlık seçimi ve imalat sektöründe danışmanlık seçimi şeklinde çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmalardan Cheung vd. (2002), Hong Kong'da proje tasarımı ve inşasında danışman seçimi için AHP uygulamıştır. Yine AHP yöntemini 2007 yılında, Tsai vd. kurumsal kaynak planlama (ERP) danışmanı seçim probleminde danışman alternatiflerinin öncelik derecelerini belirlemek için uygulamıştır. Thomas ve Lai Kit (2004), danışman ön seçim sürecinde danışmanların genel yeteneklerini değerlendirmek için objektif bir çerçeve oluşturmayı amaçlamış ve bir danışmanlık görevi için teklif vermek üzere hangi mühendislik danışmanlarının davet edilmesi gerektiğini belirlemeye yönelik uygulama gerçekleştirmiştir. 2009 yılında Saremi vd. KOBİ'lerde TKY başarısı için dış danışmanın rolüne çok az dikkat edilmesinden yola çıkarak, dış danışman seçilmesi için, TOPSIS yöntemine dayanan sistematik bir karar süreci önerilmiştir. El-Santawy ve Ahmed (2012), üç fayda kriteri (şirket büyüklüğü, potansiyel kâr ve beklenen büyüme) ve bir maliyet kriteri (danışmanlık maliyeti) göz önünde bulundurarak danışmanlık firmasını seçmek için VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Vayvay vd. (2012), proje kaynak planlaması için proje danışmanlarının (şirketin kendi danışmanlarını veya dış kaynak kullanımını kullanarak) uygun tahsis edilmesinin önemi sebebiyle bilişim teknolojisi endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletmede AHP, bulanık AHP ve Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemlerini kullanmıştır.

Tablo 3'te danışmanlık firması seçimi üzerine literatür taraması sonucunda elde edilen kriterler sunulmuştur.

Tablo 3. Danışmanlık firması seçimi kriterleri literatür taraması

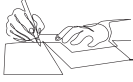
Yazar	Ana Kriter	Alt Kriterler
Kabir ve Sumi, 2014	Teknik / İdari	Teknik beceriler Yönetim becerileri Ortalama proje tamamlanma süresi
	Deneyim / İtibar	İlgili alanda iş tecrübesi İtibar
	Ekonomikliği	Kurulum Maliyeti
	Bilgi / Güvenilirlik	Mesleki bilgi İletişim ve kişilerarası beceriler Sorumlu ve Güvenilir
Kabir, 2014 (Alt kriter yok)	İş bilgisi (stratejiler, süreç, piyasalar) Teknik beceri (insanlar, sistem, özel yetenekler) Yönetim becerileri (organizasyon, ekonomik istikrar, kabul edilebilir sigorta, sertifika) Uygulama maliyeti İlgili alanda deneyim (TQM projesi, benzer firmalar)	



Vayvay vd., 2012	Maliyet	Taşıma Maliyeti Finansman Maliyeti
	İş deneyimi	İşletilen İşler Tamamlanan Proje Referanslar
	Eğitim seviyesi	Bölüm Mezuniyeti Katıldıkları Mesleki Seminerler
	İletişim yeteneği	Sorumluluk bilinci İkna Etme

Tablo 3. Danışmanlık firması seçimi kriterleri literatür taraması (devam)

Yazar	Uygulama Alanı	Ana Kriter	Alt Kriterler
Saremi vd, 2009 (Alt kriter yok)		İş bilgisi (stratejiler, süreç, piyasalar) İlgili deneyim (TKY projesi, benzer firmalar) Teknik beceriler (insanlar, sistem, özel yetenekler) Yönetim becerileri (organizasyon, ekonomik istikrar, kabul edilebilir sigorta, sertifikalar) Uygulama maliyeti	
Bennett, ve Smith, 2004 (Alt kriter yok)		Danışman çalışan Yüksek ücret oranı Maliyet Süre Sübvansiyon Uzaklık	



Corcoran ve McLean, 1998	İlgili deneyim	İlgili alanda önceki çalışmaları
	İşletme kayıtları	İş yetkinliği ve organizasyonun kapasitesi için genel itibar Gerçek danışmanlık personelinin profili
	Beceri	Teknik Kişilerarası
	Proje ve genel yönetim	örgütsel Kalite sistemi
	Yaklaşım ve metodoloji	Sorunların, ihtiyaçların ve kısıtların anlaşılması Proje kapsamı ve bölüm gereksinimleri Riskler

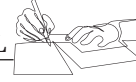
AHP Yöntemi ile Kriter Önceliklerinin Belirlenmesi

Bir önceki bölümde literatür araştırması sonucu elde edilen alternatif kriterler, otellerde kalite departmanında yönetici pozisyonunda görev yapan uzman **sekiz** kişi ile görüşülerek değerlendirilmiştir. Elde edilen kriterlerin hepsi "...kriterinin kalite danışman firması seçiminde önemlidir" şeklinde cümle kalıpları halinde hazırlanmış ve beşli Likert ölçeği ile değerlendirmeye sunulmuştur. Tablo 4'te, hazırlanan formun yapısı birkaç örnek cümle ile gösterilmiştir.

Tablo 4. Danışmanlık firması seçimi kriterler belirleme anketi

	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum
Danışmanlık firmasının seçiminde, sahip olduğu teknik beceriler önemlidir.					
Danışmanlık firmasının seçiminde, sahip olduğu yönetim becerileri önemlidir.					

Uzmanların ankete verdikleri cevaplar doğrultusunda önemli ve oldukça önemli olarak kabul edilen kriterler Tablo 5'te gösterilmiştir.



AHP yönteminin uygulanmasına ait ilk iki aşama kriterlerin belirlenmesi ve hiyerarşik yapının Tablo 5'te verildiği gibi oluşturulması ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sadece kriterlerin önem derecesinin belirlenmesi amaçlandığı için probleme herhangi bir alternatif dahil edilmemiştir.

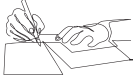
Tablo 5. Turizm sektörüne yönelik önemli bulunan kriterler

Ana Kriter	Alt Kriter	Kriter Kodu
Beceri	Teknik Beceri	B1
	İdari Beceri	B2
	Mesleki Bilgi	B3
Maliyet	Kurulum Maliyeti	M1
	Proje Gereksinimleri	M2
	Uzaklık	M3
	Devlet Desteği	M4
İşletme Profili	Çalışan Sayısı	P1
	Ortalama Proje Süresi	P2
	Kalite Sertifikası	P3
Referanslar	Devam Eden İşler	R1
	Problem Çözme Yeteneği	R2
	İtibar	R3
	Riskler	R4
İletişim	Sorumluluk	İ1
	Güvenilirlik	İ2
	İkna Etme Kabiliyeti	İ3
	Kişiler Arası İletişim	İ4

AHP'nin üçüncü aşamasının uygulamasında hazırlanan matrislerden ilki 5x5 kare matris şeklindeki ana kriterlerin karşılaştırılmasıdır. Daha sonra her ana kriterin kendine ait alt kriterleri için toplamda beş adet karşılaştırma matrisleri hazırlanmıştır. Tablo 6 ile 11 arasında söz konusu ikili karşılaştırma matrisleri verilmiştir. Bu örnekte karar verici bir otelin kalite sorumlusudur. Bu çalışma ileride daha kapsamlı hale getirilerek birden çok uzmanın yargısıyla grup karar verme problemi şeklinde ele alınacak olup, genel kriterlerin ağırlıkları belirlenecektir.

Tablo 6. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

	Beceri	Maliyet	İşletme Profili	Referanslar	İletişim
Beceri	1	1/2	3	2	3
Maliyet		1	5	3	4
İşletme Profili			1	1/3	1/2
Referanslar				1	2
İletişim					1



Tablo 7. Beceri ana kriterlerin alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Teknik Beceri	İdari Beceri	Mesleki Bilgi
Teknik Beceri	1	5	3
İdari Beceri		1	1/3
Mesleki Bilgi			1

Tablo 8. Maliyet ana kriterlerin alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Kurulum Maliyeti	Proje Gereksinimleri	Uzaklık	Devlet Desteği
Kurulum Maliyeti	1	9	5	3
Proje Gereksinimleri		1	1/3	1/5
Uzaklık			1	1/3
Devlet Desteği				1

Tablo 9. İşletme profili ana kriterlerin alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Çalışan Sayısı	Ortalama Proje Süresi	Kalite Sertifikası
Çalışan Sayısı	1	1/5	1/5
Ortalama Proje Süresi		1	1
Kalite Sertifikası			1

Tablo 10. Referanslar ana kriterlerin alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Devam Eden İşler	Problem Çözme Yeteneği	İtibar	Riskler
Devam Eden İşler	1	3	1/2	2
Problem Çözme Yeteneği		1	1/5	1/2
İtibar			1	3
Riskler				1

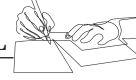
Tablo 11. İletişim ana kriterlerin alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi

	Sorumluluk	Güvenilirlik	İkna Etme Kabiliyeti	Kişiler Arası İletişim
Sorumluluk	1	1	1/3	1/4
Güvenilirlik		1	1/3	1/4
İkna Etme Kabiliyeti			1	1/2
Kişiler Arası İletişim				1

AHP'nin dördüncü aşamasında elde edilen tutarlılık oranları Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları

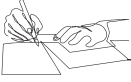
İkili Karşılaştırma Matrisi	TO
Ana Kriterler	0,019
Beceri ana kriterlerin alt kriterleri	0,033
Maliyet ana kriterlerin alt kriterleri	0,029
İşletme profili ana kriterlerin alt kriterleri	0
Referanslar ana kriterlerin alt kriterleri	0,006
İletişim ana kriterlerin alt kriterleri	0,010



Matrisler tutarlı bulunduğu için AHP'nin beşinci aşamasına geçilmiş ve Tablo 13'te bu aşamada elde edilen kriter ağırlıklarına yerel ve global olarak yer verilmiştir.

Tablo 13. Uygulama ile elde edilen kriterlerin öncelik değerleri

Ana Kriter	Alt Kriterler	Yerel Öncelik Değeri	Global Öncelik Değeri
Beceri		0,250	
	B1	0,633	0,159
	B2	0,106	0,027
	B3	0,260	0,065
Maliyet		0,419	
	M1	0,576	0,242
	M2	0,051	0,021
	M3	0,117	0,049
	M4	0,256	0,107
İşletme Profili		0,067	
	P1	0,091	0,006
	P2	0,455	0,030
	P3	0,455	0,030
Referanslar		0,163	
	R1	0,272	0,044
	R2	0,088	0,014
	R3	0,482	0,079
	R4	0,158	0,026
İletişim		0,100	
	İ1	0,110	0,011
	İ2	0,110	0,011
	İ3	0,297	0,030
	İ4	0,484	0,048



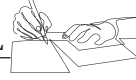
SONUÇ

Bu çalışma ile danışmanlık firması seçimi problemi için hizmet sektöründe kullanılabilecek kriterlerin belirlenmesi ve sektör ile akademik açıdan yol göstermesi amaçlanmıştır. Literatürden araştırması ile elde edilen kriterler uzman görüşleri neticesinde elenerek düzenlenmiştir. Bu kriterlerin turizm sektöründe bir işletmede ele alınmasıyla sıralamaları elde edilmiştir.

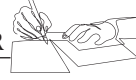
Tablo 13’de yer alan yerel ağırlıklar sütunu incelendiğinde ana kriterlerin sıralaması sırasıyla Maliyet, Beceri, Referanslar, İletişim ve İşletme Profili şeklinde 0.419, 0.250, 0.163, 0.100 ve 0.067 değerleriyle elde edilmiştir. Global öncelikler sütunu incelendiğinde ise alt kriterlerin global öncelikleri açısından ilk sırada 0.241 öncelik değeri ile kurulum maliyeti, ardından 0.158 öncelik değeri ile teknik beceri, daha sonra 0.107 öncelik değeri ile devlet desteği, sonrasında da sırasıyla 0.079 değeri ile itibar, 0.065 değeri ile mesleki bilgi, 0.049 değeri ile uzaklık, 0.048 değeri ile kişiler arası iletişim ve 0.044 değeri ile devam eden işler şeklinde devam etmektedir. Diğer alt kriterler de 0.03 ve daha düşük değerlerle sıralamada yerini almıştır.

KAYNAKLAR

1. Aydoğmuş, U., Yumurtacı Aydoğmuş, H., Karalök, A. (2018). AHP yöntemi kullanılarak beş yıldızlı bir otelde ön büro personeli seçimi. 4. International Academic Research Congress, Alanya .
2. Bennett, R. J., Smith, C. (2004). The selection and control of management consultants by small business clients. International Small Business Journal, 22(5), 435-462.
3. Cheung, F., Kuen, J. L. F., Skitmore, M. (2002). Multicriteria evaluation model for selection of architectural consultants. Construction Management and Economics, 20, 569-580.
4. Corcoran, J., McLean, F. (1998). The selection of management consultants: How are governments dealing with this difficult decision? An exploratory study. International Journal of Public Sector Management, 11(1), 37-54.
5. El-Santawy, M. F., Ahmed, A. N. (2012). Evaluating consulting firms using VIKOR. Life Science Journal, 9, 5872-5874.
6. Erdal, H. (2018). Lojistik strateji oluşturulmasına etki eden faktörlerin nicel analizi. Lojistik Stratejiler (Yalın, Çelik ve İşbirlikli). 86-115. İstanbul:Ekin Yayınevi.
7. İç, Y. T., Yeşiloğlu, A. G. (2017). Bir imalat firmasında ISO 9001: 2015 kalite yönetim sisteminin kurulması. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 15(2), 58-74.
8. Johannsen, C. G. (1995). Application of the ISO 9000 standards of quality management in professional services: an information sector case. Total quality management, 6(3), 231-242.
9. Kabir, G. (2014). Consultant selection for quality management using VIKOR method under fuzzy environment. International Journal of Multicriteria Decision Making, 4(2), 96-113.
10. Kabir, G., Sumi, R. S. (2014). Integrating fuzzy analytic hierarchy process with PROMETHEE method for total quality management consultant selection, Production & Manufacturing Research, 2:1, 380-399.
11. Karaman, D. (2018). Demografik özelliklerin iş tatmini üzerindeki etkisi: Eğitim



- sektöründe bir uygulama. Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2(1), 65-78.
12. Karaman, D., (2018). Hizmet Kalitesinin Ölçülmesi: Sigortacılık Sektöründe Uygulamalı Bir Araştırma, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt: 11 Sayı: 57, s.650-656.
 13. Karaman, D., (2018). Türk Sigortacılık Sektöründe Yaşanan Güncel Sorunlar ve 2023 Vizyonu: Antalya İlinde Bir Araştırma. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, Yıl: 6, Sayı: 77, s. 411-422.
 14. Lee, A. H. I., Chen, W. C., Chang, C. J. (2008) A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan, Expert Systems with Applications, 34, 96-107.
 15. Ng, S. T., Chow, L. (2004) Evaluating engineering consultants' general capabilities during the pre-selection process—a Hong Kong study. Engineering, Construction and Architectural Management, 11(3), 150-158.
 16. Özçakar, N. (2010). Bir kamu kuruluşundaki toplam kalite yönetimi uygulamalarının değerlendirilmesi. Istanbul University Journal of the School of Business Administration, 39(1).
 17. Saaty, T. L., Vargas, L. G. (2013) The logic of priorities: Applications of business, energy, health and transportation. Springer Science Business Media.
 18. Saremi, M., Mousavi, S. F., Sanayei, A. (2009). TQM consultant selection in SMEs with TOPSIS under fuzzy environment. Expert Systems with Applications, 36(2), 2742-2749.
 19. Taha, H. A. (2003) Yöneylem Araştırması, Pearson Education Inc., Fayetteville.
 20. Taner, B., İlke, K. (2005). Toplam kalite yönetiminin başarıyla uygulanma esasları bir hizmet işletmesi örneği. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 14(1).
 21. Tsai, W. H., Lin, T. W., Chen, S. P., Hung, S. J. (2007). Users' service quality satisfaction and performance improvement of ERP consultant selections. International Journal of Business and Systems Research, 1, 280-301.
 22. TSE, <https://tse.org.tr/IcerikDetay?ID=2438&ParentID=8977>
 23. Vayvay, O., Ozcan, Y., Cruz-Cunha, M. M. (2012). ERP consultant selection problem using AHP, fuzzy AHP and ANP: A case study in Turkey. E3 Journal of Business Management and Economics, 3(3), 106-117.
 24. Yumurtacı Aydoğmuş, H., Can, M., Babayiğit, A. (2015). Öğrencilerin online alışveriş site seçimi için analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yaklaşımı: Alanya uygulaması örneği. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İzmir.
 25. Yumurtacı Aydoğmuş, H., Namlı, E., Aydoğmuş, U. (2018). Strateji ve Lojistik Strateji. Lojistik Stratejiler (Yalın, Çelik ve İşbirlikli). 3-16. İstanbul:Ekin Yayınevi.

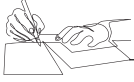
**CHAPTER
23****KARAYOLU ULAŞIM AĞLARI
PLANLAMASINDA COĞRAFI BİLGİ
SİSTEMİNİN YERİ VE ÖNEMİ****Hatice Canan GÜNGÖR¹****1. Giriş**

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) - Karmaşık planlama ve yönetim problemlerini çözmek için mekansal olarak referans verilmiş verilerin toplanması, yönetimi, analizi, modellenmesi ve gösterimini desteklemek üzere tasarlanmış bilgisayar donanımı, yazılımı ve kaynaklarının bütünüdür. CBS, coğrafi olarak adlandırılan verileri toplamak, saklamak, düzenlemek, analiz etmek, görüntülemek ve çizmek için kullanılan bilgisayar tabanlı bir sistemdir. Kanada haritacılık girişimi ile 1960'larda CBS'ye öncülük etmiş ve Kanada, ABD ve diğer hükümet ve üniversite araştırmacıları, bir bilgisayar veri tabanı kullanarak dünyanın coğrafyasını temsil etmeye, bilgisayar terminalinde göstermeye ve akabinde kağıt üzerine yerleştirmeye çalıştıkça gelişmeye devam etmiştir. Ayrıca bu verileri hızla araştırmak ve analiz etmek için bilgisayar programları geliştirilmiştir. Temel CBS birkaç temel kavram üzerine kurulmuştur. İlk olarak, dünyanın yüzeyindeki gerçek dünya özellikleri, harita koordinat sistemi ile ilişkilidir ve bilgisayarda kaydedilir. Bilgisayar, nerede olduklarını göstermek için bu özelliklerin koordinatlarını ve bu harita özelliklerinin ne olduğunu göstermek için özelliklerini depolar. İkincisi, harita özellikleri herhangi bir kombinasyonda ve hemen hemen her harita ölçeğinde görüntülenebilir veya çizilebilir, bu da bilgisayarlı haritalama verilerini geleneksel kağıt haritalardan çok daha esnek hale getirebilmektedir. Üçüncü olarak ve en önemlisi CBS harita özellikleri arasındaki "mekansal" ilişkileri analiz edebilmektedir.

CBS teknolojisinin hem mekansal hem de öznitelik verilerini işlemesi yeteneği, her türlü mekânsal veriye dayanan planlamada, karar vericiye etkili karar almayı kolaylaştırmaktadır. CBS, mekansal verileri analiz etmek için kağıt haritaların sınırlarının ötesine geçmektedir. Veri dokümantasyonu ve işlemede CBS'nin avantajları arasında şunlar yer almaktadır (Al-Ramadan & Aina 2004):

- Bilgilerin hızlı güncellenmesi
- Otomatik haritacılık
- Mekansal ve öznitelik verilerini birbirine bağlayarak bilgilerin entegrasyonu
- Mekansal analiz
- Farklı ölçeklerde harita üretimi ve
- Görselleştirme.

1 Dr.Öğr.Üy., Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay bilimleri Fakültesi, Uzay ve Uydü Mühendisliği



Tüm bu avantajlardan yararlanarak CBS’de mekânsal bileşenlerin aynı anda analiz edilerek optimum sonucun tespit edilmesi, özellikle ulaştırma gibi yatırıma yönelik faaliyetlerde ve planlamada kaynak tahsisi açısından önem arz etmektedir.

Ulaşımda CBS kullanımı yaygındır. Başlıca uygulama alanları arasında otoyol bakımı, trafik modellemesi, kaza analizi ve rota planlaması yer almaktadır. (Gupta ve ark., 2003.)

Bu çalışmada, dünyada ve ülkemizde ulaşım politikalarının oluşturulmasında, büyük katkı sağlayan, CBS yöntemi ile yapılan birtakım çalışmalar araştırılmış ve ülke ekonomilerine katkıları vurgulanmıştır.

Özellikle ülkemizde büyük masraf gerektiren karayolu bakım onarım maliyetleri için öncelikli bölgelerin tespitine dair CBS yönteminin gerekliliğine dikkat çekilmiştir.

2. CBS ve Ulaşım

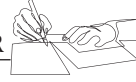
CBS ulaşım coğrafyasında en yenilikçi gelişmelerden biridir. 1970’lerdeki gelişiminden bu yana, CBS’nin coğrafi analiz ve hükümet ve özel sektördeki iş uygulamaları üzerinde büyük bir etkisi olmuştur. Çoğu ulaştırma ajansı CBS’nin sağladığı önemli yeniliklerle, verileri mekansal olarak katmanlarda yönetebilmeyi sağlayarak mekansal analizler yapmak için bu katmanları üst üste koyabilmektedir. Bu nedenle, bir yol katmanı, arazinin belirli bir mesafeden kullanımının tampon analizini mümkün kılan bir arazi kullanım katmanı ile entegre edilebilir. (Al-Rmadan. 2002)

CBS’nin yetenekleri son otuz yıl içinde gelişmiştir ve CBS artık veri yönetimi ve analizi için geniş bir araç yelpazesi sunmaktadır. 1990’ların başlarında, CBS’nin ulaşım kuruluşları arasında son derece başarılı olduğu kanıtlanmış ve ulaşım verilerinin doğrusal veri yönetimi için yazılımlara özel araçlar eklenmiştir. Bu kabiliyetler, transit acentelerin otobüs güzergâhlarını, duraklarını, zaman noktalarını ve diğer özellikleri dijital bir sokak merkez hattı dosyasına jeoreferans etmelerini ve tüm bu verileri senkronize halde tutmalarını sağlamaktadır. (Sutton ve ark. 2004).

Kalkınma planlarında ve hükümet programlarında büyük ağırlık verilen ve tüm dünyada çözüm bekleyen ulaştırma sorunlarına teknolojinin dahil edilmesi CBS yöntemiyle uygun bulunmaktadır.

2.1. Karayolu Ulaşım Yönetiminde CBS

Otoyol bakım yönetimi, CBS kullanarak daha iyi kullanılabilecek kritik bir konudur. Birçok gelişmiş ülkedeki yetkililer, esas olarak, düşen maliyetlerin ve artan kolaylığın faydaları nedeniyle otoyol ve nakliye yönetimi için CBS’yi aktif olarak kullanmaktadır. Karayollarında toplu taşıma ağının ya da kişisel araç tercih ağının optimizasyonu için CBS yöntemi ile görselleştirilen mekânsal veri, ha-



ritalarla bu alanda politika üreten karar vericilere destek sağlamaktadır.

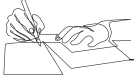
CBS kullanmanın en önemli amacı, haritalarla elde edilen görselleştirmedir. Gerçek zamanlı verilerin görselleştirilmesiyle, ulaşım planlamacıları, mevcut metotlardan daha verimli ve ekonomik olarak ele alınabilecek olası sorunları kolayca belirleyebilmektedirler. Detaylı CBS haritaları aracılığıyla, bu bilgiler karar vericilere ve kamuya kolayca iletelebilmektedir.

Örneğin, Esri'nin mobil CBS teknolojisi, nakliye bakım ve kontrol ekiplerinin uzak konumlardan bilgi toplarken ve güncellerken zamandan tasarruf etmelerini sağlar. GPS(Küresel Konum Belirleme) ve CBS özellikli cihazları kullanarak saha ekipleri sahadan gelen bilgileri doğru bir şekilde toplar ve ofiste bulunan şirket veri tabanlarını gerçek zamanlı olarak sorunsuz bir şekilde günceller. GPS ve Esri teknolojisi sayesinde yetkililer, kaynakları ve varlıkları gerçek zamanlı olarak izleyebilir ve anında dikkat gerektiren herhangi bir etkinliğe hızlı bir şekilde cevap verebilir. Bir harita üzerinde herhangi bir iş ya da muayene ekibinin gerektiği gibi doğru konuma yönlendirilmesiyle kaynakların etkili şekilde anında görerek yönetilebilmesi mükerrerliği azaltan önlemdir. Verimliliği artıran ve aynı zamanda önemli yakıt tasarrufları sağlayan planlama ve yönlendirme bakım ve kontrol ekiplerinin optimize edilmesiyle önemli verimlilik kazanımları elde edilebilmektedir. İş emri yönetim sistemi, yönlendirme ve programlama yazılımlarının entegrasyonu, modern otoyol yöneticilerinin, mobil iş gücünü daha verimli bir şekilde yönlendirmelerine ve kaynakların en verimli şekilde kullanılmalarına olanak tanımaktadır.(Esri)

3. CBS ve Ulaşım Alanında Örnek Çalışmalar

Karayolu ulaşımında en önemli sorunlardan biri olan trafik güvenliğinde için de gelişmiş ülkelerde akıllı ulaşım sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Akıllı ulaşım sistemi CBS yöntemiyle anılan bir sistemdir. Günümüzde akıllı ulaşım sistemleri konusunda A.B.D., Almanya, Britanya, Avustralya, Fransa, Güney Kore, İsveç, Japonya, Hollanda, Kanada ve Singapur'un öncü olduğunu, Brezilya, Çin, Tayland ve Tayvan'da ise önemli gelişimlerin ve yaygınlaşmanın kaydedildiği görülmektedir. ABD'de bu uygulamalar, 1960-1970 yılları arasında yol ve araç arası iletişimin sağlanması anlamında bir başlangıç kaydetmiş olup 1980'li yılların ortalarından itibaren kamu-özel sektör-akademi işbirliğiyle Mobility 2000 çalışmaları başlatılmıştır. Bu çerçevede 1994 yılında Ulaştırma Bakanlığı tarafından Amerika Akıllı Ulaştırma Topluluğu kurulmuştur. Ulaştırma Bakanlığı koordinasyonundaki akıllı ulaşım sistemleri programı çerçevesinde akıllı araçlara, akıllı altyapıya ve ikisinin koordinasyonu ile akıllı ulaşım gerçekleştirilmesine yoğunlaşmaktadır. ABD'deki akıllı ulaşım sistemleri bölgesel olarak düzey farklılıkları göstermekte ve henüz ulusal bir entegrasyondan bahsedilememektedir. (İlıcılı, 2017) Bu sistemde dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. CBS yöntemiyle ulaşım alanında yapılan bazı çalışmalar incelenmiştir.

CBS tabanlı bir sistemin yetenekleri kullanılarak, 1994/1995 Portland Hanehalkı Aktivitesi ve Seyahat Davranışı Anketi sonuçlarıyla, hanehalkı ve bireylerin günlük faaliyetlerini yürütmek için şehirleri nasıl kullandığını anlamak, kentsel seyahat azaltma stratejilerine yönelik politika yanıtını üzerine çıktılar elde edil-



miştir. Açıklayıcı bir örnek olay çalışması, bu türden keşif sistemlerinin daha ileri çalışmalar için zamanında aktivite / seyahat hipotezleri oluşturmaya yönelik yararlı araçlar olabileceğini göstermektedir.(Maoh ve Kanaroglou, 2009)

Hızlı transit süre ile otobüs ulaşımının, tercih edildiği bölgelerde, süreyi etkileyen otobüs duraklarının (bus-stop) sıklığına dikkat çeken Ghaderi ve arkadaşları, 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada, süre optimizasyonu için CBS yöntemini tercih etmiştir. Otobüs duraklarının seçilmesinde iki ölçütle analiz yapılmıştır. Birincisi otobüs durakları için konum uygunluğu, ikincisi yolcu talebidir. Bu araştırmanın temel amacı, sınırlı durak hizmetlerinin uygulanmasıyla seyahat süresini azaltmak için mekansal analiz tabanlı bir yöntem geliştirmektir.

2004 yılında Kanada'da yapılan bir çalışmada, CBS yöntemi ile, optimum yol güzergahında taşıt hacminin ortalama seyahat süresi ve hızları tespit edilmiştir. Taşıt-km değerleri ile, karayolu sera gaz salınımları farklı senaryolarla analiz edilmiştir. (Armstrong ve Khan, 2004)

Hindistan'da bir kent olan Madurai'de Madurai Yerel Planlama Bölgesi Kurumu (MLPA) tarafından yürütülen projede, mevcut yol ağları CBS ile incelenmiş, trafik yoğunluğu olan caddeler işaretlenmiş ve gelecekteki kapasite miktarına göre geliştirilecek yol ağları senaryoları oluşturulmuştur. Çalışmada, 2002 yılı ve 2007 yılındaki trafik hacmi, araç büyüme oranı raporundan alınan 1997 trafik hacmine göre tahmin edilmiştir.(Olba,2006)

Suudi Arabistan'ın başkenti Riyad'da yapılan bir çalışmada ise yoğun olarak kullanılan şehir içi yolların tespiti CBS analizleriyle belirlenmiş, talebin kapasitesini aşan sokaklar için başka çıkış noktaları belirlenmiş, otopark yasakları getirilerek alan genişletilmeye çalışılmıştır. Ayrıca üretim alanları ile seyahat alanları arasındaki ulaşım yollarıyla ilgili planlamaları da buffer analizleri ile incelenmiştir. Oluşturulan haritalarla, Gezi Dağılım Modelleri bölgesel seyahat özelliklerini incelemek için kullanılmıştır.(Olba,2006)

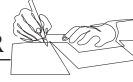
4. Bulgular ve Tartışma

CBS ve Ulaşım'da yapılan tüm çalışmaların ortak çıkışı doğru kararı kısa sürede alabilmeyi hedeflemektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çağın gerekliliği olan teknolojiyi optimum seviyede kullanma çabası, literatür araştırmasıyla mevcuttur. Gerek hükümetler gerekse özel kuruluşlar bu alanda pek çok projeyi yürütmektedirler. Bilgi teknolojisini mekan ve veri ile entegre etmek büyük resmi görmeyi sağlamaktadır. Bu durumda ulaşım kalkınma planlarında devamlı süreç iyileştirme, ulaşımın beraberinde getirdiği pekçok problemi bertaraf etmede yadsılamaz bir sonuç doğurmaktadır.

5. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Yıllar içinde, CBS teknolojisi, ulaşım endüstrisinde çeşitli amaçlar için uygulanmaktadır.

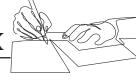
Hemen hemen her disiplinde kullanılan CBS, taşımacılıkta da mükemmelliğe ulaşmada yardımcı olabilir. Ulaşım planlamasında ve yönetiminde yer alan karmaşık sistemlerin planlanması, izlenmesi ve yönetilmesinde önemli ölçüde hız



kazandırır. CBS, kapasite artırımlarının belirlenmesinde, operasyonların iyileştirilmesinde ve ulaştırma sisteminin en iyi şekilde çalışmasına olanak sağlayarak, en stratejik yatırımların belirlenmesinde yardımcı olur. Yol altyapısının daha iyi yönetimi için ulaşımda CBS'yi nasıl kullanabileceğimizi anlayabilmek için mevcut çalışmaları takip etmek, ve projelere dahil olmak gereklidir. Bu çalışma, CBS'nin ulaştırma analizini ve planlamayı destekleme kapasitesini göstermeye çalışmıştır.

Kaynakça

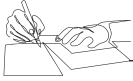
1. AL-RAMADN, B., Introduction to Geographic Information Systems Technology and Its Applications. Review 2002: College of Environmental Design, KFUPM, Dhahran, 2002, 113-120
2. AL-RAMADAN, B., and AINA. Y., GIS Applications in Optimum Site Selection for Tourist Sites: Texas State as a Case Study. ., 2004.
3. Armstrong J.M., Khan A.M., 2004. "Modelling urban transportation emissions:role of GIS, Computers, Environment and Urban Systems.28(4),pp.421-433.
4. Gelareh Ghaderi, Mark Brussel, Frans van den Bosch, Anna Grigolon "Reducing travel time in Bus Rapid Transit through limited stop services, a GIS based approach" Conference: Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM), 11-14 July 2017, At Adelaide, Australia.
5. Gupta, P., Jain, N., Sikdar, P.K., and Kumar, K., 2003 Geographical Information System in Transportation Planning. Map Asia Conference.
6. Hannah Maoh and Pavlos Kanaroglou "A tool for evaluating urban sustainability via integrated transportation and land use simulation models" Environnement Urbain Volume 3, 2009, p. 28-46.
7. Karayolu yönetimde CBS. (2006) Erişim Tarihi: 10.10.2018, Erişim Adresi www.esri.com.
8. Mustafa İlcalı, AB Ulaştırma Politikaları 15.05.2017, Erişim tarihi: 10.10.2018 Erişim adresi <http://www.namehaber.com/yazi/prof-dr-mustafa-ilicali/12799-ab-ulasirma-politikalari>
9. Maen A. Abu Olba "GIS Applications in Transportation Analysis and Planning" CRP 514: Introduction to GIS Term 051 – 12th Offer. , January 21, 2006
10. SUTTON, J.C., CEVLLOS, F., FARIA, D., KAMLER, B., MILLAN, L., PALMERLEE, T., SANCHEZ, T.W., SHIFFER, M., WATANABE, W., and WIGGINS, W., 2004, Geographic Information Systems Applications in Transit, Transportation Research Board, Washington, DC, TCRP Synthesis 55.

**CHAPTER
24****BUCK/BOOST KONVERTÖRÜN TEG'DE
UYGULANMASI****Abdullah Cem AĞAÇAYAK¹****1. GİRİŞ**

Enerjinin son derece önem kazandığı çağımızda bilhassa gelişmiş ülkeler enerji politikalarını 2010'uncu yıllarda enerji tüketimlerinin %10 unun yenilenebilir enerji kaynakları üzerinden sağlanması yönünde oluşturmaktadırlar. Dünyada ve ülkemizde en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynakları yanında çevre ve enerji sorunlarının günümüzde artmasıyla, son yıllarda dünya genelinde enerji üretimi ve çevreye etkileri konusunda yapılan çalışmalarda da artış görülmektedir. Bunun yanında ülkelerde sadece enerji üretiminde yeni daha çevreci kaynaklar bulmanın yeterli olmadığı fark edilmiştir. Enerji dönüşümü esnasında açığa çıkan ve çevreye yayılarak boşa giden enerjinin de tekrar sisteme katılması çevreci alternatif enerji kaynakları kadar öne çıkmaktadır. Enerji dönüşümlerinde en çok açığa çıkan enerji türü ise ısı enerjisidir.

Geriye baktığımızda enerji kaynaklarının aşırı derecede verimsiz şekilde tüketildiğini görürüz. Bunun önüne geçebilmek için birçok alanda enerji kullanımının gerekliliğini yeniden düşünmeliyiz. Bu çevreye yayılarak verimi düşüren ısı enerjisinden tekrar elektrik enerjisi üretme düşüncesi araştırmaların termoelektrik modüllerin generatör olarak kullanılması fikrini öne çıkarmaktadır[5]. Atık ısı enerjisiyle elektrik enerjisi üretiminin öne çıkmasıyla, termoelektrik modüllerin (TEM) uzun ömürlü, bakım gerektirmeyen, sessiz, hareketli parçasının olmaması, yapılarının basit olması gibi birçok avantaja sahip olmaları bu modüllerin yanı sıra yapılarında bulunan termoelektrik (TE) yarıiletkenler ve bunlara bağlı teknolojilerin önemine olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada; ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren termoelektrik jeneratör (TEG) tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla piyasada rahatlıkla bulunabilecek termoelektrik modül kullanılmıştır. Deneyisel çalışmalarda TEG'de kullanılan termal sıvı farklı sıcaklık, basınç ve debide çalıştırılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek en yüksek güç elde edilen deney çıkışına TEG'lerin yüzeylerindeki ısı farkıyla değişkenlik arz eden üretilen gerilimlerin kullanılabilir seviyede sabit tutmak için, Buck-Boost DC-DC Konvertör bağlanmıştır. Modüllere ve konvertör çıkışına ait akım, gerilim, güç, verim, sıcak yüzey ve soğuk yüzey sıcaklıkları ve bu yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı değerlerinin sürekli izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır[2,3]. Bu bildiri küçük güçlü TEG tasarım modelini açıklar. Çalışma başlangıcında nihai olarak daha büyük sistemlerin yapılması hedeflendiğinden prototip sistem imkanlar dahilinde daha büyük sistemlere benzetilerek tasarımlar geliştirilmeye çalışılmıştır.



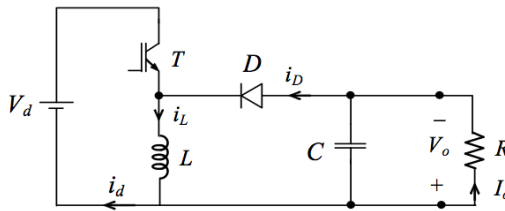
2. DC-DC KONVERTÖRLER

Sanayinin hızla gelişmesiyle kontrol edilebilen elektrik gücüne olan ihtiyaçta hızla artmıştır. Günümüzde güç elektroniğinde oldukça fazla uygulama alanına sahip olan DC-DC konvertörler, akademik çalışmalarda da yaygın olarak faydalanılmaktadır. Bu konvertörlere ait devre konfigürasyonları çok olması ve olabilecek bütün devre düzenlemelerinden bahsetmek mümkün olmadığından, sınırlı sayıdaki temel devreler göz önüne alınacaktır.

Bu projede TEC modüllerinin TEG olarak kullanılmasıyla üretilen akım ve gerilimi Buck-Boost DC-DC konvertörü ile kontrol ederek Akü Şarj ünitesinde kullanılması hedeflenmiştir. Bu konvertörden sıcaklığa göre ürettiği gerilim ve akım değeri değişen TEG'lerin çıkışına bağlanarak geniş aralık içinde ayarlanabilen, düzgün ve regüleli bir DC çıkış gerilimi ile yüksek bir verim elde etmek istenmektedir. DC gerilimini belirli bir aralıkta düşürebildikleri ve yükseltebildikleri için bu konvertörlere DC transformatörler olarak da kabul edilmektedirler. Bu konvertörler, Anahtarlama ve Rezonanslı DC-DC konvertörler olarak iki ana gruba ayrılır. Fakat DC-DC konvertörler denildiğinde, genellikle anahtarlama konvertörler anlaşılmaktadır.

2.1. Buck-Boost DC-DC Konvertörler

Buck-Boost konvertörler, DC güç kaynaklarının regülasyonun da, giriş voltajının ortak terminaline göre çıkışın negatif kutuplu olması istenildiğinde ve çıkış voltajının, giriş voltajından daha az veya daha fazla olabileceği yerlerde yaygın bir biçimde kullanılır. Bu tip bir konvertör, azaltan (Buck) ve artıran (Boost) tip iki konvertörün ard arda bağlanmasıyla elde edilebilir. Kararlı halde çıkış-giriş voltaj dönüşüm oranı; ard arda bağlanan konvertörlerin dönüşüm oranlarının çarpımıdır. Şekil 2.1'de güç anahtarının iletim süresi kısa tutulduğunda bobinin üzerinde tuttuğu enerji düşük olduğundan devre alçaltıcı olarak çalışacaktır anahtarların iletim süresi uzun tutulduğunda bobin daha çok yüklenecek ve kondansatör üzerindeki gerilim V_d giriş gerilimine eşitlenerek anahtarlama bobin üzerindeki sıçrama gerilimleri kondansatör V_c geriliminden daha yüksek değerlere ulaşacaktır. Böylece giriş gerilimi bir bant aralığında değişken darbeleri olsa dahi buck-boost DC-DC konvertör ile V_o çıkış gerilimi sabit darbesiz bir değerde olacaktır[5].



Şekil 2.1 Buck-Boost Konvertör Elektrik Devre Şeması.

Buck-boost devresini analiz etmek için IGBT (T) iletimde olduğu t_{on} ve IGBT kesimde olduğu t_{off} iki durumu göz önüne almak gerekir[20].

$$d = \frac{t_{on}}{t_{on} - t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (2.1)$$

Burada t_{on} ve t_{off} sırasıyla IGBT iletimde ve kesimde kalma süresidir. T_s anahtarlarlama periyodudur.

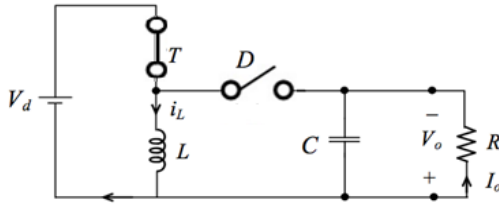
$$\text{İdeal koşullarda konvertörün çıkış gerilimi;} \quad V_o = \frac{d}{1-d} * V_g \quad (2.2)$$

olarak değişir. Burada d görev periyodu 0-1 aralığında değişir. Farklı D değerleri için farklı çıkış gerilim değerleri elde edilir. $D < 0.5$ ise buck (düşürücü), $d > 0.5$ olursa boost (yükseltici) olur Buck-Boost Konvertörün çıkışı biraz fazla dalgalı olduğundan akımda kesintilidir[20].

Gerilim İlişkisi

IGBT (T) iletim durumunda, diyot üzerindeki gerilim ters yönlü ve i_D sıfırdır. Aynı zamanda, kaynak gerilimi indüktör üzerinde sıkıştırılmış ve i_L zamana bağlı olarak artar. IGBT (T) kesim durumunda, kaynakla bağlantı kesilmiş ve diyot akımı indüktör akımına eşit olur. İndüktör akımının değişimleri için eşitlikler yazıldığında, giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki sonuç alınır.

IGBT Şekil 2.2 olduğu gibi iletimdeyken;



Şekil 2.2 Buck-Boost Konvertör Devresinde IGBT (T) İletimde Olma Durumu.

İndüktör akımı 2.3 eşitliklerinde olduğu gibi değişir:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_d}{L} \quad \text{ve} \quad I_{max} - I_{min} = \left(\frac{V_d}{L} \right) * d * T \quad (2.3)$$

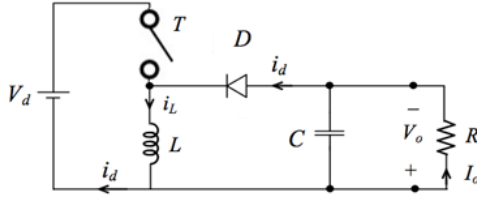
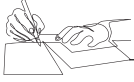
IGBT kesimde iken, benzer değişimler 2.4 eşitliklerinde olduğu gibidir.

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{V_C}{L} \quad \text{ve} \quad I_{min} - I_{max} = \left(-\frac{V_C}{L} \right) * (1 - d) * T \quad (2.4)$$

i_L deki bu iki değişim eşitlenerek, 2.5 eşitliği bulunur.

$$V_C = \left(\frac{d}{1-d} \right) * V_d \quad \text{ve} \quad \frac{dV_C}{dt} = -\frac{V_o}{R * C} \quad (2.5)$$

IGBT kesimde iken t_{off} Şekil 2.3'deki durum oluşacaktır. Bu durumda IGBT kesimdedir. İndüktanstan akan akım C,D ve yük üzerinden akar. İndüktansta depolanan enerji bu şekilde yüke aktarılır[20].



Şekil 2.3 Buck-Boost Konv. Dev. IGBT (T) Kesimde Olma Durumu.

Bu durumda;

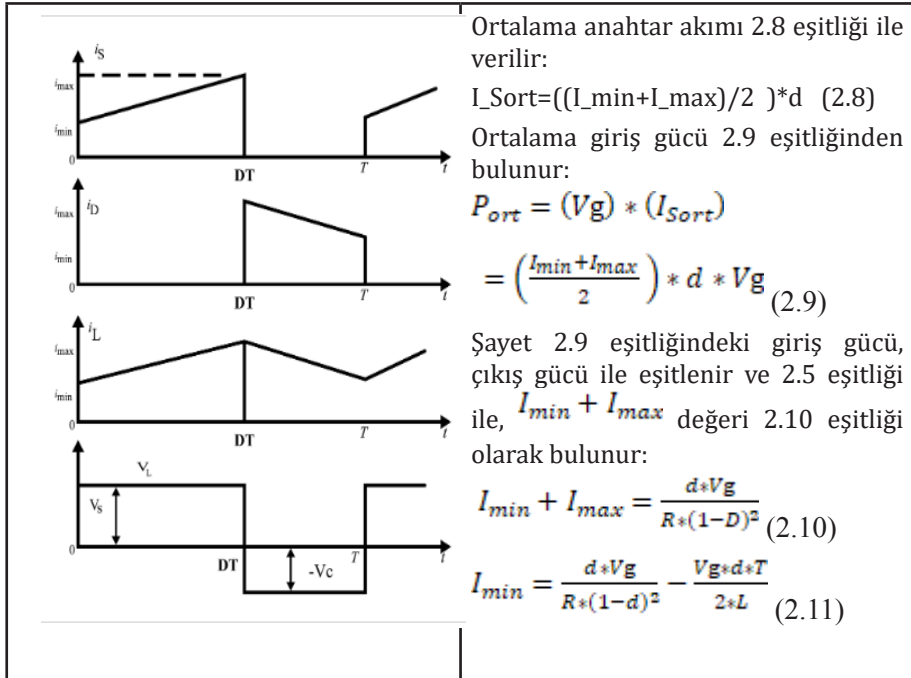
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_C}{L} \quad \text{ve} \quad \frac{dV_C}{dt} = -\frac{i_L}{C} - \frac{V_C}{R+C} \quad (2.6)$$

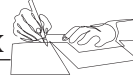
Denklem (2.1-2.6) arasındaki eşitlikler görev periyodu göz önüne alınarak birleştirilirse aşağıdaki eşitlikler elde edilir[19].

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_g}{L} * d + \frac{V_C}{L} * (1-d) \quad \text{ve} \quad \frac{dV_C}{dt} = -(1-d) * \frac{i_L}{C} - \frac{V_C}{R+C} \quad (2.7)$$

Devre Akımları

Bu konfigürasyonda mevcut olan akımlar Şekil 2.4'de gösterildiği gibidir. Burada da yine I_{min} ve I_{max} değerleri, değişik akımların bütün değerlerini bulmak için gereklidir





Şekil 2.4 Besleme akımı, diyot akımı, indüktör akımı ve indüktör gerilimi sırasıyla (buck-boost converter) [20]

$$I_{max} = \frac{d \cdot V_g}{R \cdot (1-d)^2} + \frac{V_g \cdot d \cdot T}{2 \cdot L} \quad (2.12)$$

Sürekli Akım Durumu

Sürekli indüktör akımı şartı, 2.11 eşitliği kullanılarak, $I_{min} = 0$ için gerekli minimum indüktans ile belirlenir[19]:

$$I_{min} = \frac{d \cdot V_g}{R \cdot (1-d)^2} - \frac{V_g \cdot d \cdot T}{2 \cdot L} = 0 \quad (2.13)$$

$$L = \left(\frac{R \cdot T}{2} \right) \cdot (1-d)^2 \quad (2.14)$$

Kapasitör Gerilimindeki Dalgacık

Kapasitör geriliminin (+ ve -) arasındaki tepe değeri, kapasitörün akım eğrisinin altındaki bir kısmın alanından bulunur. Şayet indüktans yeteri kadar büyükse, kapasitör akımı sadece IGBT iletimdeyken negatiftir. Bu aralık süresince, akım sabittir ve kapasitörden alınan yük, dikdörtgen alandan, 2.15 eşitliği ile verilir:

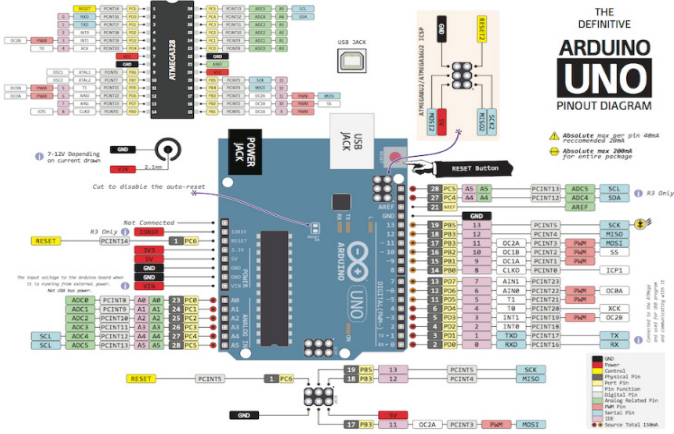
$$\Delta Q = (I_R) \cdot d \cdot T = \left(\frac{V_C}{R} \right) \cdot d \cdot T \quad (2.15)$$

$$\Delta V_C = \frac{\Delta Q}{C} = \left(\frac{V_C}{R} \right) \cdot d \cdot \left(\frac{d \cdot T}{C} \right) \quad (2.16)$$

Dönüştürücü tarafından üretilen voltaj değeri, PWM (Darbe Genişliği Modülasyonu) tarafından üretilen darbe genişliği tarafından kontrol edilir. PWM jeneratörü tarafından üretilen darbe genişliği bir mikro denetleyici tarafından kontrol edilir. Mikro kontrolör, darbe genişliğini ve üretilen frekansı kontrol etmek için programlanmıştır. Termoelektrik modüllerin yüzeyindeki sıcaklık farkıyla orantılı gerilim üretmektedir. Isı yoğunluğundan etkilenmeyen sabit bir voltaj çıkışı üretebilen buck-boost konvertörler için bir devre şeması ve bir denetleyici şeması yapılmıştır. Kullanılan kontrolör şeması PID (Oransal İntegral Türev)'dir. Bunula ilgili daha önce yapılmış çalışmalarda mevcuttur. Dönüştürücü devresi arduino mikro denetleyiciye bağlanır[7,8,12,20].

3. ARDUINO

Sistemde mikroişlemci olarak Arduino UNO R3 kullanılmıştır. Arduino UNO 2010 yılında insanların kullanımına sunulan ve ATmega328 mikrodenetleyicisini kullanan yazılım temelli elektronik prototipleme platformu olarak karşımıza çıkmaktadır. 7-12V arasında çalışan bu platform, 14 adet dijital giriş/çıkış pinlerine sahiptir. Bunlardan 6 tanesini de PWM için kullanabilirsiniz(İnt.Kyn.1).



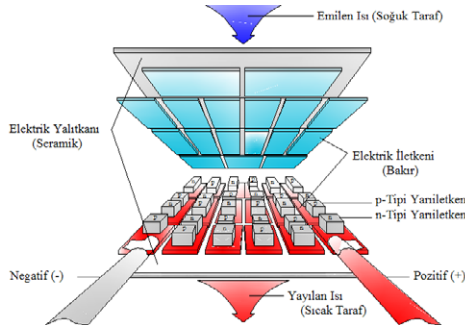
Şekil 3.1 Arduino UNO R3 Giriş-Çıkış Diyagramı (İnt.Kyn.2).

Bugün çok farklı amaçlarla kullanılabilen bir giriş çıkış kartı olan Arduinolar da, Processing dilinin bir uygulamasını içermektedir. İtalyan elektronik mühendisleri tarafından geliştirilen bu kartlar, açık kaynak kodludur. Arduino UNO ile çeşitli sensörlerden fiziksel bilgi alabilir, bu bilgiler ile çeşitli deneyler yapabilirsiniz. Ayrıca motor, LED, buzzer gibi uyarıcılardan bir çıktı elde edebilirsiniz.

Arduino kartı, bilgisayar üzerinde çalışan yazılımlara da bağlamak mümkündür. Bu karttaki mikroişlemci, Wiring tabanlı Arduino programlama diliyle yazılmakta ve bu program Processing tabanlı Arduino yazılım geliştirme ortamı kullanılarak karta yüklenmektedir.

4. TERMoeLEKTRİK GENERATÖRLER

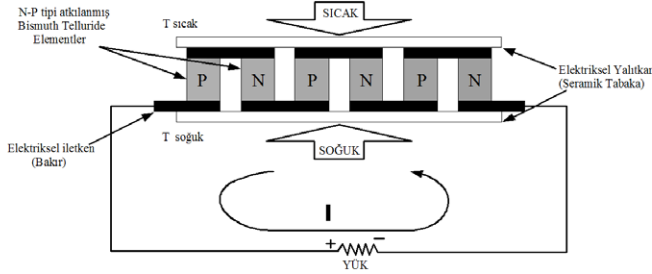
Termoelektrik modüller seramik plakalardan oluşan yüzeyleri arasına P tipi ve N tipi yarı iletkenlerin elektriksel olarak seri, termal olarak paralel bağlanmasıyla bir araya getirilmesiyle oluşturulan bir yapıdır. Şekil 4.1'de görüleceği üzere P tipi ve N tipi yarıiletkenlerin bakır plakalarla bir araya getirilerek elektriksel olarak birbirlerine seri bağlantı oluşturulmuş ve dışarıya kablo ile iki uç çıkarılmıştır.



Şekil 4.1 Termoelektrik modül kesit görünüşü [6].

Bu iki uca dışarıdan DC gerilim uygulandığında P ve N tipi yarı iletkenlerdeki elektron hareketi modülün seramik yüzeylerindeki ısıyı bir yüzeyden diğer yüzeye taşımaktadır. Böylece termoelektrik modülün seramik yüzeyinden biri ısınırken diğeri soğumaktadır. Bu olaya peltier etkisi denir.

Bu modül uçlarına DC gerilim vermek yerine bir yük bağlanır ve seramik iki yüzeyine ısı farkı uygulanırsa P ve N tipi yarı iletken malzemelerden peltier etkisinin tersi yönünde elektron akışı oluşacaktır. Bu elektron akışı akım meydana getirerek bu sefer dışarı çıkan iki uçtan DC gerilim alınmaktadır. Bu duruma termoelektrik modülün generatör olarak çalıştırılması denmektedir. Termoelektrik Generatörler (TEG) olarak adlandırılırlar. Şekil 4.2’de bu durum görülmektedir.

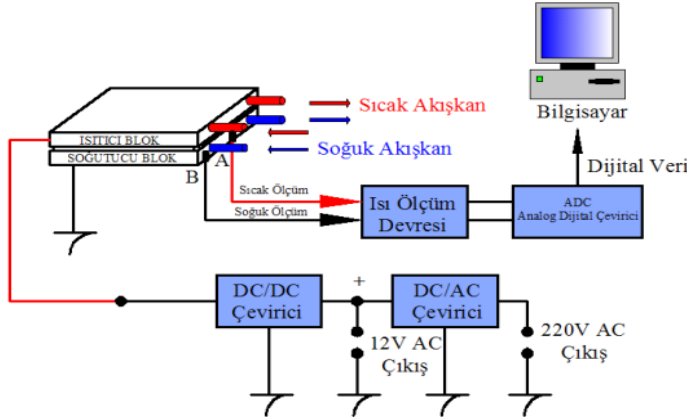
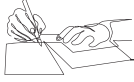


Şekil 4.2 Generatör modunda termoelektrik mod.[6].

Sonuç olarak termoelektrik modüller bir yüzeyi ısı kaynağıyla ısıtılarak, diğer yüzeyi ortam sıcaklığında veya herhangi bir yöntemle daha soğuk tutulması sayesinde gerilim kaynağı olarak kullanılabilirler.

TEG modüllerinin verimleri fazla olmadığı için genel amaçlar için kullanılan elektrik generatörü olarak kullanılamazlar. Ancak kalorimetre uygulamalarında, DC batarya-akü şarj durumlarında, veya sisteme dahil edilen güç elektroniği elemanlarıyla sistemin enerjisine katkı sağlayacak şekilde TEG modülleri kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak ısı kayıplarının fazla olduğu uzay araçlarının enerji ihtiyaçlarında, motorlu araçların veya petrol ürünleri tüketen motorların ısı kayıpları fazla olan egzoz manifoldu üzerinden geri kazanımla araçlarda ve motorlarda %10 kadar yakıtta tasarruf sağlanabilmekte, sıcak su/yağ telemetri sistemleri, fırın/kazan/kalorifer’lerin zayıf akım gerektiren kontrol elektroniği kartlarında, jeotermal ve güneş enerjisi gibi ısı kayıplarının çok olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Hatta vücudumuzun yaydığı ısıyı kullanarak kol saatimizin çalışması veya kışın vücudumuzu ısıtan elbiseler üzerinde de çalışılmaktadır[1,25,26]

Yukarıda da bahsedildiği gibi TEG’lerde termal suların bir yerden bir yere taşınması sırasında çevresinde oluşturdukları ısı kayıpları kullanarak da ısı doğrudan elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Bu işlem için ısı iletimi iyi olan içinde sıcak veya soğuk suyun dolaşabileceği ızgara şeklinde iki metal bakır türü kalıpların arasına ısıнын iyi iletilmesi için termal macunla beraber termoelektrik modüller yerleştirilerek kalıplardan birinden sıcak su, diğer kalıptan soğuk su dolaştırılarak ön tasarım 4.3’de görülmektedir.



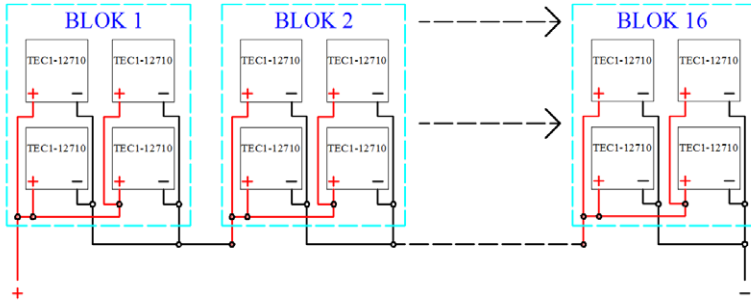
Şekil 4.3 Termoelektrik generatör donanımı (İnt.Kyn.2).

Termoelektrik modüllerin, generatör olarak kullanılmasında dikkat edilmesi gereken konular vardır. Örneğin modülün maksimum sıcaklıkta bozulmadan kalması gerekir. Standart termoelektrik modüllerin çoğu 138 °C'de eriyen Bi/Sb lehimleme ile imal edilirken bazı termoelektrik modüllerde, 200 °C- 300 °C'ye sıcaklığa dayanabilmesi için tasarlanmış daha yüksek lehimleme teknikleri kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda lehim birleşimleri termoelektrik modülün içine hızla yayılarak modülün verimini düşürür. Normalde soğutma için tasarlanmış olan termoelektrik modüller nominal sıcaklıklarda en yüksek termoelektrik verimli maddelerden yapılmasıyla güç üretimi için çok uygundur.

Termoelektrik modüllerden maksimum verim elde etmek için termoelektrik modül iç direnci (R_i) ile yükün direnci birbirine eşit olmalıdır. Termoelektrik modüller farklı sıcaklık aralıklarında kullanıldıkları ve iki yüzey arasındaki sıcaklık farkını sürekli sabit tutulamadığı için parametreleri ile ürettikleri gerilimleri sürekli değişim göstermektedir. Ayrıca kalıplardan sıcak soğuk ısı akışı neticesinde, termoelektrik modül uçlarında milivolt seviyesinde oldukça küçük değişken bir potansiyel fark oluşmaktadır. Bu değişken ve düşük voltajı kullanılabilir seviyeye getirmek ancak dışarıdan güç elektroniği devreleri yani dönüştürücüler kullanarak mümkün olmaktadır. Bunun için yükten önce buck-boost DC-DC konvertör kullanarak çıkış gerilimi değişken olan termoelektrik modüllerin çıkış gerilimlerini belirli bir seviyede sabit DC gerilime yükseltebilir veya alçaltabilir. Termoelektrik modülden maksimum güç çekebilmek için ara devre olarak bağlanan buck-boost DC-DC konvertör maksimum güç çekme özelliğinde olmalıdır.

5. MATERYAL METOD

Bu çalışmada, TEC1-12710 termoelektrik modül Şekil 5.1'deki elektrik bağlantısı ile 64'er adet modül, her bir blok arasında 4 adet TEC olacak şekilde yerleştirilmiştir[10]. Bu bağlantı türü Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 64 adet TEC1-12710 aynı bloktaki termoelektrik modüllerin birbirine paralel ve iki bloktaki termoelektrik modül grupları birbirine seri bağlantı görüntüsü.

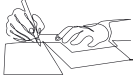
Bloklar deney düzeneğine bağlanarak sistem gerçekleştirilmiştir. Kullanılan termoelektrik modülün özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 TEC1-12710 peltier modülün perf. Özellikleri[10].

TEC1-12710 Performans Özellikleri		
Sıcak Tarf. Sıcak. (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watt)	85	96
ΔT_{max} (°C)	66	75
Imax (Amper)	10,5	10,5
Vmax (Volt)	15,2	17,4
Modul Direnci (Ohm)	1,08	1,24

Sisteme dışarıdan şebeke suyu basılması için bağlantılar yapılmıştır. Kapalı sisteme basılan şebeke suyunun ısıtılması ve soğutulması için gerekli bağlantılar yapılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Sistem üzerinde dolaşan sıcak ve soğuk suyun sıcaklığı, su plakalara girmeden önce ve plakalardan çıktıktan sonra ayrı ayrı ölçülmüştür. Buradaki ölçümlerde sıcak suyun girişiyle çıkışı arasında 1-2 °C fark olduğu görülmüş sistemin plakalar üzerindeki ısı kaybı oldukça az olmuştur. Termoelektrik modüllerin sıcaklık ölçümleri termokupullarla, çıkış akım ve gerilimleri ölçü aletlerine bağlanarak dakikada bir veriler kayıt edilmiştir. Sıcak ve soğuk suyun sistemde devir daim etmesi için motorlar, birlikte çalıştırılarak veriler kayda alınmaya başlanmıştır.

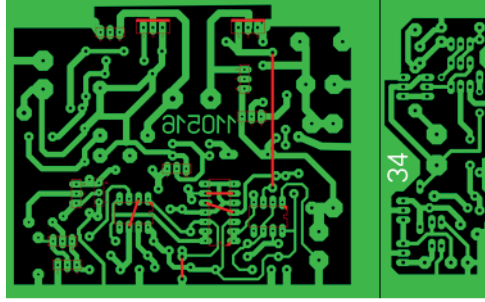
Deneyler bakır malzemeden oluşan bloklarla 3 farklı basınç (1/2.5/3.5 bar) değerinde ve 3 farklı su debisi (32.32/49.65/64.22 m³/sn) değerlerinde olmak üzere deneyler yapılmıştır. Çok değişkenli deneyler yapıldığı için sıcaklık farkları ve plakaların sıcaklığa ulaşma zamanları değişkenlik göstermiştir. Ledlerden oluşturulan aydınlatma yükü tüm deneylerde 1,6 ile 1,7 V arasında akım çekip parlaklık vermeye başlamıştır. Gerilim ve akım değerleri sıcaklık farkı arttıkça orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Yapılan deneylerin süresi 30 ile 70 dk arasında değişmektedir. Kullanılan termoelektrik modülleri teknik yapıları da göz önünde bulundurularak yüzey sıcaklık farkı 85-90 °C olacak şekilde deneyler sonlandırılmıştır. Deneylerde (T_H) modül sıcak yüzey, (T_C) modül soğuk yüzey,



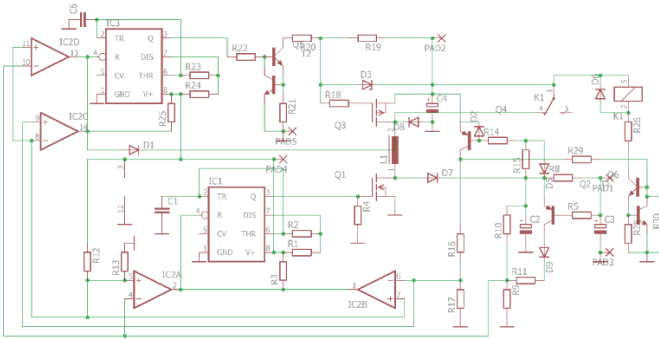
jeotermal enerjiden elde edilen gerilim (V) ve akım (A) değerleri ölçülmüştür. Üretilen akım ve gerilim değerleri yüzeylerdeki sıcaklık farkı değişkenliğinden dolayı kullanılabilir seviyelerde tutulmasına gerek duyulmuştur. En yüksek gerilim, akım ve verim aldığımız 2.5 bar su basıncı 49.65 m³/s su debisi şartlarını taşıyan TEC1-12710 kodlu termoelektrik modül kullandığımız deneyde bu değişken akım ve gerilim değerlerin kullanılabilir seviyede tutmak için sistemin çıkışı ile yük arasına buck-boost DC-DC konvertör konumlandırılmıştır.

6. Buck-Boost DC-DC Konvertör Uygulaması

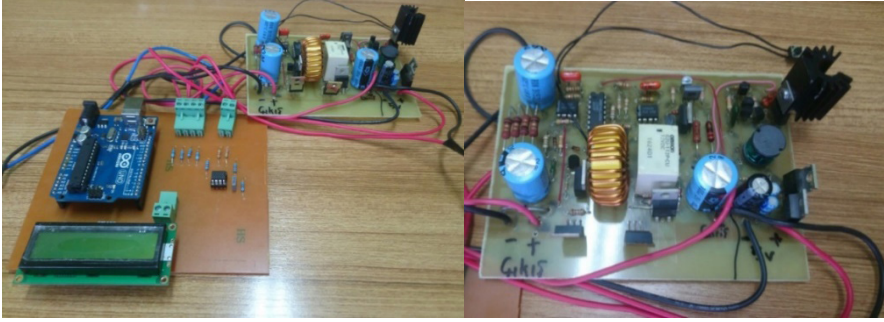
TEG'lerin çıkışlarındaki gerilim, akım ve güç değerleri yüzeylerindeki sıcaklık farkıyla değişkenlik göstermektedir. TEG'lerle üretilen bu enerjiyi depolamak için akü şarj etme sistemleri gibi sistemlerde sürekli sabit DC gerilim ihtiyacı duyulmaktadır. Bu yüzden en iyi verim alınan deneyin çıkışına 150 W gücünde Buck-Boost DC-DC Konvertör bağlayarak çıkışından sabit gerilim elde edilmiştir. Kullanılan Buck-Boost DC-DC Konvertör tasarım şekilleri Şekil 6.1-6.2 ve 6.3'te görülmektedir[4].



Şekil 6.1 Buck-Boost DC-DC Konvertör PCB Görüntüsü.



Şekil 6.2 Buck-Boost DC-DC Konvertör Şematik Görüntüsü.

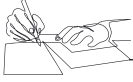


Şekil 6.3 Buck-Boost DC-DC Konvertör PCB üzerine montajlanmış görüntüsü ve konvertör ardiona ile bağlantı görüntüsü.

Buck-Boost DC-DC konvertör Şekil 6.3’de görüldüğü gibi Arduino UNO R3 ile kontrol edilmiştir. TEC1-12710 kodlu termoelektrik modüller yüksek gerilim ve akım sağlamış hem de buck-boost konvertörün çektiği darbeli akıma cevap verebilmiştir. TCE1-12710 kodlu modül deneyinden alınan veriler Tablo 2’ de görülmektedir.

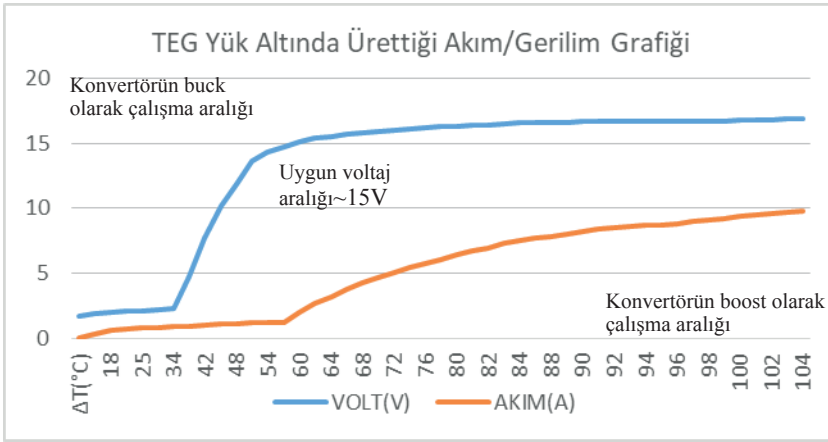
Tablo 2 Deney ölçüm değerleri.

TEC 10	BLK	YÜKLÜ			BUCK-BOOST KONVERTÖR			
VERİ	ΔT (°C)	VOLT (V)	AKIM (A)	GÜÇ (W)	VOLT (V)	AKIM (A)	GÜÇ (W)	VERİM (% η)
1	4	1,7	0,011	0,019	14,817	0,001	0,015	0,820
2	10	1,89	0,33	0,624	15,000	0,035	0,520	0,833
3	18	1,96	0,629	1,233	15,218	0,069	1,044	0,847
4	21	2,05	0,718	1,472	14,745	0,086	1,273	0,865
5	25	2,11	0,773	1,631	14,803	0,099	1,460	0,895
6	30	2,23	0,835	1,862	15,129	0,119	1,797	0,965
7	34	2,32	0,904	2,097	14,933	0,129	1,932	0,921
8	37	4,72	0,955	4,508	15,000	0,281	4,215	0,935
9	42	7,68	1,011	7,764	15,052	0,487	7,337	0,945
10	45	10,16	1,065	10,820	15,102	0,667	10,074	0,931
11	48	11,84	1,118	13,237	15,153	0,722	10,947	0,827
12	51	13,6	1,161	15,790	15,231	0,866	13,184	0,835
13	54	14,32	1,203	17,227	14,786	0,964	14,247	0,827
14	56	14,72	1,218	17,929	14,801	1,015	15,024	0,838
15	60	15,12	1,98	29,938	15,202	1,656	25,178	0,841
16	62	15,36	2,724	41,841	15,000	2,379	35,690	0,853
17	64	15,52	3,204	49,726	14,987	2,877	43,113	0,867
18	65	15,68	3,774	59,176	14,964	3,682	55,093	0,931
19	68	15,84	4,308	68,239	15,113	4,375	66,123	0,969
20	70	15,92	4,638	73,837	15,191	4,778	72,582	0,983
21	72	16	5,01	80,160	15,220	4,909	74,709	0,932
22	73	16,08	5,424	87,218	15,009	5,468	82,072	0,941
23	76	16,16	5,73	92,597	15,032	5,710	85,837	0,927
24	78	16,24	6,066	98,512	15,000	5,812	87,183	0,885
25	80	16,32	6,39	104,285	15,054	6,061	91,249	0,875
26	81	16,4	6,708	110,011	14,765	6,288	92,849	0,844
27	82	16,4	6,966	114,242	14,804	6,698	99,162	0,868
28	83	16,48	7,278	119,941	14,707	7,242	106,508	0,888



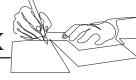
29	84	16,56	7,542	124,896	14,809	7,380	109,284	0,875
30	85	16,56	7,758	128,472	14,973	8,160	122,177	0,951
31	88	16,56	7,806	129,267	15,000	8,411	126,165	0,976
32	89	16,56	8,028	132,944	15,001	7,462	111,939	0,842
33	90	16,64	8,244	137,180	15,034	7,893	118,661	0,865
34	91	16,64	8,394	139,676	15,073	7,960	119,982	0,859
35	92	16,64	8,52	141,773	15,174	8,063	122,350	0,863
36	93	16,72	8,61	143,959	15,163	7,890	119,630	0,831
37	94	16,72	8,7	145,464	15,093	7,990	120,590	0,829
38	95	16,72	8,736	146,066	14,907	8,495	126,639	0,867
39	96	16,72	8,814	147,370	14,945	8,175	122,170	0,829
40	97	16,72	8,976	150,079	14,808	9,111	134,921	0,899
41	98	16,72	9,102	152,185	15,007	9,827	147,468	0,969
42	99	16,72	9,234	154,392	15,000	9,418	141,269	0,915
43	100	16,8	9,354	157,147	15,101	8,679	131,061	0,834
44	101	16,8	9,522	159,970	15,145	9,137	138,374	0,865
45	102	16,8	9,594	161,179	14,832	10,161	150,703	0,935
46	103	16,88	9,678	163,365	14,923	9,984	148,989	0,912
47	104	16,88	9,738	164,377	15,000	9,874	148,104	0,901

Tablo 2'den de anlaşılabacağı üzere 64 adet termoelektrik modül yük altında 1,7 V gerilimde sisteme akım sağlamaya başlamıştır. Termoelektrik modüllerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı (ΔT) oda sıcaklığında 4 °C ile başlamış ve 104 °C sıcaklığa kadar yükseltilmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda termoelektrik modüllerin yapısındaki P ve N yarıiletken malzemeleri elektriksel olarak birbirlerine seri bağlayan lehimleri bozacağından deney sonlandırılmıştır. Deney süresince termoelektrik generatör olarak termoelektrik modüllerin ürettikleri akım, gerilim ve güç grafiği Şekil 6.5'te görülmektedir.



Şekil 6.5 TEG'ün Yük Altında Ürettiği Akım (A) - Gerilim (V) Grafiği.

Grafikte görüleceği üzere TEG'lerin ürettikleri akım, gerilim dolayısıyla güç yüzeylerindeki sıcaklık farkına göre değişmektedir. Yüzeydeki bu sıcaklık farkı uygulama yerlerinde deneydeki kadar değişkenlik göstermese de ufak değişkenlikler arz edecektir. Ayrıca grafikten de görüldüğü gibi TEG'lerin ürettikleri gerilimin büyük bir kısmın istediğimiz gerilim aralığının dışında olması nedeniyle kullanamayacağımız anlamına gelmektedir. Bu yüzden TEG'ün ürettiği gerilim



ve akımı kullanabilir hale getirmek yani sabitleştirmek için çıkışına yükten önce 150 W'lık bir buck boost konvertör bağlanmıştır. Böylece hem TEG'lerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ΔT düşük olduğunda üretilen düşük gerilimde veya yüksek olduğunda üretilen yüksek gerilim ve akımı düşürerek çıkış gerilimini sabit bir değerde tutulmuştur.

TEG'lerin ve Buck/Boost Konvertörün çıkış güçleri birbirine çok yakın seyretmiştir. Konvertörün verim ortalaması yaklaşık %89 çıkmıştır. TEG'lerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ΔT arttıkça çıkış güçlerinde veriminde daha sabit ve kararlı hale geldiği gözlemlenmektedir.

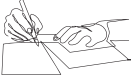
7. CONCLUSIONS

Bu çalışmada 3 farklı su basıncı ve debisinde TEC1-12710 kodlu termoelektrik modül, termoelektrik generatör olarak çalıştırılmıştır. Bu modülden en yüksek güç 2,5 bar basınçta ve 49,54 m³/s debide elde edilmiştir. Bu deney şartlarında 64 adet TEC1-12710 TEM'ler Şekil 6.1'de olduğu gibi elektriksel bağlanmıştır. Bu modüller bağlantı grubunda yüzeylerindeki sıcaklık farkı en fazla $\Delta T=104$ °C olana kadar deney devam edilmiş bu sıcaklık farkında 16,88 V gerilim, 9,738A akım ve 164,377 W güç elde edilmiştir. Şekil 6.5'de gerilim akım grafikleri görülmektedir. Bir çok yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi TEG'lerin çıkışlarından da sabit ve düzenli gerilim elde edilememektedir. TEG'ler yüzeylerindeki sıcaklık farkındaki değişime göre çıkışlarındaki gerilim, akım ve güçte de değişkenlikler olmaktadır. Üretilen gerilimi bir sisteme uyumlu hale getirmek ve daha geniş TEG'lerin yüzey sıcaklık farkı aralığında kullanılabilir tutmak için TEG'lerin çıkışına Buck-Boost DC-DC Konvertör bağlanmıştır. TEG'lerin ürettiği güç göz önünde bulundurularak çıkışlarına bağlanan Buck-Boost DC-DC Konvertör 150 W gücünde 15 V çıkış gerilimine sahip olarak tasarlanmıştır. Konvertör çıkışı yaklaşık olarak 15 V çıkış gerilimini %1,5 dalgalanmayla %89 verimle çalışmıştır.

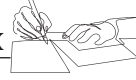
Bu çalışmada TEG'lerin Buck-Boost DC-DC Konvertör ile yüksek verimde çalıştığı görülmüştür. Daha büyük sistemlerde TEG'lerin sisteme kullanılabilirliği Back To Back Converter bağlantıları ile şebekeye bağlanabileceği, akü şarj etme gibi birçok sistemde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

REFERANSLAR

1. AĞAÇAYAK, A.C., TERZİOĞLU, H., (2018). "Analysis of Thermoelectric Cooler Used to Produce Electrical Energy in terms of Efficiency," *Acad. Studies in Eng., Gece Publishing*, pp. 111-120.
2. AĞAÇAYAK, A.C., TERZİOĞLU, H., NEŞELİ, S., YALÇIN G., (2018). "Small Power Wind Turbine Design," *Acad. Studies in Eng., Gece Publishing*, pp. 121-130.
3. AĞAÇAYAK, A.C., TERZİOĞLU, H., ÇİMEN, H., NEŞELİ, S., YALÇIN G., (2018). "The Effects of Speed and Flow Rate on Power in Thermoelectric Generators," *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, Vol.6, pp.65-71.
4. AĞAÇAYAK, A.C. (2017). "Jeotermal Enerji Kullanılarak Termoelektrik Jeneratörlerle Elektrik Enerjisi Üretimine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi", (Yük.Lis.Tezi), *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bil. Enst.*
5. AĞAÇAYAK, A.C., ÇİMEN, H., NEŞELİ, S., YALÇIN G., (2017). "Termoelektrik Jeneratör ile Elektrik Üretimi", *In UMYOS 6th International Vocational School Symp.*, Vol:2,



- pp.541-49. Saray Bosna.
6. AĞAÇAYAK, A.C., NEŞELİ, S., YALÇIN G., TERZİOĞLU, H., (2017). "The Impact of Different Electric Connection Types in Thermoelectric Generator Modules on Power", *International Journal of Engineering Research & Science (IJOER)*, Vol.3, pp.2395-6992.
 7. COŞKUN, İ., TERZİOĞLU, H., (2011). "Hız Performans Eğrisi Kullanılarak PID Parametrelerinin Gerçek Zamanda Belirlenmesi", *Selçuk-Teknik Dergisi*, ISSN 1302-6178, Cilt 10, Sayı:2.
 8. COŞKUN, İ., TERZİOĞLU, H., (2009). "Gerçek Zamanda Değişken Parametrelili PID Hız Kontrolü", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye.
 9. ÇALIŞKAN, A., ÜNAL, S., ORHAN, A., (2017). "Buck-Boost Dönüştürücü Tasarımı, Modellenmesi ve Kontrolü", *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*. 29 (2), 265-268.
 10. ÇİMEN, H., AĞAÇAYAK, A. C., NEŞELİ, S., YALÇIN G., (2017). "Comparison of Two Different Peltiers Running as Thermoelectric Generator at Different Temperatures", *In 2017 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*. pp. 1-6. IEEE. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8477309>
 11. DEMİRTAŞ, M., SEFA, İ., IRMAK, E., ÇOLAK, İ., (2008). "Güneş Enerjili Sistemler için Mikrodüzenleyici Tabanlı DA/DA Yükselten Dönüştürücü", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 23, No 3, 719-728.
 12. DINNIYAH, F.S., WAHAB, W., ALIF, M., (2017). "Simulation of Buck-Boost Converter for Solar Panel Using PID Control", *International Conference Alternative and Renewable Energy Quest, AREQ 2017*, Spain
 13. HE, W., ZHANG, G., ZHANG, X., JI, J., LI, G., ZHAO, X., (2015). "Recent development and application of thermoelectric generator and cooler", *Applied energy*, Vol.143, pp.1-25.
 14. KIM, T.Y., NEGASH, A., CHO, G., (2017a). "Direct contact thermoelectric generator (DCTEG): A concept for removing the contact resistance between thermoelectric modules and heat source", *Energy Conversion and Management*, Vol.142, pp.20-27.
 15. KIM, T.Y., NEGASH, A.A., CHO, G., (2017b). "Experimental study of energy utilization effectiveness of thermoelectric generator on diesel engine", *Energy*, Vol.128, pp.531-39.
 16. LA ROCCA, V., MORALE, M., PERI, G., SCACCIANOCE, G., (2017). "A solar pond for feeding a thermoelectric generator or an organic Rankine cycle system", *Paper presented at the 2nd AIGE/IIETA 2017 International Conference and 11th AIGE 2017 National Conference on "Energy Conv., Manag., Rec., Saving, Storage and Renew. Syst."*, Vol.11.
 17. NESARAJAH, M., FREY, G., (2016). "Thermoelectric power generation: Peltier element versus thermoelectric generator", *Paper presented at the Industrial Electronics Society, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE*, Vol.42, pp.4252-57.
 18. NEŞELİ, S., TERZİOĞLU, H., AĞAÇAYAK, A.C., YALÇIN, G., (2017). "Jeotermal Enerji Kullanılarak Termoelektrik Jeneratör ile Elektrik Enerjisi Üretimi ve Düşük Güçlü DC-DC Buck/Boost Konvertör Uygulaması", Yüksek Öğretim Kurumları Tarafından Destekli Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Selçuk University.
 19. GÜRDAL, O., (2000). "Güç Elektroniği" *Nobel Yayın Dağ.*, Vol.2 Ankara
 20. SHEN, R., GOU, X., XU, H., QIU, K., (2017). "Dynamic performance analysis of a cascaded thermoelectric generator", *Applied energy*, Vol.203, pp.808-15.
 21. SIOUANE, S., JOVANOVI, S., POURE, P., (2017). "Equivalent Electrical Circuits of Thermoelectric Generators under Different Operating Conditions", *In Proceedings of the 2016 IEEE 16th International Conf. on Env. and Elec. Eng. (EEEIC 2016)*, Cilt 10, No 386, Florence, Italy.



22. SUN, D., SHEN, L., YAO, Y., CHEN, H., JIN, S., HE, H., (2017). "The real-time study of solar thermoelectric generator", *Applied Thermal Engineering*, Vol.119, pp.347-59.
23. SUNGUR, C., TERZİOĞLU, H., ANADOLU, M.A., (2008). "PV Beslemeli PIC Kontrollü Trafik Sinyalizasyonu", *IV. Ege Enerji Sempozyumu*, pp. 239-246, İZMİR.
24. TERZİOĞLU, H., SERVİ, S., AĞAÇAYAK, A.C., (2018). "Termoelektrik Jeneratörler ve Matematiksel Modellemesine Genel Bir Bakış", *Müh. Alanında Akad. Çalışmalar, Gece Kitaplığı*, pp. 133-148.
25. TERZİOĞLU, H., NEŞELİ, S., YALÇIN G., (2018). "Termoelektrik Jeneratörler ve Kullanım Alanlarına Genel Bir Bakış", *Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar, Gece Kitaplığı*, pp. 149-160.
26. TERZİOĞLU, H., KAZAN, F.A., SUNGUR, C.,(2015). "The Irrigation System Fed from Biaxial PV Panels", *2nd International Conference on Information Science and Control Engineering*, pp. 981-987.
27. TERZİOĞLU, H., KAZAN, F.A.,SELEK, M., (2015). "The Designing of an Educational Solar Panel That Can Be Controlled in Different Ways", *2nd Inter. Conf. on Infor. Science and Control Engineering*, pp. 961-964.
28. TERZİOĞLU, H., KAZAN, F.A., ARSLAN, M., (2015). "A New Approach to The Installation of Solar Panels", *2nd International Conf. on Information Science and Control Engineering*, pp. 573-577.

İnternet Kaynakları

1. https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Uno_Rev3-schematic.pdf, adresinden 12 Ağustos 2018 tarihinde alınmıştır.
2. <https://www.muhendisbilim.com/1446-kart-tanitimi-arduino-uno>, adresinden 15 Ağustos 2018 tarihinde alınmıştır.