



# Mühendislik

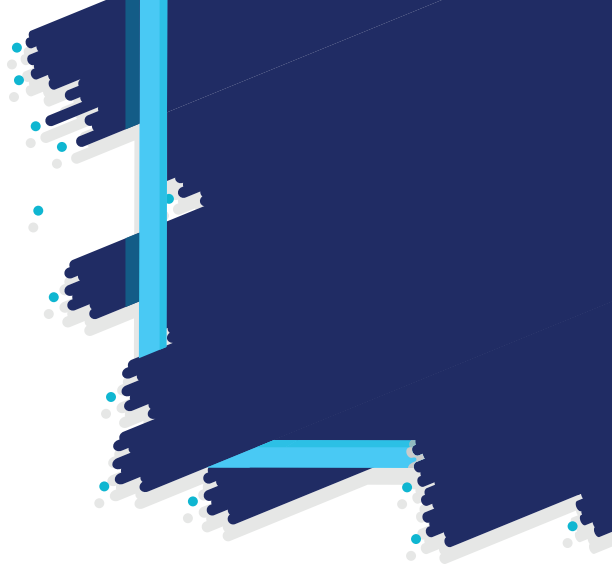
## Alanında Yeni Ufuklar

2019

**Editör**

**Mahmut TURHAN**

(MEDEL MÜHENDİSLİK VE ELEKTRONİK SAN.TİC.A.Ş.)



# Mühendislik

## Alanında Yeni Ufuklar

**İmtiyaz Sahibi / Publisher •** Gece Kitaplığı  
**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief •** Doç. Dr. Atilla ATİK  
**Editör / Editor •** Mahmut Turhan (Medel Mühendislik ve Elektronik San.Tic.A.Ş.)  
**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design •** Didem S. KORKUT  
**Sosyal Medya / Social Media •** Arzu Betül ÇUHACIOĞLU

**Birinci Basım / First Edition •** ©EKİM 2019

**ISBN •** 978-605-80229-1-1

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin  
almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Akademi Gece Kitaplığının yan kuruluşudur.

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 Kitaplığı / Gece Publishing**

**ABD Adres/ USA Address:** 387 Park Avenue South, 5th Floor,  
New York, 10016, USA

**Telefon / Phone:** +1 347 355 10 70

**Türkiye Adres / Turkey Address:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak  
Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR

**Telefon / Phone:** +90 312 384 80 40  
+90 555 888 24 26

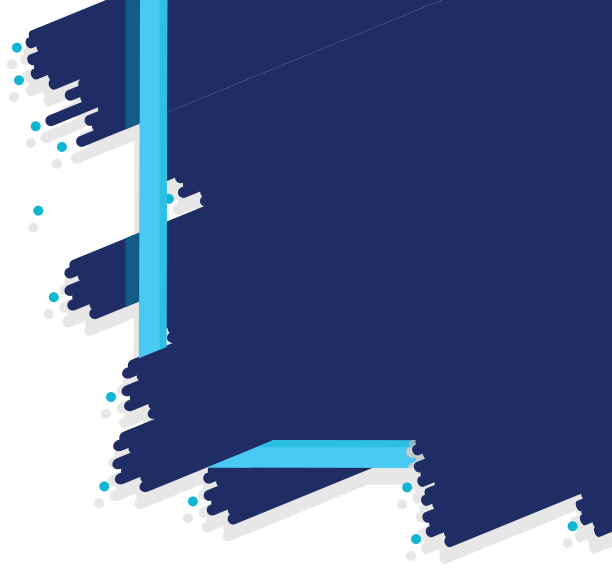
**web:** www.gecekitapligi.com

**e-mail:** geceakademi@gmail.com



**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

**Sertifika / Certificate No:29377**



# Mühendislik

## Alanında Yeni Ufuklar





# **İÇİNDEKİLER**

## **BÖLÜM 1**

### **DRONE AĞLARI İÇİN TOPOLOJİ İNCELEMESİ**

Abdullah Cem AĞAÇAYAK, Cemil SUNGUR..... 7

## **BÖLÜM 2**

### **KUMAŞ KALINLIĞININ KUMAŞLARIN ISIL KONFOR ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Arzu YAVAŞCAOĞLU.....37

## **BÖLÜM 3**

### **REKOMBİNANT MOLEKÜLLERİN ÜRETİMİNDE MİKROALGLERİN KULLANIMI: MİKROALGLERDE GENETİK MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI**

Arzu YILDIRIM .....65

## **BÖLÜM 4**

### **İNSANSIZ KARA ARAÇLARININ HAREKET SİSTEMLERİNİN TASARIMINA SİSTEMATİK BİR YAKLAŞIM**

Cüneyd DEMİR, Mustafa BOZDEMİR ..... 83

## **BÖLÜM 5**

### **İNSANSIZ KARA ARAÇLARINDA TEKERLEK VE PALET TAHRİK SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

Cüneyd DEMİR, Mustafa BOZDEMİR ..... 121

## **BÖLÜM 6**

### **TOKAT-NİKSAR KARAYOLU'NDA GEOMETRİK VE ÇEVRESEL ÖZELLİKLERİN SÜRÜCÜ HIZ SEÇİMİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ferit YAKAR ..... 151

## **BÖLÜM 7**

### **DRONE'LARA GENEL BİR BAKIŞ**

Gökhan YALÇIN , Süleyman NEŞELİ .....179

## **BÖLÜM 8**

### **ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ İLE AŞINMAYA DİRENÇLİ YÜZEYLERİN OLUŞTURULMASI**

Hülya DURMUŞ, Canser GÜL, Nilay ÇÖMEZ ....209

## **BÖLÜM 9**

### **20 MW GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULUMUNUN TÜRKİYE'NİN İÇANADOLU BÖLGESİ İÇİN TEKNİK ANALİZİ**

İbrahim GÜNEŞ .....235

## **BÖLÜM 10**

### **FE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İLAVELİ RİJİT POLİÜRETAN İLE KAPLANMIŞ AHŞAP KOMPOZİTLERİN YÜZEY SERTLİĞİNİN VE YANMA DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI VE ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA MALZEMESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

İbrahim KIRBAŞ, Ali İhsan KAYA, Ahmet ÇİFCİ ... 253

## **BÖLÜM 11**

### **BİYOBOZUNUR POLİMERLER VE ÖZELLİKLERİ; NIŞASTA, POLİ(GLİKOLİK ASİT), POLİ(LAKTİK ASİT) VE POLİ(ε KAPROLAKTON)**

Mithat ÇELEBİ, İdris KARAGÖZ .....271

## **BÖLÜM 12**

### **ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLAR (DERLEME)**

Mustafa KIRMAN .....291

### **BÖLÜM 13**

#### **DERİN ÖĞRENME ALGORİTMALARININ ZİRAAT ALANINDAKİ UYGULAMALARI**

Remzi GÜRFİDAN .....303

### **BÖLÜM 14**

#### **KOLESTERİK SIVI KRİSTAL FİMLER VE UYGULAMALARI**

Rıdvan KARAPINAR .....329

### **BÖLÜM 15**

#### **NEMATİK SIVI KRİSTAL BİR FİLMDE FREEDERİCKSZ GEÇİŞİ**

Rıdvan KARAPINAR .....345

### **BÖLÜM 16**

#### **BOR VE TÜREVLERİNİN DOĞAL VE SENTETİK TEKSTİL ÜRÜNLERİNDEKİ GÜNCEL YANMAZLIK UYGULAMALARI**

Safiye Meriç AÇIKEL .....361

### **BÖLÜM 17**

#### **DOĞAL Afet YÖNETİMİNDE ZARAR AZALTMA FAALİYETLERİNİN TÜRKİYE ÖZELİNDE İRDELENMESİ**

Uğur SERENCAM .....377

### **BÖLÜM 18**

#### **TÜRKİYE’NİN ÇEŞİTLİ ŞEHİRLERİNDE YAPILAN ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ VE ÖLÇÜM SONUÇLARININ İNCELENİP DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ali Recai ÇELİK.....397



# DRONE AĞLARI İÇİN TOPOLOJİ İNCELEMESİ

Abdullah Cem AĞAÇAYAK, Cemil SUNGUR







## DRONE AĞLARI İÇİN TOPOLOJİ İNCELEMESİ

**Abdullah Cem AĞAÇAYAK, Cemil SUNGUR**

### GİRİŞ

Uçak teknolojisinin gelişmesiyle özellikle 20. Yüzyıldan sonra hem şekilsel hem de kullanım alanları çeşitli olan hava araçları geliştirilmiştir. Bu teknolojik gelişmeler hava araçlarının düşük maliyet ve esnek yapıda üretilmelerini sağladı. Böylece hava araçlarının sadece askeri alanda değil aynı zamanda sivil hayattaki kullanımlarının da artmasına neden olmuştur. Özellikle 20. yüzyılda “insansız hava aracı” İHA’larla insanoğlu tanışmasıyla havacılık tarihi çok hızlı gelişmeler yaşamıştır. İHA’lar isminden de anlaşılacağı üzere içinde pilot olmadan uzaktan kontrolle uçan ve görüntü, lokasyon bilgilerini iletebilen hava araçlarıdır. Günümüzde askeri alanda kullanılan ve mühimmat taşıyanları SİHA olarak adlandırılmaktadır.

İnsansı veya insansız hava araçlarına veya gemilere hem yapısal hem de kullanımda çok çeşide sahip olmaları nedeniyle hepsine genel adlandırma olarak Drone ismi kullanılmaktadır. Drone kullanımının yaygınlaşmasıyla araştırmacılar ve sanayi toplulukları tarafından çeşitli alanlarda araştırma ilgisi artmaktadır.

Bazı uygulamalarda, drone’ların sınırlı uçuş süresi, taşıma yükü ve iletişim menzili nedeniyle karmaşık görevleri tamamlamak için tek bir İHA ile mümkün olmamaktadır. Bu durumda, bir drone ağı (kümesi) oluşturularak birden fazla drone birlikte hareket etmesi sağlanmalıdır. Ayrıca, arama kurtarma gibi zamana duyarlı uygulamalarda, ağ bağlantılı İHA’ların kullanılması görev başarısı şansını önemli ölçüde artırır.



Birden fazla İHA, iletişim ağı ile organize edildiklerinde karmaşık görevleri etkin bir şekilde yerine getirebilir. İHA sayısı arttıkça hızlı iletişim ve hareket zorlaşacağından gruplar oluşturarak hiyerarşik bir şekilde kümeleme denilen bir hiyerarşik yönlendirme mutlaka zorunludur. Bu yönlendirme ile verimlilik artırılırken, uçtan uca görevi yerine getirme ve veri aktarımında gecikme engellenirken drone'ların tükettiği enerjide verimlilik artırılarak temel sistem performansı seviyesini sağlanır. Kümeleme yanı sıra çoklu drone kontrolünde, İHA ağları için topoloji tabanlı yönlendirme ve konum tabanlı yönlendirme yöntemleri de kullanılmaktadır.

Uygulama alanlarının yaygınlaşması ve bazı uygulamalardaki zorlu görevler için birden fazla drone ihtiyacından dolayı havada çok sayıda drone'un kullanılmasına neden olmaktadır. Bu durum drone'ların çarpışmadan ve haberleşme ve kontrol esnasında herhangi bir parazitlik olmamasını sağlamak gibi bazı zorluklar getirmektedir.

Drone'ların kullanımında kullanıcıyı kısıtlayan bir diğer konu uçuş süresinde ve ağırlık taşımada en önemli etken olan enerji verimliliğidir. Bu sorun birkaç yönden ele alınması gerekir. Bir yönden enerji depolanan pillerdeki teknolojinin geliştirilerek daha hafif ve daha yüksek enerji depolayan bataryaların geliştirilmesi iken bir başka yönden uçuş esnasında da dış çevre etkisiyle bu pillerin depoladığı enerjiye takviye sağlanmasıdır. Bir drone için dış çevre etkenleride yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından hiçbiri sürekliliğini sağlayamaması ve enerji verimlerindeki düşüklük hibrit olarak kullanmalarının daha etkili olduğunu göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında çeşitli gelişmeler hakkında literatür araştırmacılar tarafından sürekli yapılmakta ve geliştirilmektedir(Ağaçayak et al., 2018; Ağaçayak et al., 2017).

Böcek kadar küçük kargo uçakları kadar büyük drone çeşitleri mevcuttur. Ayrıca uçuş irtifaları ve görev yerine getirme alanları olarak da dört ana gruba ayırabileceğimiz drone'lar vardır. Yaklaşık 1000 km yarıçaplı bölgede eylemi gerçekleştirebilecek orta menzilli İHA'lar bir grup oluşturur. Yaklaşık 350 km yarıçaplı bölgede eylemi gerçekleştirebilecek kısa menzilli İHA'lar bir diğer grubu oluşturur. Yaklaşık 3 km yarıçaplı bölgede eylemi gerçekleştirebilecek daha kısa menzilli İHA'lar bir diğer grubu oluştururken son olarak da mini dorne olarak 1 kg. altındaki ağırlıkta oldukça düşük hızlı ve saatlik uçuş süresine sahip düşük menzilli olanlar gruplandırılabilir. Çoklu İHA'lar arası işbirliği için kullanılan ağ yapısı, İHA ağı, uçan geçici bir ağ (FANET) veya insansız geçici ağ olarak adlandırılmaktadır. İHA ağını iki şekilde gerçekleştirilebilir. Birincisinde tek bir İHA ağına İHA bir yer istasyonuna veya uyduya bağlanır. İkincisi çoklu İHA ağına sürü İHA'lar birbirine varsa eğer birden fazla grup kümeleme hiyerarşik olarak birbirine ve ne yakın bir yer istasyonuna veya bir uyduya bağlanır.

İHA'ların veri alış verişine bakacak olursak,

- havadan yere (A2G); Drone'dan baz istasyonu veya uyduya görüntüler aktarılır,
- yerden havaya (G2A); Baz istasyonu veya uydudan Drone'a kontrol sinyalleri iletilir,
- havadan havaya (A2A); Drone kümelemeler arası veya bir kümelemeden bir drone'a veri kaybı olmaması için veriler aktarılarak baz istasyonuna veya uyduya taşınır,
- yerden yere (G2G); istasyonlar arası iletişim sağlamada

İHA bağlantıları İHA'ların oldukça dinamik hareketlere değişken hızlara sahip olmalarından dolayı sıklıkla kesilebilir ve küçük zaman aralıklarıyla verilerin kesin

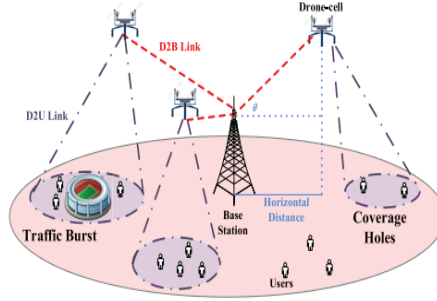
olarak yerleştirilmesine ihtiyaç duyar. GPS bir saniyelik aralıklarla konum bilgisi sağlar ve İHA ağ protokolleri için yeterli olmayabilir. Bu yüzden bazı araştırmacılar, yer temelli referans teknikleri kullanarak farklı GPS veya yardımcı GPS'i önermektedirler. Alınan sinyal gücü göstergesi (RSSI) destekli küme bazlı yönlendirme protokolü de desteklemektedir. Bu yüzden İHA düğümleri arasında iletim için, bir yönlendirme protokolü mutlaka gereklidir.

Bu çalışmada, çoklu İHA'larda İHA ağları için yönlendirme protokolleri hakkında kapsamlı ve son teknoloji literatür gözden geçirilmiştir. Bu gözden geçirme araştırmacı ve mühendislerin gereksinimlerine göre en uygun yönlendirme protokolünü seçmelerine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

## **DRONE AĞLARI TOPOLOJİSİ İLE İLGİLİ BİLİMSEL ÇALIŞMALAR**

Bu çalışma literatürde drone topolojisi ile ilgili insansız uçan makineler hakkında yapılan çalışmalarla ilgili ilgilidir. Bu tematik odak tartışmamıza yön verirken, bu alandaki mevcut literatür hakkında genel bir bakış sunulmaktadır. Bu, çoklu drone tiplerindeki uygulamalara ve bu uygulamalardaki yöntemleri göz önünde tutarak tartışılmasını sağlayacaktır. Son olarak şimdiye kadar yapılan çalışmalardan yola çıkarak, gelecekteki akademik çalışmalara yön vereceğimizi düşünüyoruz.

Farklı hizmet gereksinimlerine sahip kullanıcılar ve cihazlar için her yerde bağlantı imkânı sağlamak, 5G ağlarındaki en önemli zorluklardan biri olarak kabul edilmektedir. Shi ve arkadaşları drone hücrelerinin baz istasyonları ve kullanıcılar arasında veri iletimi için güçlendirildiği bir drone destekli radyo erişim ağları mimarisi önermektedir.

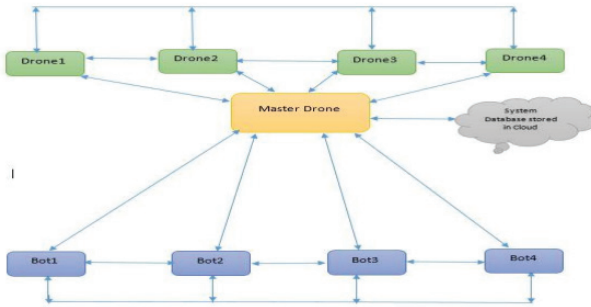


Şekil 1: Drone destekli radyo erişim ağları(Shi et al., 2018).

Sorunu çözmek için, parçacık sürüşü optimizasyonu (PSO) algoritması, düşük hesaplama maliyeti ve drone hücrelerinin mekânsal dağıtımına uygun olan benzersiz özellikleri için geliştirmişlerdir. Bu algoritma ile farklı drone hücre sayıları ve ilgili çalışmalardan elde edilen temel PSO tabanlı algoritmanın sakıncalarını önler. Ortaya çıkan D2U ve D2B pathloss modellerinden yararlanarak drone hücresi kullanıcı kapsamını ve uygulanabilir çalışma bölgesi teorik olarak analiz yapılmıştır(Shi et al., 2018). Uçan robotlar kullanarak hareketli hedefleri örtmek ve takip etmek için düşük karmaşıklıkta hedef izleme sorunu ele alınan çalışmalar yapılmıştır. Bu sorunu, kamera kümesini ve uyumunu her bir küme için ayrı ayrı bir kapak seti kapsama yöntemi ile tahmin ederken hedefler kümeleyerek ele alınır. Önerilen algoritmaların verimliliğini arttırmak için hedef mobilitenin kısmi bilgisinden yararlanılır. Hareketlilik kalıpları hakkındaki kısmi bilgiden yararlanırken hareketli hedefleri ele alınmakta ve bulanık bir C kümeleme ve örtü seti (FCCC) algoritmasına dayalı üç algoritma önerilmektedir.

1. öngörülü bulanık algoritma (PFA),
2. öngörülü artımlı bulanık algoritma (PIFA)
3. yerel artımlı bulanık algoritmadır (LIFA)

Bu algoritmalar, hedef kapsamı artırmayı ve mobil kameraların kat edilen mesafesini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu tür bir amaç, önerilen algoritmaların gerçek zamanlı kapsamda uygulanmasını kolaylaştırmak ve mobil hedeflerin senaryolarını izlemek, uzun mesafeli mesafelerden kaçınmak ve eksik anlık hedef konumlara yol açabilecek zaman alıcı İHA navigasyonunu önlemek amacıyla belirlenir. Böylelikle test uygulamaları pratik olarak ve uygun maliyetli bir şekilde ve kolaylıkla entegre edilebilir(Khan, Heurtefeux, Mohamed, Harras, & Hassan, 2017). Sürü robotik, çok sayıda basit fiziksel robot içeren çok sayıda robot sisteminin koordinasyonunda yeni bir yaklaşımdır. Literatürde önerilen sistem, birkaç uygun maliyetli yer robotu (bot) ve İHA'dan oluşmaktadır.

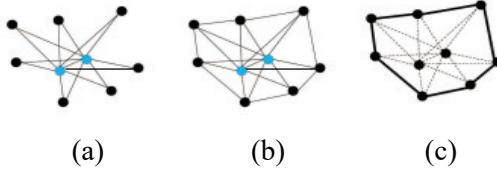


Şekil 2: Önerilen Model Sistemi(Saha et al., 2018).

Bu tasarımın temel bir bileşeni, sürekli geri bildirim sistemi oluşturan küme üyeleri arasındaki iletişimidir. Burada sürü zekâsı, bir dizi iş için amaçlanan bir drone ve bot sistemi tasarlamak için kullanılmıştır. Afet sırasında, kurtarma operasyonları için insan yaşamları tehlikeye atılmaktadır. Ancak önerilen program, toplam kurtarma çalışmasını zemin seviyesinde otomatik botlarla ve gökyüzü seviyesinden drone kullanarak kontrol ederek bu riski ortadan kaldırmaktadır. Robotlar kablosuz teknolojiyle birbirine bağlanır ve geliştirilecek sürüler gibi zekâyı kullanır. Engellerden kaçınmanın yolunu keşfedebilirler

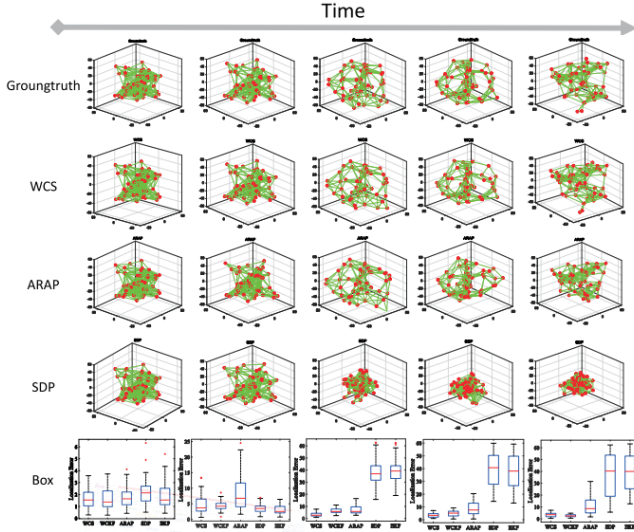
ve çevrelerinden kendilerine bağlı sensörleriyle ortamdaki bilgi toplamak için birlikte hareket edebilirler. Bu bilgi buluta yüklenir ve özel bir işin yürütülmesi için gerekli komutları vermeden önce, talep üzerine Master Drone tarafından alınır. Benzer şekilde, gökteki drone'lar grubu, GPS'li İHA'lardan ve farklı açılardan fotoğraf çekme veya sıkışmış canlı vücut aramak gibi farklı işlevlere sahip diğer sensörlerden oluşur. Bilgi toplayabilir ve verileri bulutta da yükleyebilecek olan Master Drone'a gönderebilirler. Bu nedenle önerilen program hem yerdeki hem de gökteki sürüler sistemini koordine edebilir (Saha et al., 2018). Bir yük uçağı tarafından bir yük taşımak, uçuş sırasında da değiştirilebilen farklı konfigürasyonlarda yapılabilir. Uygulanan konfigürasyonu planlarken birçok husus vardır; en önemlisi, drone sayısının yükün ağırlığına uyması gerekir. Enerji, uçuş menzili üzerindeki etkisinden dolayı kritik bir faktördür. Literatürde sunulan önceki konfigürasyonlar arasında enerji verimliliğini azaltan taşıma kuvvetleri bulunmaktadır. Bunu önlemek için, bir dizi drone'u temel alan yenilikçi bir taşıma yapılandırması öneriyoruz. Her drone, aşağıdaki drone'a bir kablo ile, en düşük drone ise yüke bağlanır. Genel bir dizgenin (n uçağı ve bir yük) durumunun uzamsal hareketini tanımlayan hareket denklemlerini geliştirdikten sonra, kontrol konsepti tartışılmıştır (Arogeti & Yehezkel, 2018). İnsansız hava aracı sürüsü (İHA), topolojisi sıkça değişen dinamik bir 3-D ağ oluşturabilir. Şebekenin geometrik oluşumunu takip etmek kritik bir sorundur. Kablosuz iletişim teknolojilerinin (örneğin, ultra geniş bant) son avantajı, yüzlerce metreye kadar olan İHA arası mesafe ölçümlerini santimetre düzeyinde hatalarla mümkün kılar. Bu, ağ topolojisini, oluşum izleme problemi olarak bilinen İHA'lar arasındaki kısmen ölçülen mesafe matrisi ile izlemeyi mümkün kılar. Ancak ölçülen mesafeler genellikle seyrek ve gürültülüdür ve İHA ağının topolojisi sürekli değişmektedir. Bunlar, oluşum izlemenin oldukça zorlayıcı olmasına neden olur. Mevcut

yöntemler genellikle ölçüm sesleri ve ağ sparitesi için kırılgandır. Bu makalede, İHA sürüsü tarafından oluşturulan dinamik ve seyrek grafikler için 3D oluşum izleme problemini araştırmıştır. Grafiklerin düzensizlik yapısını araştırılarak seyrek ağlarda oluşum izleme zorluklarını gidermek için yeni ağırlıklı bileşen dikişi (WCS) ve WCS tabanlı Kalman filtresi (WCKF) yöntemleri sunulmaktadır. Seyreklikle başa çıkmanın anahtarı iyi bağlanmış bileşenleri bulmak ve kullanmaktır. Seyrek grafikte güvenilir global rijit alt yazılarını (LMCC) bulan bir 2-4 yıldız algılama ve birleştirme yöntemi geliştirilmiştir.



**Şekil 3:** (a) 2 yıldızlı grafiğin gösterimi; (b) 4 bağlantılı, 2 yıldızlı grafik; (c) Merkezi çıkardıktan sonra 2 bağlantılı (Wang, Sun, Rao, & Li, 2018).

Bağlantı özelliklerini temel alarak grafiğin güvenilirliğini göstermek için yeni bir artık oran ölçümü önerilmiştir. Kapsamlı simülasyonlar, önerilen WCS ve WCKF yöntemlerinin, seyrek ağlarda en son teknolojiye sahip ARAP, SDP ve EKF yöntemlerinin dışında performans gösterdiğini göstermiştir.



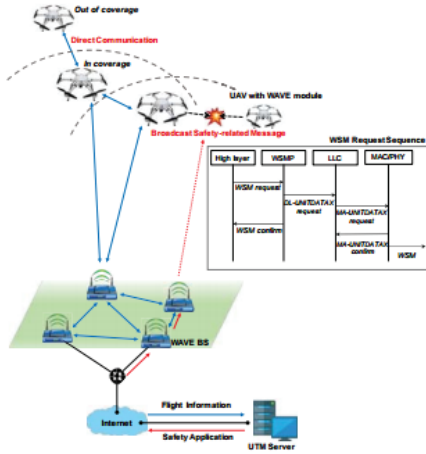
Şekil 4: Farklı algoritmaların takip sonuçlarının karşılaştırılması(Wang, Sun, Rao, & Li, 2018).

Dinamik İHA ağlarındaki bağlantı uygunluklarını ve niteliklerini öngörmek için doğru ağ oluşumu önemli olduğundan, doğru oluşum izlemesi İHA ağ iletişimde önemli bir rol oynayabilir. Geriye kalan sorun, ağın daha az serttiği zaman, sadece birkaç yedek bileşen olduğu için 3B oluşumunun nasıl izleneceğidir. Seyrek grafikteki kenarları tahmin etmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. İHA tutum bilgisi eklemek, EKF tahmin adımında oluşum izlemeye yardımcı olacaktır. Pratik İHA kümesinde zaman senkronizasyonu ve sistem uygulaması da gelecekteki önemli yönlerdendir(Wang, Sun, Rao, & Li, 2018).

Çok sayıda İHA, hava sahasında aynı anda uçtuğunda, İHA'lar arasında doğrudan insan kazalarına veya ekonomik kayıplara yol açması muhtemel çarpışma problemleri ortaya çıkabilir. Buna göre, UAS(İHA) Trafik Yönetimi (UTM) sistemleri için artan ihtiyaçlar var. Bu yazıda, standartlara dayalı WAVE'nin özellikleri kısaca gözden geçi-



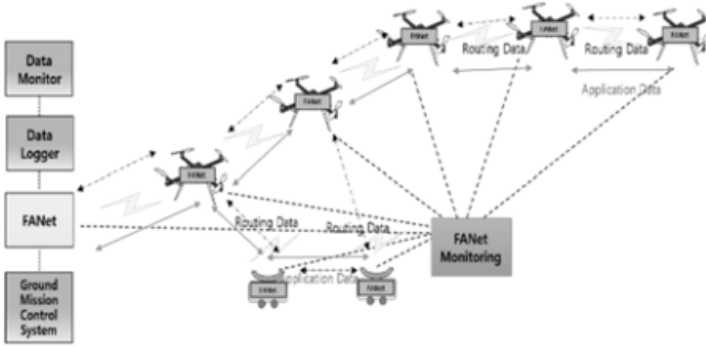
ılmaktadır ve özelliklerinin FANET tabanlı UTM sistemi için nasıl uygulanabilir olduğu analiz edilmektedir.



Şekil 5: WAVE protokolü ile UTM sistemi(Park, Choi, Kim, & Won, 2018).

WAVE'nin özelliklerine dayanarak, emniyetle ilgili mesaj alışverişi için İHA'lar ve yer istasyonu arasında doğrudan iletişimi destekleyen yeni bir UTM sistemi tasarlanmaktadır. Gelecekteki araştırmalar sonuçta geniş kapsama alanı sağlamak ve bağlantı kararlılığını artırmak için bir hücresel ağıla birlikte kullanılabilecek bir UTM sistemi tasarlamayı amaçlayacaktır(Park, Choi, Kim, & Won, 2018). Drone olarak da adlandırılan insansız Hava Araçları (İHA), arama kurtarma görevleri, altyapı denetimleri ve dağıtım sistemi gibi çeşitli uygulama senaryolarında büyük ilgi görüyor. Ek olarak, Yer Kontrol İstasyonundan (GCS) gelen bir görevi gerçekleştirmek için bir grup drone'un ağına bağlandığı ve koordine edildiği araştırmacılara ilgi artmaktadır. Bu hizmet senaryolarını desteklemek için, GCS ve İHA'lar arasındaki iletişim yolu korunmalı ve İHA'lar kendi aralarında bir mesaj alışverişi yapabilmelidir. Bununla birlikte, GCS ile İHA'lar arasındaki iletişim aralığı, alıcı-verici gücüne ve hassasiyetine bağlı

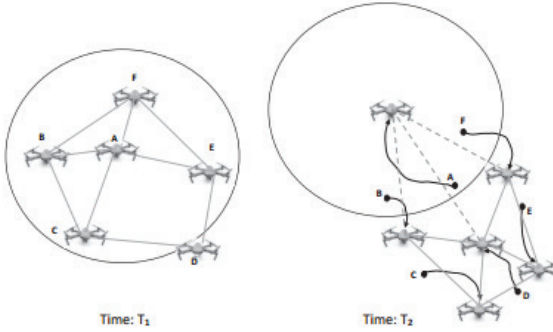
olarak sınırlandırılmıştır. Bu nedenle, çok aşamalı bir ağ yaklaşımı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tür çok hatlı ağlarda, yönlendirme protokolü önemli bir rol oynar. Buna göre, Multihop ağ iletişimi ile Flying Ad hoc Networks (FANET'ler) için coğrafi konum tabanlı bir yönlendirme protokolü sunulmuştur.



**Şekil 6:** Çoklu İHA sistemine coğrafi konum yönlendirme uygulamak(-Choi, Hussen, Park, & Kim, 2018).

Protokol dinamik multihop ağ topolojisine sağlam ve esnek bir performans göstermektedir. İHA'lardan oluşan bir ağ topolojisi, görevleri yürütürken İHA'ların yüksek hızı nedeniyle oldukça dinamiktir. Bu durumda, protokol komşuların coğrafi konum bilgilerini kullanır ve ardından hedefe giden rota yolunu ancak komşu bilgileri göz önüne alarak bulur, bu da FANET'lerdeki dinamik ağ topolojisine düşük maliyet ve sağlamlık getirir. Protokol komşuların coğrafi konum bilgilerini kullanır ve sonra sadece varış yerinin rota yolunu bulur, bu da sadece komşu bilgileri dikkate alarak, FANET'lerdeki dinamik ağ topolojisine düşük maliyet ve sağlamlık getirir(Choi, Hussen, Park, & Kim, 2018). İHA'lar, komşu düğümlerinin hareketlilik, algılama ve çalıştırma yetenekleri hakkında daha fazla bilgi edinirlerse daha verimli kararlar alabilirler. Örneğin, ağ sınırlı iletişim aralığına sahip düğümlerden oluştuğunda, ağ

çalışması topolojisini ve düğümlerin gelecekteki konumlarını tahmin etmek, yordayıcı yönlendirme algoritmalarında başarısızlığa daha açık olan bağlantıları hariç tutarak ağ bağlantısını geliştirmek için kullanılabilir.



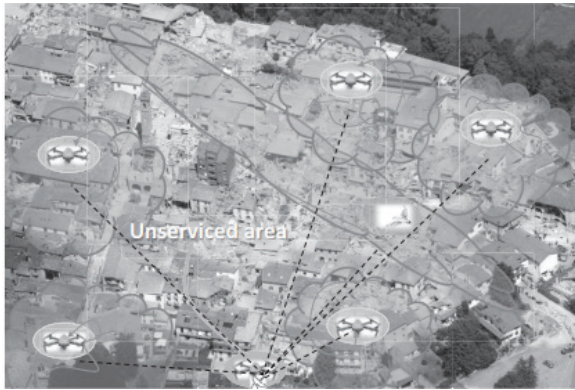
**Şekil 7:** İki zaman noktasında T1 ve T2 İHA ağlarının gösterimi (Peng, Razi, Afghah, & Ashdown, 2018).

İHA A'nın iletişim aralığı bir daire ile gösterilmiştir.  $Time = T_2$ 'de A, komşularının ulaşabileceği yerlerden uzaklaşır ve ağ bağlantısını kaybeder. Öngörülen ağ topolojisi, yaklaşmakta olan arızalar için daha düşük olası rotaları seçerek ağ bağlantısını uzatmak için kullanılabilir.

Bu yaklaşım, uçtan uca rotaların sadece mevcut ağ topolojisine dayanarak kurulduğu ve bağlantı arızalarının sadece ortaya çıktıktan sonra yerleştirildiği geleneksel bağlantı seçim algoritmaları ile büyük ölçüde çelişmektedir.

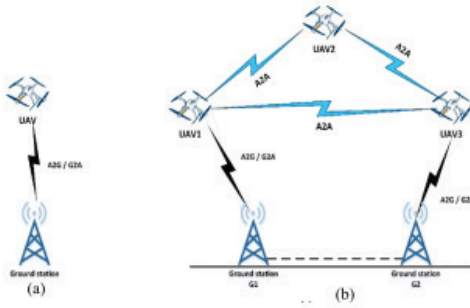
Bu çalışmada, ortak hareketlilik tahminleri ve İHA'ların nesne profili için kontrol ve iletişim protokollerini kolaylaştırmak için denetimsiz bir çevrimiçi öğrenme algoritması geliştirildi. Bu yaklaşım, uyarlanmamış hareket profillerine sahip nesneleri gözlemleyerek uyarlamalı olarak yeni hareket sınıfları oluşturdu.

Bu yeni iletişim yaklaşımı, üye düğümlerin hareket yörüngesi öngörüsü aracılığıyla ağ topolojisi tahminini gerektirir. Diğer bir örnek, özerk İHA düğümleri tarafından arama kurtarma operasyonu. Yerel alt ağ topolojisi değişikliklerini tahmin etmek, her bir İHA'nın daha verimli kararlar almasını kolaylaştırabilir. Örneğin, bir arama işlemindeki özerk bir İHA, önceden kapsanmayan ve öngörülen hareket yörüngelerine bağlı olarak diğer İHA'ların daha az kapsanması muhtemel olan alanları kapsamaya karar verebilir.



**Şekil 8:** Özerk İHA ağı, doğal bir felaketten sonra arama kurtarma operasyonları gerçekleştirmektedir. Yeni göreve katılan İHA, diğer İHA'ların hareket yörüngelerini, diğer düğümler tarafından kapsamı muhtemel olmayan bölgeleri tespit etmek ve kapsayacak şekilde işler(Peng, Razi, Afghah, & Ashdown, 2018).

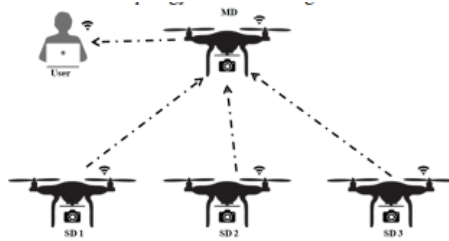
Bu nedenle, düğüm mobilite paternlerinin öngörülmesi, Şekil 2'de gösterildiği gibi, özerk İHA'lar tarafından daha verimli ve zamanında bir hizmet sağlar(Peng, Razi, Afghah, & Ashdown, 2018). Birden fazla İHA, geçici iletişim ağı olarak organize edildiklerinde, kablosuz iletişimin İHA'lar ile yer istasyonu arasında işbirliği için gerekli olduğu yerlerde, karmaşık görevleri etkin bir şekilde yerine getirebilir.



**Şekil 9:** Tek ve çoklu İHA ağları(Arafat & Moh, 2018).

İHA sayısı arttıkça, ölçeklenebilirlik sağlamak için kümeleme adı verilen hiyerarşik bir yönlendirmenin zorunlu olması gerekir. Bu yazıda, İHA ağları için küme tabanlı yönlendirme protokolleri olağanüstü özellikler, rekabet avantajları ve sınırlamalar açısından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve nitel olarak karşılaştırılmıştır. Çalışmalar, İHA ağları için küme tabanlı yönlendirme protokolleri hakkında kapsamlı ve son teknoloji bir ankettir. İHA ağları için 18 küme tabanlı yönlendirme protokolü, altta yatan kümeleme mekanizmasına göre sistematik olarak sınıflandırılır ve daha sonra çeşitli kümeleme teknikleri, küme hareketliliği, CH seçimi, enerji verimliliği, veri iletimi ve uçtan uca gecikme gibi bazı temel ölçümlere dayanarak birbirleriyle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonuçları araştırmacıların ve mühendislerin gereksinimlerine göre en uygun küme tabanlı yönlendirme protokolünü seçmelerine yardımcı olabilir. Karşılaştırmalı çalışmadan, her yönlendirme protokolünün kendine özgü güçlü yönleri, sınırlamaları ve belirli uygulamalara uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, açık araştırma sorunları ve kümelenmeye dayalı yönlendirme üzerindeki zorluklar tartışılmaktadır(Arafat & Moh, 2018). Drone uygulamalarında, drone telemetri cihazlarını veya sınırlı bir menzile sahip olan radyo frekans modülünü kullanarak veri gönderebilir. Bu nedenle, belirli bir aralıktan sonra kullanıcı ve drone ara-

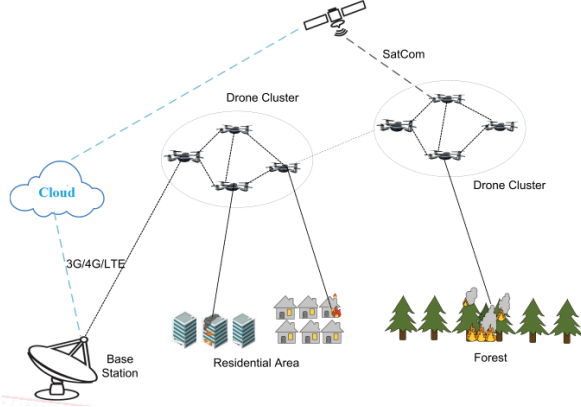
sında etkileşim yoktur. Bu çalışmada, hiyerarşik bir ağaç topolojisi tabanlı kablosuz drone ağı menzıl zorluklarının üstesinden gelmek için tasarlanmış ve sunulmuştur. Önerilen ağ üç ana bölümden oluşmaktadır; Kontrol Merkezi (CC), Master Drone (MD) ve SlaveDrone (SD).



**Şekil 10:** Hiyerarşik ağaç Topoloj. sahip Kablosuz Drone Ağı(Celtek, Durdu, & Kurnaz, 2018).

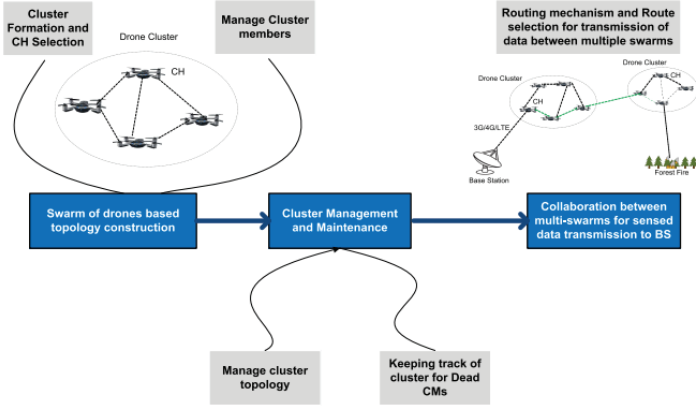
Bir ağ yöneticisi olarak CC, telemetri cihazları aracılığıyla yalnızca MD ile iletişim kurar. SD'ler, arama kurtarma uygulaması için gezgin uçacıdır. CC ve SD'ler arasındaki veri aktarımı, SD'ler gibi gezgin olan MD tarafından sağlanmaktadır. Merkez ve drone arasındaki dezavantajlara gelirse; drone'ların sınırlı pil enerjisi, sınırlı uçuş süresi vardır ve bağlantı için radyo, Wi-Fi gibi modüllerle diğer drone'larla iletişime geçer.Kapsama alanı dışında kalması durumunda merkezle drone iletişime geçemez. Drone ve kontrol merkezi arasındaki iletişimin, mesafedeki değişikliklere hızla adapte edilmesi gerekir. Bu yazıda, geniş bir alandaki olayları izlemek ve kontrol merkezine veri iletmek için drone'ların konuşlandırıldığı bir arama kurtarma senaryosu ele alınmaktadır. Bu makale açıkça, iletişim aralığının geliştirilmesinin bu yaklaşımla mümkün olduğunu göstermektedir. Drone arasında önerilen iletişim şeması kalkmadan gerçek drone kullanılarak denenmiştir. Önerilen tasarımın simülasyon çalışmaları, saha denemelerinden önce topoloji ve protokol entegrasyonunu değerlendirmek için esastır(Celtek, Durdu, & Kurnaz, 2018). Bilişsel bir yaklaşım kullanarak ağ yönetimi, Drone

tabanlı Nesnelerin İnterneti (IoT) ortamı için IoT kullanıcılarına birçok modern olanak sağlamak için çekici bir çözümdür. Bu yazıda, kendi kendine organize küme tabanlı ağ çözümü sağlayarak drone tabanlı IoT için ağla ilgili sorunlar en aza indirilmeye çalışılmaktadır.



**Şekil 11:** Küme tabanlı IoD ağı kullanarak yangın algılama(Aftab, Khan, & Zhang, 2019).

Yangın tespiti için konuşlandırılmış çok alanlı drone ağı için optimize edilmiş bir topoloji yönetim şeması önerilmektedir. Glowworm Swarm Optimization (GSO) kullanarak küme oluşumunu ve CH seçim metodolojisini önerilmektedir. Hibrit Kendi Kendine Düzenlenmiş Kümeleme Şeması (HSCS)’de izole edilmiş drone için bir birleştirme mekanizması da önerilmiştir.

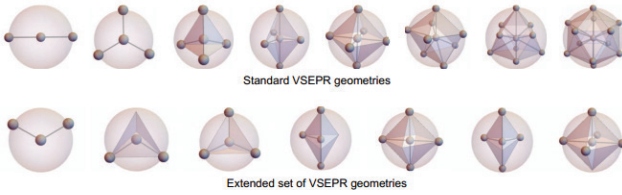


Şekil 12: Bilişsel IoT için Önerilen HSCS'nin çerçevesi(Aftab, Khan, & Zhang, 2019).

Uçağın sürüşü temelli davranışının daha iyi yönetimi için, Dragonfly Algoritmasından (DA) ilham alan küme yönetim mekanizması önerilmektedir. CMs izleme metodolojisi, küme topolojisinin daha etkin bir şekilde yönetilmesine yardımcı olan DA kuralları kullanılarak da önerilmiştir. HSCS'de önerilen küme bakımı, bir ağırlı kararlılığını artıran ölü CM'yi tanımlayan bir mekanizma ile gerçekleştirilir. HSCS için, Rota Seçim Fonksiyonu (RSF) kullanılarak verimli rota seçiminin yapıldığı bir rotalama mekanizması da önerilmiştir. Önerilen HSCS'nin simülasyon sonuçları, mevcut hibridbiyo-ilham kümeleme algoritması BICSF ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen HSCS'nin performans değerlendirmesi için dikkate alınan farklı değerlendirme ölçütleri açısından BICSF ile karşılaştırıldığında daha iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir(Aftab, Khan, & Zhang, 2019). Hava drone sistemlerinin verimli üç boyutlu (3-D) kapsama alanı için konumlandırma problemini göz önünde bulunduruluyor. Bizim çözümümüz, merkezi bir atomu çevreleyen elektron çiftleri arasındaki kuvvetlerin konumlarını düzenlediği moleküler geometriden doğar. Bu yazıda, sanal kuvvetlere dayalı hava uçağı ağlarının otonom konumlandırması için

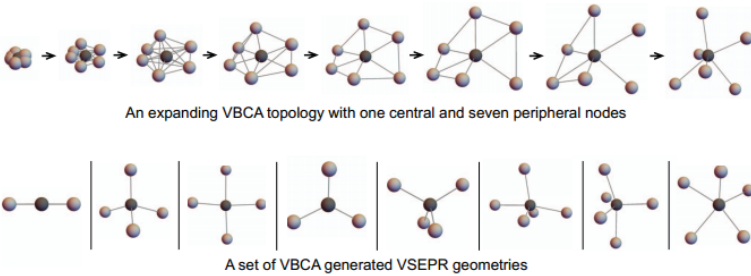


bir 3-D kümeleme algoritması önerilmektedir. Uçağın konumlandırılmasından sonra ortaya çıkan ağ topolojisi bu amaca ulaşmak için kritik bir konudur. Uçaklar arasındaki etkileşimleri oluşturmak ve sistemin topolojisini oluşturmak için yerleştirilmiş sanal güçler yaklaşımını kullanılıyor. VBCA'nın temel amacı, bir FANET'in ayarında aynı verimli VSEPR moleküler geometrilerini sağlamaktır, VSEPR modelinin 3-D geometrilerine benzer şekilde ölçeklenebilirlik sağlar.



**Şekil 13: VSEPR modeli, standart sistemlerin yanı sıra bazı sistem yapılandırmaları için ek çözümler de tanımlar(Brust, Akbaş, & Turgut, 2016).**

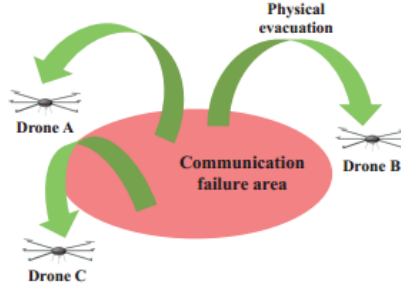
Her drone'un konumu, komşu drone'larının uzaklığı ve rolü ile belirlenir. Merkezi drone, ağ geometrisinin tüm topolojisini etkileyen bir bağlayıcı görevi görürken, bireysel drone'lar yalnızca doğrudan komşularından etkilenir. Simülasyon sonuçları, VBCA'nın ağ bağlantısı ve verimli hacim kapsamına sahip topolojiler sağladığını göstermektedir.



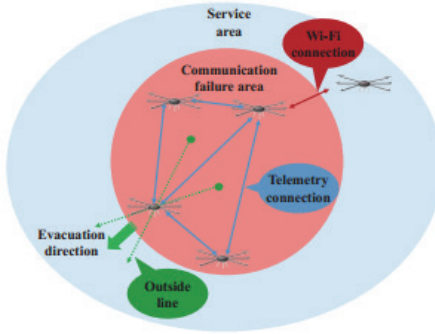
Şekil 14: VSEPR geometrilerini ve bir dizi VBCA tarafından üretilen VSEPR geometrilerini çoğaltan VBCA topolojisinin genişletilmesi(Brust, Akbaş, & Turgut, 2016).

Sonuçlar ayrıca, drone kümelerinin sabit bir duruma doğru gelişmiş bir şekilde birleştiğini de ortaya koymaktadır. Gelecekteki çalışma, birden fazla merkezi uçağı işleyen VBCA topolojilerinin uygulanmasının yanı sıra, birden fazla kümenin birbirine bağlanması için bir protokol de içerecek. Sonunda veri toplama ve toplama işlemlerini yönetmek için entegre bir yönlendirme şemasıyla donatılan bu yapılandırmalar VBCA'nın köprüler ve binalar gibi düzensiz gerçek dünya nesnelere uygulanmasını sağlayacak(Brust, Akbaş, & Turgut, 2016). Drone'lar parazit nedeniyle, görüş hattı olmayan veya sıkışma nedeniyle iletişimde başarısızlık yaşadıklarında, uçağı haberleşme hatası alanından tahliye etmek için olası bir çözüm uzaysal bir geri çekilmedir. Bu yazıda, net drone'ların iletişimdeki başarısızlığın üstesinden gelmek için, esnek ağ iletişimi hizmeti sağlayabilen yeni bir mekânsal geri çekilme mekanizması önerilmektedir. İşbirlikçi mekânsal geri çekilme (CSR) olarak adlandırılan yöntem, ek telemetri haberleşme modüllerinden yararlanır ve mevcut şemalardan önemli ölçüde daha iyi performans gösterir.

Konvansiyonel mekânsal geri çekilme şemasında, haberleşme arızası alanından rastgele bir şekilde kaçarlar. Bununla birlikte, rastgele kaçış açıkça verimsizdir ve daha uzun hareketlerle enerji israfı ve dolayısıyla pil ömrünü kısaltabilir. Önerilen işbirlikçi mekânsal geri çekilme (CSR) temel fikri, algoritma 1'de prosedürü detaylı olarak verilen Şekil 15'de gösterilmektedir.



**Şekil 15:** Mekansal inzivaya ilişkin temel fikir(Kang & Park, 2016).



**Şekil 16:** (CSR) İşbirlikçi mekansal geri çekilmenin gösterimi(Kang & Park, 2016).

Önerilen şemada, algoritmayı çalıştıran bir drone hedef drone olarak adlandırılır ve hedef drone'a konum bilgisi gönderen komşu drone'lar kooperatif drone'lardır. Öncelikle, hedef uçağın, alınan sinyal gücü göstergesi (RSSI), paket teslim oranı, taşıyıcı duyum süresi vb. Gibi bilgileri göz önünde bulundurarak iletişim arızası alanında bulunup bulunmadığını tespit etmesi gerekir. komşu drone'lar, ek telemetri iletişim modülünü kullanarak iletişim arızası bölgesinde bir arada bulunurlar. Sonuç olarak, hedef uçağı, kooperatif uçağı ve kendisinin ağırlık merkezini hesaplayabilir. Bu bilgi ile, hedef drone merkezden tam tersi yönde tahliye edebilir.

İletişim başarısızlık alanından kaçmak için mevcut stratejilerden biri, temel olarak frekans sekmesine benzer olan kanal sörfüdür. Diğer bir yöntem uzaysal geri çekilmedir. Uçaklar müdahale edildiğinde, Şekil 2’de gösterilen alandan rastgele kaçarlar. Önerilen CSR ile konvansiyonel mekansal geri çekilme arasındaki temel fark, CSR’nin telemetri yoluyla ek iletişimden elde edilen bilgileri daha fazla kullanmasıdır. Geleneksel mekansal geri çekilme şemasında, drone’lar tahliye yönünü rastgele seçiyorlar. Aksine, önerilen program diğer drone’lardan gelen bilgileri kullanıyor ve kanal koşullarını iyileştirme olasılığı yüksek bir yöne doğru ilerliyor. Teklif edilen CSR’nin hareket mesafesi, geleneksel rastgele uzaysal geri çekilmeden çok daha kısadır. Önerilen programı kullanarak, net uçaklar iletişim arızası alanından çıkabiliyor ve güvenilir bir şebeke servisi sağlar(Kang & Park, 2016).

Toprak terminalleri için kablosuz bağlantı sağlamak amacıyla drone baz istasyonlarının kullanılması gelecekteki teknolojilerin umut verici bir parçası haline geliyor. Bununla birlikte, bu tür hava şebekelerinin tasarımı, uçağın antenleri aşağıya baktıkça ve kanal modeli yüksekliğe bağlı hale geldiğinden, hücresel 2D ağlara kıyasla farklıdır. Bu yazıda, bu ölçeklenebilir ağdaki esnek dinamik değişiklikleri göz önünde bulundurarak birden fazla drone baz istasyonunun kapsama olasılığı performansını inceliyoruz. Bu amaçla ve mevcut drone’ların tam sayısı ve konumu ile ilgili önceden bilgi sahibi olmadan, drone’ların dağılımını bir Poisson nokta işlemi (PPP) ile modelliyoruz. Dahası, drone’ların toplam parazitleri azaltmak ve hedef bölgeler üzerinde yoğunlaşmak için yönlü bir anten kullandığını varsayıyoruz. Yüksekliğe bağlı gölgeleme etkisini dikkate alarak, toplam parazitleri karakterize ederiz ve drone anten modeli gibi farklı sistem parametrelerinin etkisini içeren bağlantı kapsama olasılığını türetiriz. Daha sonra, birleşik uçağın, hedef uç terminale göre ortalama bir LoS olasılığı elde ediyoruz; bu da, optimum uçağın anten giriş geniş-

liği, yoğunluğu ve rakımının varlığına dair bir fikir veriyor. Kapsama olasılığının, sinyal-parazit-artı-gürültü oranı (SINR) gereksinimine bağlı olarak 500 m'ye kadar ortalama LoS olasılığına iyi yaklaştığını da gösterdik. Bu yaklaşım, kapsama olasılığı ifadesinin karmaşıklığını önemli ölçüde azaltır ve kapsama olasılığı için büyük ifadeyi basitleştirir ve bize sistemin kritik ticaret noktaları hakkında bir fikir verir. Gelecekte, karasal ağlarla birlikte mevcut olan drone baz istasyonlarını göz önünde bulundurulacak ve bu tür hibrit ağlar için kapsama olasılığını ve optimum sistem parametreleri elde edilecektir(Azari et al., 2017).

## ARAŞTIRMA GÜNDEMİNİN ÖNEMİ

Bazı uygulamalarda, drone'ların sınırlı uçuş süresi, taşıma yükü ve iletişim menzili nedeniyle karmaşık görevleri tamamlamak için tek bir İHA ile mümkün olmamaktadır. Bu durumda, bir drone ağı (kümesi) oluşturarak birden fazla drone birlikte hareket etmesi sağlanmalıdır. Ayrıca, arama kurtarma gibi zamana duyarlı uygulamalarda, ağ bağlantılı İHA'ların kullanılması görev başarısı şansını önemli ölçüde artırır.

Birden fazla İHA, iletişim ağı ile organize edildiklerinde karmaşık görevleri etkin bir şekilde yerine getirebilir. İHA ağlarında yönlendirme, işbirliğine dayalı ve işbirliğine dayalı ağ işlemlerinde önemli bir rol oynar. İHA sayısı arttıkça hızlı iletişim ve hareket zorlaşacağından gruplar oluşturarak hiyerarşik bir şekilde kümeleme denilen bir hiyerarşik yönlendirme mutlaka zorunludur. Bu yönlendirme ile verimlilik artırılırken, uçtan uca görevi yerine getirme ve veri aktarımında gecikme engellenirken drone'ların tükettiği enerjide verimlilik artırılarak temel sistem performansı seviyesini sağlar. Kümeleme yanı sıra çoklu drone kontrolünde, İHA ağları için topoloji tabanlı yönlendirme ve konum tabanlı yönlendirme yöntemleri de kullanılmaktadır.

Bu makalede, İHA ağları için yönlendirme protokollerini inceledik ve bunları öne çıkan literatürdeki çalışmalarından bahsetmiş bulunmaktayız.

Bu literatür bakış sonucu araştırmacıların ve mühendislerin gereksinimlerine göre en uygun yönlendirme protokolü ve İHA topolojisi hakkında genel bilgi ve çalışmalar hakkında bilgi sahibi olunacaktır.

## KAYNAKÇA

- [1] Ağaçayak, A.C., Terzioğlu, 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., Terzioğlu, H., Neşeli, S., Yalçın G., (2018). "Small Power Wind Turbine Design," *Acad. Studies in Eng., Gece Publishing*, pp. 121-130.
- [3] Ağaçayak, A.C., Terzioğlu, H., Çimen, H., Neşeli, S., Yalçın 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., Terzioğlu, H., Neşeli, S., Yalçın G., (2018). "Mathematical Modelling of Thermoelectric Generator by Regression Analysis ," *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'18)*. Selçuk University, Vol:3, pp.523-527.
- [5] Ağaçayak, A.C., Çimen, H., Neşeli, S., Yalçın 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., Terzioğlu, H., Neşeli, S., Yalçın G., (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] Aftab, F., Khan, A., & Zhang, Z. (2019). Hybrid Self-Organized Clustering Scheme for Drone Based Cognitive Internet of Things. *IEEE Access*, 7, 56217-56227.
- [8] Arafat, M. Y., & Moh, S. (2018). A survey on cluster-based routing protocols for unmanned aerial vehicle networks. *IEEE Access*, 7, 498-516.
- [9] Arteaga, J. M., Aldhafer, S., Kkelis, G., Kwan, C., Yates, D. C., & Mitcheson, P. D. (2018). Dynamic capabilities of multi-MHz inductive power transfer systems demonstra-

- ted with batteryless drones. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(6), 5093-5104.
- [10] Azari, M. M., Murillo, Y., Amin, O., Rosas, F., Alouini, M.-S., & Pollin, S. (2017). *Coverage maximization for a poisson field of drone cells*. Paper presented at the 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC).
- [11] Brust, M. R., Akbaş, M. I., & Turgut, D. (2016). *VBCA: A virtual forces clustering algorithm for autonomous aerial drone systems*. Paper presented at the 2016 Annual IEEE Systems Conference (SysCon).
- [12] CELTEK, S. A., DURDU, A., & KURNAZ, E. (2018). *Design and simulation of the hierarchical tree topology based wireless drone networks*. Paper presented at the 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP).
- [13] Chang, X., et al. (2018). A surveillance system for drone localization and tracking using acoustic arrays. 2018 IEEE 10th Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop (SAM), IEEE.
- [14] Churyumov, G., Tokarev, V., Tkachov, V., & Partyka, S. (2018). *Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful Electromagnetic Field*. Paper presented at the 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP).
- [15] Çimen, H., Ağaçyaka, A. C., Neşeli, S., Yalçın, 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.
- [16] Choi, S.-C., Hussen, H. R., Park, J.-H., & Kim, J. (2018). *Geolocation-Based Routing Protocol for Flying Ad Hoc Networks (FANETs)*. Paper presented at the 2018 Tenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN).



- [17] Glick, T. and S. Arogeti (2018). Control of Tethered Drones with state and input Constraints-a Unified Model Approach. 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), IEEE.
- [18]Kang, J.-H., & Park, K.-J. (2016). *Spatial retreat of net-drones under communication failure*. Paper presented at the 2016 Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN).
- [19]Kaleem, Z. and M. H. Rehmani (2018). “Amateur drone monitoring: State-of-the-art architectures, key enabling technologies, and future research directions.” *IEEE Wireless Communications* 25(2): 150-159.
- [20] Kedadouche, M., Yulan, S., Liu, Z., Thomas, M., Charland-Arcand, G., & Beck, A. (2018). *Design of a vibration isolator for the inertial navigation system of an autopilot dedicated to the operation of light drones*. Paper presented at the 2018 9th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE).
- [21] Khan, M., Heurtefeux, K., Mohamed, A., Harras, K. A., & Hassan, M. M. (2017). Mobile target coverage and tracking on drone-be-gone uav cyber-physical testbed. *IEEE Systems Journal*, 12(4), 3485-3496.
- [22]Khan, M., Heurtefeux, K., Mohamed, A., Harras, K. A., & Hassan, M. M. (2017). Mobile target coverage and tracking on drone-be-gone uav cyber-physical testbed. *IEEE Systems Journal*, 12(4), 3485-3496.
- [23] Neşeli, S., Terzioğlu, H., Ağaçayak, A.C., Yalçın, G., (2018). “Düşük Hızlı Hava Araçları için Ön Kanatçık Tasarımı ve Akış Analizi”, *International Science and Academic Congress '18 (INSAC'18)*. Selçuk University, Vol:3, pp.709-721
- [24] Neşeli, S., Terzioğlu, H., Ağaçayak, A.C., Yalçın, G., (2018). “İnsansız Hava Taşıtları için Rüzgar Tüneli Tasarımı ve Hava Akış Analizi”, *International Science and Academic Congress '18 (INSAC'18)*. Selçuk University, Vol:3, pp.689-708

- [25] Neşeli, S., Terzioğlu, H., Ağaçayak, A.C., Yalçın, G., (2017). “Electrical Power Generation by Thermoelectric Generator Using Geothermal energy and The Low-Power Dc-Dc Buck\_Boost Converter Application”, *In Grad. Sch. of Natur. and App. Scien.*, Selçuk University.
- [26] Park, J.-H., Choi, S.-C., Kim, J., & Won, K.-H. (2018). *Unmanned Aerial System Traffic Management with WAVE Protocol for Collision Avoidance*. Paper presented at the 2018 Tenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN).
- [27] Peng, H., Razi, A., Afghah, F., & Ashdown, J. (2018). A unified framework for joint mobility prediction and object profiling of drones in uav networks. *Journal of Communications and Networks*, 20(5), 434-442.
- [28] Pokorny, J., et al. (2018). “Concept design and performance evaluation of UAV-based backhaul link with antenna steering.” *Journal of Communications and Networks* 20(5): 473-483.
- [29] Rzewuski, S., et al. (2018). Drone RCS estimation using simple experimental measurement in the WIFI bands. 2018 22nd International Microwave and Radar Conference (MIKON), IEEE.
- [30] Saha, H. N., Das, N. K., Pal, S. K., Basu, S., Auddy, S., Dey, R., . . . Mitra, D. (2018). *A cloud based autonomous multipurpose system with self-communicating bots and swarm of drones*. Paper presented at the 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC).
- [31] Sacco, G., et al. (2018). A MISO radar system for drone localization. 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), IEEE.
- [32] Shi, W., Li, J., Xu, W., Zhou, H., Zhang, N., Zhang, S., & Shen, X. (2018). Multiple drone-cell deployment analyses and optimization in drone assisted radio access networks. *IEEE Access*, 6, 12518-12529.

- [33] Shi, Z., Li, H., Lin, H., & Huang, L. (2018). *A Nano-Quadcopter Formation Flight System Based on UWB Indoor Positioning Technology*. Paper presented at the 2018 13th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE).
- [34] Solomitckii, D., Gapeyenko, M., Semkin, V., Andreev, S., & Koucheryavy, Y. (2018). Technologies for efficient amateur drone detection in 5G millimeter-wave cellular infrastructure. *IEEE Communications Magazine*, 56(1), 43-50.
- [35] Terzioğlu, H., Neşeli, S., Yalçın G., (2018). “Termoelektrik Jeneratörler ve Kullanım Alanlarına Genel Bir Bakış”, *Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar, Gece Kitaplığı*, pp. 149-160.
- [36] Wang, Y., Sun, T., Rao, G., & Li, D. (2018). Formation tracking in sparse airborne networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 36(9), 2000-2014.

# KUMAŞ KALINLIĞININ KUMAŞLARIN ISIL KONFOR ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Arzu YAVAŞCAOĞLU<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üy., Yalova Üniversitesi, Yalova MYO., Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Yalova, Türkiye, [arzuyoglu@hotmail.com](mailto:arzuyoglu@hotmail.com)





# KUMAŞ KALINLIĞININ KUMAŞLARIN ISIL KONFOR ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Arzu YAVAŞCAOĞLU<sup>1</sup>

## 1.GİRİŞ

Satın alacağımız giysilerde tercihimizi etkileyen en önemli özelliklerden biri de giysiyi oluşturan kumaşın özellikleridir. Kumaşın üretiminde kullanılan iplik özellikleri, doku tipi, sıklık vb. kumaş parametreleri ve bitim işlemleri gibi faktörlere göre belirlenen kumaş kalınlığı da kumaş özelliklerinin en önemlisidir. Yazlık giysilerde ince kumaşlar, kışlık giysilerde ise kalın kumaşlar tercih edilmektedir.

Tüketicilerin örtünme ve vücudu fiziksel şartlara karşı koruma işlevi gören giysi ve kumaşlardan beklentileri estetik, şık, moda uygun, rahat ve sağlam olması ile kullanım ve bakımının kolay olmasıdır. Bu özelliklerin sağlanması ve tüketicinin memnuniyeti için kumaş ve giysilerin konfor özelliklerinin iyileştirilmesi çalışmaları araştırmacılar tarafından süreklilik arz etmektedir. Özellikle çok sıcak ve çok soğuk ortamlarda ya da ağır fiziksel aktiviteler esnasında giydiğimiz giysilerin rahat, sağlam ve ısı konfor açısından tatmin edici olması tüketici için daha da önem kazanmaktadır.

Song’a göre (2011) konfor, “insanın giydiği giysi ile bulunduğu çevre arasındaki uyumdan duyduğu memnun olma” durumudur. Giysi konforu, insan vücudu ile çevre arasında fizyolojik, psikolojik ve fiziksel uyumun memnuniyet verici olmasıdır (Oğlakçıoğlu vd. 2013).

---

1 Dr. Öğr. Üy., Yalova Üniversitesi, Yalova MYO., Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Yalova, Türkiye, arzuoglu@hotmail.com

Giysi konforu psikolojik konfor ve fizyolojik konfor olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Li'ye göre (2001) psikolojik konfor ya da estetik konfor, kullanıcının giysi içinde kendisini iyi hissetmesi, kişinin psikolojisini etkileyen giysi özelliklerinin duyu organlarıyla algılanmasıdır. Modaya uygunluk ve çevre tarafından beğenilmenin verdiği özgüven de psikolojik konfor sağlar.

Fizyolojik konfor ise; ısı (termofizyolojik) konfor, duysal konfor ve hareket konforu olmak üzere üç alt bileşene ayrılmaktadır. Grabowska (2001) fizyolojik konforu insan vücudu ile çevre arasındaki ısı enerji dengesinin kurulmasıyla ilişkilendirmiştir. Fizyolojik konforun, hava geçirgenliği, ısı izolasyon, buhar geçirgenliği, nem absorpsiyonu ve nem iletimi gibi kumaş özelliklerinden etkilediğini belirtmiştir. Duyusal veya dokunsal konfor, “tekstil materyalinin deri ile teması sonucu çeşitli sinirsel duyuların oluşturduğu algılardır” (Senthilkumar ve Dasaradan 2007). Bu algılar, giysinin ten ile teması sonucu hissedilen yumuşaklık, sertlik, pürüzsüzlük, kaşıntıdırıcı olması ve terleme sonucu cilde yapışması gibi hislerdir (Shishoo 2005). Çoğu kişinin giysi satın alırken ilk olarak kumaşına dokunması, içgüdüsel olarak duysal konfor açısından ne derece uygun olduğunu tespitini sağlamaktadır.

Hareket konforu, giysinin vücuda uygun olması ve vücut hareketlerini rahatça yapmasını olanaklı kılmasıdır. Tekstil malzemelerinin fiziksel ve yapısal özellikleri ile ilişkili olan bu kavram ergonomik giysi konforu olarak da adlandırılır. Bir tekstil ürünü vücut şeklini aldığı, hareket serbestliği sağladığı ve vücuda yük bindirmedğinde hareket konforu sağlamış olur (Güneşoğlu 2005). Giysilerden beklenen en önemli özellik vücut hareketlerinin giysi tarafından engellenmemesidir (Erdoğan ve İllez 2004).

Isıl konfor ise, giysilerin ısı ve nem geçirgenlik özellikleri ile ilgilidir (Oğlakçıoğlu vd 2013). Isı, nem ve hava hızı gibi çevresel faktörlerin etkisine bağlı olarak, giysi ile temas sonrasında sıcak, soğuk, ıslak gibi algılarla ifade edilmektedir (Collier ve Epps 1999). Isıl açıdan konforlu giysiler, farklı çevre koşulları ve çeşitli fiziksel aktivitelere bağlı olarak vücudun değişen sıcaklık ve nemini transfer ederek vücudun ısı ve nem dengesinin korunmasında en önemli işlevi yerine getirirler (Oğlakçıoğlu vd. 2013).

Yavaşcağlu (2017) üniversite öğrencilerinin giysilerden bekledikleri konfor özellikleri ile ilgi çalışmasında, öğrencilerin giysilerinden bekledikleri psikolojik konfor özelliklerinden en önemlisinin giysinin modeli ve rengi, hareket konforu özelliklerinden rahat olması, ısı konfor özelliklerinden terletmemesi ve kışın sıcak, yazın serin tutması, dokunsal konfor özelliklerinden ise yumuşak olması olduğunu ifade etmiştir. Çoruh, Değirmenci ve Acar (2018) üniversite öğrencilerinin giysi konfor özellikleri konusundaki farkındalıklarını araştırdıkları çalışmalarında, kız öğrencilerin konfor açısından dikiş, ergonomi, tuşe, dökümlülük ve ter emicilik parametrelerini, erkek öğrencilerin ise ter uzaklaştırma, nefes alabilirlik, yumuşaklık, ısı tutma, vücuda uygunluk ve bakım kolaylığı gibi parametreleri önemli bulduğu sonucuna ulaşmışlardır. Konfor açısından öğrencilerin en fazla hammadde, rahatlık ve dayanıklılığı önemseydiğini, giysi performansına bakıldığında, en önemli parametrenin vücuda uygunluk olduğunu, öğrencilerin giysilerden bekledikleri konfor parametreleri açısından ise ter emicilik, hava geçirgenliği, yumuşaklık ve ısı tutma özelliğinin öğrencilerin en az %60'ı için yüksek önem arz ettiğini ifade etmişlerdir.

Kişinin konfor hissini belirleyen, insan teni ile giysi arasında kalan ve mikroklima olarak da adlandırılan hava tabakasıdır. Isıl konfor, kumaş ile mikroklima arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır (Simile 2004). Mikroklima, çevre-

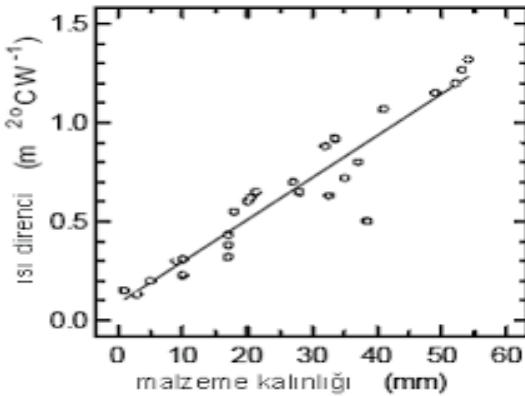


sel faktörler ile insan ve giysi faktörlerinden (tasarım ve kumaş parametreleri) etkilenmektedir (Yoo, Hu ve Kim 2000).

Aktivite sırasındaki terleme miktarı giysilerin konforlu olma durumunu etkiler. Terleme ile mikroklima bölgesinde oluşan nem ve buhar terleme devam ettiği sürece artar. Üretilen terin uzaklaştırılamaması durumunda mikroklimada ter birikir ve derideki ıslaklığa bağlı olarak konforsuzluk hissi oluşur. Burada bulunan nemin iletimi kumaş tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden, kumaşların sıvı iletim yetenekleri giysi konforunu belirleyen en önemli parametrelerdendir. Giysinin aktivite sırasında deri yüzeyindeki terin buharlaşabilmesine izin verebilmesi ve aktivite bittikten sonra hızlıca kurumanın gerçekleşebilmesi için içerdiği nemi uzaklaştırabilmesi gerekmektedir (Raja vd. 2014). Tüketicilerin giysilerden bekledikleri konfor özellikleri açısından terletmeme, ter emicilik ve ter uzaklaştırma özellikleri önemli bulunmuştur (Yavaşcaoglu 2017, Çoruh vd. 2018).

Bulunduğumuz ortamda giydiğimiz giysinin sayısı ve kalınlığı ısı konforumuzu etkiler. Giysi, deri yüzeyinden ısı kaybını azaltıp, deriden nem kaybını düzenleyerek ısı dengesi sağlar. Ancak hiçbir giysi sistemi birbirinden farklı koşullar için gerekli olan ısı denge şartlarını tamamıyla sağlayamaz. Bir giysinin bir aktivite için uygun olması diğer aktiviteler için uygun olacağı anlamına gelmez. Soğuk havalarda çevre ile deri arasındaki ısı alışverişini zorlaştırmak için kalın giysiler giyeriz. Bulunduğumuz ortamdan ısı konfor açısından memnun iken, üstümüze daha fazla giysi giydiğimizde çevreyi ılık veya sıcak, giysilerin bir kısmı çıkarıldığında ise çevreyi serin veya soğuk olarak değerlendirebiliriz (Saville 1999, [www.iccevrekalitesi.net](http://www.iccevrekalitesi.net) 2017).

Havenith (2002), malzeme kalınlığı arttıkça, ısı direnci ve buhar direncinin arttığı, hava geçirgenliğinin ise azaldığını ifade etmiştir. Şekil 1.1’de kumaş kalınlığı ile ısı direnci arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 1.1 incelendiğinde kumaş kalınlığı arttıkça ısı direnci arttığı görülmektedir. Güneşoğlu’na göre (2005) kumaş kalınlığı düşük olduğunda kumaşların ısı dirençleri de düşük olduğundan, düşük kalınlıktaki kumaşlardan yapılan giysiler vücuttan yüksek miktarda ısı enerjisi kaybederler. Bu sebeple sıcak havalarda ince giysiler daha konforlu hissettirmektedir.



Şekil 1.1. Giysinin ısı direnci ile kumaş kalınlığı arasındaki ilişki (Havenith 2002)

Giysi sisteminin toplam yalıtım değerini, üst üste giyilen giysilerin yalıtım değerleri (kumaşların direnci) yanında giysi katları arasında kalan hava boşlukları (durgun hava tabakası) belirlemektedir. Durgun havanın ısı iletkenliği çok düşüktür ( $\lambda_{\text{hava}}=0,025\text{W/mK}$ ). Havayı oluşturan tanecikler arasındaki boşluk miktarı fazla olduğundan tanecikler arasındaki ısı iletimi çok yavaştır. Hava boşlukları, konveksiyon ile ısı kaybına neden olacak büyüklükte olmadığı sürece yalıtıma katkı sağlamaktadır (Saville 1999, McCullough, Jones ve Tamura 1989). Li, Barker ve Deaton’a göre (2007), itfaiyeci giysilerinde, durgun

hava iyi ısı yalıtımı sağladığı için, çok katlı giysi yapısı oluşturularak kumaş katmanları arasında biriken durgun havanın arttırılmasına önem verilmelidir. Kumaşın kalınlığı bu hava boşluklarının miktarını belirleyeceğinden giysinin yalıtım özelliklerini de etkilemektedir. Milenkovic vd. (1999), kumaş kalınlığının, kapalı hava ve dış hava hareketinin kumaştan geçişini etkileyen ana faktörlerden olduğunu ispatlamıştır.

Öner ve Okur'a göre (2011) ideal bir giyside, soğuktan korunmak için yüksek ısı direnç, etkili ısı transferi için düşük su buharı direnci ve terleme ile oluşan konforsuzluk hissini önlemek için yüksek sıvı taşıma özelliği olmalıdır.

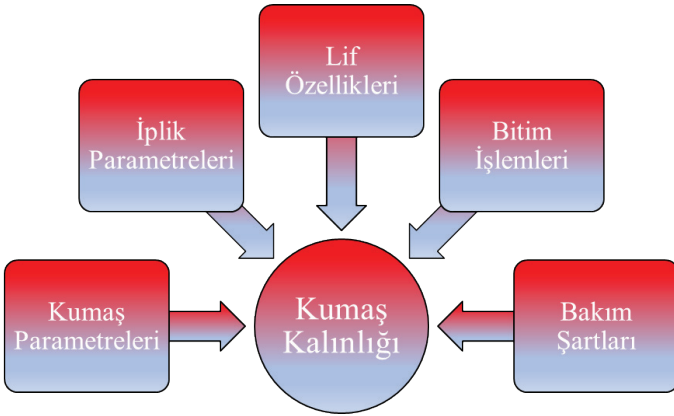
Tekstil materyallerinin ısıl konfor özelliklerini etkileyen ana parametreler; lif ve kumaş içindeki havanın ısıl iletkenliği, lif özellikleri (lif cinsi, lifin özgül ısısı, lif karışım oranı, lif inceliği veya lif numarası, lif gözenekliliği, lif kesiti), iplik özellikleri (iplik numarası, iplik bükümü, ipliğin tüylülüğü, iplik geometrisi, iplik paketleme yoğunluğu, iplik yapısındaki liflerin sürekli veya kesikli olması) ve kumaş özellikleri (kumaş kalınlığı, kumaş sıklığı, kumaş gözenekliliği, kumaş yoğunluğu, örgü tipi, kumaş tipi (dokuma, örme, nonwoven), kat sayısı), bitim işlemleri, deri ile kumaş arasındaki ısı kaybı, kumaşın su absorbe etmesi nedeniyle oluşan ısı kaybı veya artışı, sıcaklık, bağıl nem, ve çevredeki havanın hareketi gibi atmosferik şartlardır (Marmaralı vd. 2006, Turan 2012, Nahla vd. 2012, Punna ve Amsamani 2012).

Kumaş kalınlığı, kumaşın yapısal özellikleri arasında kumaş özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu çalışmada kumaş seçiminde de büyük rol oynayan kumaş kalınlığına etki eden ve kumaş kalınlığının kumaşların ısıl konfor özelliklerine etkisinin araştırıldığı çalışmalar incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. KUMAŞ KALINLIĞINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kumaş kalınlığı, kumaşın en üst ve en altı arasındaki boyutu belirleyen kumaşa dik mesafe olarak tanımlanır (Kremenakova, Kolcavova Sirkova ve Mertova 2004). Kumaş kalınlığı, kumaşın örgüsüne ve ipliklerin bağlantı pozisyonuna bağlıdır (Kremenakova, Mertova ve Kolcavova Sirkova 2008). Aynı özelliklerde iplikler ile (numara, büküm vb.) bezayağı gibi kısa atlama sayısına ve yüzen ipliğe sahip kumaşların kalınlığı, uzun atlama sayısına ve uzun yüzen ipliklere sahip örgülerden dokunmuş kumaşlardan daha düşüktür (Kolcavova Sirkova 2012).

İlgili literatür tarandığında kumaş yapısında kullanılan lif özelliklerinin, iplik parametrelerinin (eğirme yöntemi, iplik numarası, iplik kıvrımı bükümü, düz veya tekstüre olması vb.), kumaş parametrelerinin (örgü tipi, sıklıklar vb.), kumaşa uygulanan bitim işlemlerinin ve bakım sürecinin kumaş kalınlığını etkilediği görülmektedir.



Şekil 2.1. Kumaş kalınlığına etki eden faktörler

Kumaş kalınlığına etki eden faktörler ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Behera, Ishtiaque ve Chand (1997), rotor ipliklerden üretilen kumaşların kalınlıklarının, friksiyon ve ring ipliklerden üretilen kumaşlara göre daha yüksek, hava geçirgenliğinin ise daha düşük olduğunu ifade etmiştir. Şekerden (2009), kalın atkı ipliği (Ne 28/2) kullanılan kumaş yapısının kalınlığında artış görüldüğünü, bunun sebebinin kalın iplikte (Ne 28/2), ince ipliğe (Ne 44/2) oranla çaptaki lif sayısının daha fazla olmasından dolayı iplik kalınlığını dolayısı ile kumaş kalınlığını etkilemesi olduğunu ifade etmiştir. Ertekin ve Marmaralı (2011) yuvarlak örme spacer kumaşların ısı konfor özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, monofilament spacer iplikli kumaşların multifilament spacer iplikli kumaşlara göre ağırlık, kalınlık, ısı iletkenlik, ısı direnç ve hava geçirgenliği değerlerinin yüksek, rölatif su buharı geçirgenlik değerlerinin düşük olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada monofilament ipliklerde elde edilen kumaşların kalın olmasından dolayı hava geçirgenliğinin düşük olması beklendiğinden hava geçirgenliğinin yüksek çıkması kumaşların kesitsel görünüşü ile açıklanmıştır. Monofilament ipliklere sahip kumaşların, kumaş içinde daha açık bir yapıya sahip olduğu böylece havanın kumaştan kolayca geçtiği ifade edilmiştir.

Türksoy, Akkaya ve Üstündağ (2017), hava jetli ipliklerin dokuma performansını değerlendirdikleri çalışmalarında iplik tipinin kumaş kalınlık değerlerine istatistiksel olarak anlamlı etkisi olduğunu, MVS (Murata Vortex Spinner) ve RAJ (Rieter Air Jet) ipliklerden dokunan kumaşların, ring ipliklerden dokunan kumaşlara göre istatistiki açıdan anlamlı şekilde daha kalın bulunduğunu, bunun sebebinin hava jetli ipliklerin gerçek büküme sahip ring ipliklerden daha hacimli olmasından kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Bedez Üte vd. (2018) %100 pamuk, yün/pamuk ve ipek/pamuk örme kumaşların iç giysilerde kullanımının konfor açısından değerlendirdikleri çalışmaları, yün içeren kumaşların ısı direnç değerlerinin, diğer kumaşlara göre daha yüksek olduğunu ve ayrıca karışım-

daki yün oranı arttıkça, kumaşların ısı direnç değerlerinde artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, bu durumun yün liflerinin yüzeyinde bulunan pul tabakalarının içinde hava kesecikleri olmasında kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Durgun havanın ısı iletkenliği çok düşük olduğundan ve yün liflerinin yapısında fazla hava bulunduğundan ısı iletkenliği de daha düşüktür. Çalışmada yün ve yün içeren kumaşların kalınlığının yüksek olduğu, kumaşlarda yün oranı arttıkça kalınlık değerinin arttığı, bunun sebebinin, “lif incelidikçe kıvrım sayısının artması ve yün liflerinin kıvrımlılığı ve düşük yoğunlukları ( $1,30 \text{ g/cm}^3$ )” olduğu ifade edilmiştir.

Doba Kadem (2007) kalın ipliklerden dokunmuş bezayağı, dimi (2/2 Z) ve panama (2/2) örgülü kumaşlarda kumaş kalınlığı değerlerinin daha yüksek olduğunu, atkı ve çözgü iplik sıklıklarının yüksek olduğu ince ipliklerden dokunmuş kumaşlarda ise her üç örgü türü için de kalınlık değerlerinin düşük çıktığını ifade etmiştir. Malciauskiene (2008) balpeteği doku tipinde dokunmuş kumaşların kalınlığının atkı sıklığı artışı ile büyük oranda arttığını ifade etmiştir. Şekerden ve Çelik (2010) atkı elastanlı dokuma kumaşlarda doku tipinin kumaşın fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisini inceledikleri çalışmalarında, Rç 1/3 örgü tipi ile üretilen kumaşların kalınlığının en fazla, B1/1 örgü tipi ile üretilen kumaş kalınlığının ise en düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmaya göre, bağlantı sayısı yüksek olan doku tiplerinde, atkı ipliklerinin sıkı bir şekilde doku içinde kaldığı, bu durumun ise, çözgü ve atkı iplikleri arasındaki bağlantı sayısı yüksek olan doku tiplerinde kalınlığın daha düşük olması şeklinde gözlemlendiği, kumaş kalınlığının iplik numarasına ve ipliklerin kıvrımına bağlı olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada ayrıca atkı sıklığı artışı ile kumaş kalınlığının azaldığı görülmüş, bunun sebebi ise; atkı sıklığı arttıkça atkı iplikleri doku içinde kalıp, kıvrımı azaldığı için kumaş kalınlığının düş-

tüğü ve bunun sonucunda atkı sıklık artışı ile kumaş kalınlığında azalma görüldüğü şeklinde açıklanmıştır.

Turan (2012), bezayağı, 2/1 dimi ve 3/1 dimi örgü tipleri karşılaştırıldığında aynı sıklıkta en kalın kumaşın 3/1 dimi örgü yapısına sahip kumaş olduğunu ifade etmiş, bu sonucu atlama uzunluğu arttıkça iplikler daha çok serbest konuma geçtiklerinden birbirlerinin üzerinde kayarak kumaş kalınlığının artmasına sebep olmaktadır şeklinde açıklamıştır. Yavaşcaoğlu (2018) çalışmasında örgü tipi değiştiğinde kumaş kalınlıklarının da değiştiğini, etamin, dimi ve saten örgü ile dokunan kumaşların kalınlıklarının bezayağı örgü ile dokunan kumaşların kalınlıklarına göre daha yüksek olduğunu, kalın iplik kullanılan kumaş yapılarının kalınlığının, ince iplik kullanılan kumaş yapılarına göre fazla olduğunu belirtmiştir.

Güneşoğlu (2005) çalışmasında, şardonlama isleminin, kumaşların ısı iletkenliklerini azalttığını, bu durumun şardonlama işlemi ile elde edilen tüylü ve hacimli yapının hapsettiği hava miktarının daha da artmasından kaynaklandığını ve bunun beklenen bir sonuç olduğunu ifade etmiştir. Mavruz ve Oğulata (2010) düz örme kumaşlarda yaş relaksasyondan sonra kumaşların sıklığının, ağırlığının ve kalınlığının arttığı fakat hava geçirgenliğinin azaldığını, yaş relaksasyon sırasında kumaşın mekanik ve ısı enerjisi yardımı ile minimum enerji seviyesine ulaştığını ve tüm bu faktörlerin kumaşın kalınlığının, ağırlığının, cm'deki sıra ve çubuk sayısının artmasına neden olduğunu, relaksasyon sonucunda kumaş kalınlığında ve ağırlığındaki artıştan dolayı havanın geçeceği gözeneklerde azalmaya olduğunu ve geçirgenliğin azaldığını ifade etmiştir.

Ibrahim, Khalifa, El-Hossamy ve Tawfik (2010) pamuk lifinden üretilmiş örme kumaşlarda yumuşatma işleminin kumaşların çekme eğilimini azalttığı, sert tutumunu yumuşattığı, bio-parlatma işleminin hava geçirgenliği ve

ısı iletimini arttırdığı, örme yapılarından lacoste örgülerin en yüksek hava geçirgenliği ve ısıl iletkenlik değerleri verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Kotb (2012) düz ve ribana örgülü pamuk, polyester ve karışımlarından üretilen örme kumaşlara on kez tekrarlı yıkama uyguladığı çalışmasında; yıkama işlemleri sonrasında elektrostatik yüklenme eğiliminin azaldığı, kumaş kalınlığı, kumaş ağırlığı, yüzey düzgünlüğü ve kumaş sıklıklarının arttığı sonucuna varmıştır. Ala ve Bakıcı (2016) denim görünümlü örme kumaşlarda ev tipi yıkama ve kurutma işlemlerinin etkilerini incelediği çalışmalarında, yıkanmış ve yıkanmamış kumaşlar karşılaştırıldığında; yıkama işlemi sonucu bütün kumaşların sıklık ve gramaj değerlerinin artış gösterdiğini, tekrarlı yıkama işlemlerinin deneysel kumaşların kalınlık ve hava geçirgenliği özelliklerini etkilediğini ve yıkama sayısına bağlı olarak kumaşların kalınlıklarının arttığını, hava geçirgenliklerinin ise azaldığını, tekstil ürününün bakım sürecinin bir parçası olan ev tipi yıkama ve kurutma işlemlerinin tekstil ürünlerinin kalite özelliklerini etkilediğini ifade etmişlerdir.

### **3. KUMAŞ KALINLIĞININ ISIL KONFOR ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

#### **3.1. Kumaş Kalınlığının Isıl İletkenlik, Isıl Direnç ve Isıl Soğurganlığa Etkisi**

Isıl direnç (R) (Stabil durumda) Materyalin ısı akışına dayanımıdır (Marmaralı vd. 2006). Isıl direnç, kumaşların kalınlığına ve ısıl iletkenliğine bağlıdır. Isıl direncin formülüne bakıldığında kumaş kalınlığının etkisi görülmektedir. ( $R = h/\lambda$  ( $m^2K/W$ ), Burada; h: kalınlık (m),  $\lambda$ : ısıl iletkenlik'tir ( $W/mK$ ), (Marmaralı vd. 2006).



Isıl izolasyon özelliği için kalınlık, konstrüksiyon, gözeneklilik ve kütle yoğunluğu belirleyici faktörlerdir. Konstrüksiyonu aynı olan kumaşlardan kalın olanın, kalınlığı aynı olan kumaşlardan kütle yoğunluğu düşük olanın ısı izolasyonu daha yüksektir (Clulow 1978, Yoon ve Buckley 1984, Ukponmwan 1993).

Isıl iletkenlik ( $\lambda$ ): Bir materyalden birim kalınlıkta,  $1^\circ\text{K}$  sıcaklık farklılığında geçen ısı miktarının ölçüsüdür. Malzemenin iki yüzeyi birim sıcaklık farkına maruz kaldığında gerçekleşmektedir (Marmaralı vd. 2006). Isıl iletkenlik değerine etki eden en önemli parametreler malzemenin kalınlığı ve yoğunluğudur.

Sıcak soğuk hissi olarak da adlandırılan ısıl soğurganlık; farklı sıcaklıktaki iki materyal birbirine temas ettiğinde meydana gelen ani ısı akışıdır. (Marmaralı vd. 2006). Eğer ısıl soğurganlık değeri düşük ise kumaş ilk temas anında sıcak his, yüksek ise soğuk his, vermektedir. Isıl soğurganlık malzemenin ısıl iletkenlik, yoğunluk ve özgül ısı değerleriyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Giysilerin verdiği sıcak ya da soğuk hissinin hangisinin daha iyi olduğu, kullanıcının beklentilerine bağlıdır. Sıcak iklim bölgelerinde soğuk hissi veren giysiler (örneğin pamuklu), soğuk bölgelerde ise sıcak hissi veren giysiler (örneğin PES/yün karışımı) tercih edilir (Hes 1999).

Yapılan çalışmaların birçoğunda kumaş kalınlığının kumaşların ısıl direnç, ısıl iletkenlik, ısıl difüzyon ve ısıl soğurganlık özelliklerine etki ettiği görülmüştür (Holcombe ve Hoschke 1983, Yoon ve Buckley 1984, Hes 1999, Güneşoğlu 2005, Kothari 2006, Morton ve Hearle 2008, Celcar, Meinander ve Gersak 2008, McGregor ve Postle 2008, Özdil 2008, Stankovic vd. 2008, Turay vd. 2009, Sampath vd. 2011, Oğlakçioğlu vd. 2013, Öner 2015, Yavaşcağlu vd. 2018, An, Gam ve Cao 2013, Bedez Üte vd. 2018). Aşağıda bu çalışmalardan bazıları sunulmuştur.

Holcombe ve Hoschke (1983) iç giyimlik kumaşları incelediği çalışmalarında, düşük yoğunluklu kumaş yapılarının ısıl direncinin kumaş kalınlığı ile belirlendiğini, ısıl iletkenlik ile kalınlık arasında ilişki olduğunu, lif tipi ve kumaş yapısı gibi parametrelerin bu özelliklere daha az ama ayırt edici bir etkisinin olduğunu, ayrıca ısıl direnç değeri yükseldikçe kumaşın ısı transfer yeteneğinin azaldığını bildirmiştir. Yoon ve Buckley (1984) poliester, pamuk, poliester/pamuk karışımli kumaşlarda, kumaş yapısı ve lif tipinin ısıl konforu doğrudan etkilediğini, ısıl direnç, su buharı geçirgenliği ve hava geçirgenliğinin kumaşın kalınlık ve gözeneklilik gibi geometrik özelliklerine bağlı olduğunu, buna karşılık sıvı iletiminin ise büyük oranda lif tipinden etkilendiğini ifade etmişlerdir. Güneşoğlu (2005), spor giysilik örme kumaşlarda, ısıl direnç ile kumaş kalınlığı arasındaki kuvvetli bir ilişki olduğunu, kuru haldeki kumaşın ısıl direncinin kalınlığa bağlı olduğunu, kumaş yapısı ve lif iletkenliğinin etkisinin çok daha az olduğunu, bir kumaşın hangi lif tipinden imal edilmiş olursa olsun yeteri derecede kalın ve uygun bir şekilde imal edilmiş ise istenen değerde ısı yalıtkanlığına sahip olabileceğini ifade etmiştir. Çalışmada ayrıca termal difüzyonu belirleyen ana faktörün lif tipi değil kumaş konstrüksiyonu olduğu sonucuna varılmıştır. Kumaş kalınlığı arttıkça, azalan kumaş yoğunluğu nedeniyle termal difüzyon değerleri artış göstermiştir. İnce kumaş yapılarının daha yüksek ısıl soğurganlığa sahip olduğu ve kullanım esnasında daha soğuk hissi verdiği görülmüştür. Araştırmacıya göre; düşük kalınlıktaki kumaşların termal dirençleri de düşük olmakta, bu kumaştan mamul giysiler vücuttan daha yüksek oranda ısı enerjisi kaybına izin vermektedirler.

Morton ve Hearle (2008), kumaş kalınlığı ve yoğunluğunun ısıl iletkenlik değerlerine etki eden en önemli parametreler olduğunu, Celcar, Meinander ve Gersak (2008) kumaşların ısıl direnç özelliklerinin kalınlıkları ile doğru orantılı olarak arttığını ifade etmiştir. McGregor ve Postle

(2008) ısı direnç değerlerinin öncelikle kumaş kalınlığına bağlı olduğunu, lif tipinin öneminin çok düşük olduğunu ifade etmiştir. Özdiil'in (2008), %100 akrilik, %100 yün, %100 pamuk ve %50-50 pamuk-PA ve yün-akrilik karışımli çoraplar ile yaptığı çalışmasında, %100 yünlü çorapların ısıli iletkenlik değeri, %100 akrilik çoraplardan düşük bulunmuştur. Çalışmaya göre, %100 akrilik çorapların daha az kalınlık ve daha yüksek iletkenliğe sahip olmaları nedeniyle akrilik-yün karışımı çoraplara göre ısıli direnç değeri daha düşüktür. %100 akrilik çorapların akrilik yün karışımı çoraplara göre ısıli soğurganlık değeri daha yüksek bulunmuştur. Dolayısıyla yün içeren çoraplar ilk temas anında daha sıcak hissi vermektedir.

Turay, Özdiil ve Süpüren (2009), örülmüş fantezi ipliklerden elde edilen örme kumaş yapılarında, fantezi iplik üretiminde kullanılan iğne sayısının etkisini incelemiş, kullanılan iğne sayısının artışıyla, iplik kalınlığının ve dolayısıyla kumaş kalınlığının arttığını, ısıli iletkenlik değeri de genellikle arttığını ifade etmişlerdir. Bu durumu iğne sayısının artması ile aynı sıklıkta örülen kumaşların gözenekliliğinin azalması nedeniyle içerdikleri durgun hava miktarının düşmesi ile açıklamışlardır. Dolayısıyla yüksek iğne sayısıyla elde edilen kalın ipliklerden üretilen kumaşların ısıli iletkenlik değeri yüksektir. ısıli direnç ile ısıli iletkenlik arasında ters bir ilişki olmasına rağmen, 2 ve 4 iğne kullanılarak örülmüş fantezi ipliklerden üretilmiş olan kumaşlarda, iğne sayısının artışı ile kumaşların ısıli dirençleri de artmıştır. Bunun sebebinin kumaşlardaki kalınlık artışının fazla olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Çalışmaya göre, kumaş kalınlığındaki artış ısıli iletkenlikteki artıştan daha fazla olduğu için ısıli direnç değeri de artış ortaya çıkmaktadır. Oğlakçioğlu vd. (2013), bisikletçi giysilerinde kullanılan kumaşların ısıli direnç özelliğinin malzeme kalınlık değeri ile doğru orantılı bir değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Yavaşcaoğlu, Eren ve Süle (2018) akrilik karışımli gömleklik

kumaşlarda, kumaş kalınlığının ısı iletkenlik ve ısı direnç etkisi olduğunu ve aralarında pozitif ve güçlü bir ilişki bulunduğunu ifade etmişlerdir. Kalınlığın az olduğu kumaşlarda ısı direncin düşük olduğu, kumaş kalınlığı arttıkça ısı soğurganlığın azaldığı, yani kumaşın daha sıcak his verdiği sonucuna varmışlardır.

Yapılan çalışmalara göre, kalınlık arttıkça ısı direnç ve ısı difüzyon artmakta, ısı iletkenlik ve ısı soğurganlık azalmaktadır. Isı direnç ile ısı iletkenlik arasında negatif bir ilişki vardır. Ancak ısı direncin yüksek bulunduğu bazı araştırmada, ısı iletkenlikte yüksek bulunmuştur. Araştırmacılar bunun sebebini kumaş kalınlığındaki artışın ısı iletkenlikteki artıştan fazla olmasından kaynaklandığı şeklinde açıklamışlardır (Turay vd. 2009, Özdi 2008)

### **3.2. Kumaş Kalınlığının Nem Yönetimi, Hava ve Su buharı Geçirgenliğine Etkisi**

Hava geçirgenliği ( $l/m^2/sn$ ), bir materyalin iki yüzeyi arasından, belirli bir basınç farkı altında birim zamanda ve birim alandan geçen hava miktarıdır. Havanın lifler, iplikler ve kumaş yapısı içerisinde geçebilme kabiliyetidir.

Su buharı geçirgenliği ( $g/m^2hPa$ ), kumaşın su buharını geçirebilme yeteneğidir. Bir metre karede bir saatte ve bir paskal basınç altında geçen gram cinsinden su buharı miktarı olarak ifade edilir (Marmaralı vd. 2006).

Kumaşın tipi (dokuma, örme, nonwoven), hammadde ve iplik özellikleri, sıklığı, örgü tipi, kalınlığı, yoğunluğu, gramajı ve gözenekliliği gibi yapısal parametreleri, kat sayısı, bitim işlemleri, sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr hızı gibi çevresel etkiler, kumaş içinden geçen maddenin viskozite gibi özellikleri kumaşların geçirgenlik özelliklerini etkiler. Eğer kumaşın hava geçirgenliği yüksekse bu su buharı ve sıvı nemin kumaşın iç yüzeyinden dış yüzeyine geçebile-

ceği ve çevreye buharlaşabileceği anlamına gelir (Turan ve Okur).

Yapılan çalışmalarda kalınlığın hava ve su buharı geçirgenliği, su buharı direnci ve nem yönetim özelliklerine etkisinin olduğu görülmüştür (Davis 1958, Crow ve Oszcewski 1998, Bayazıt Marmaralı 2003, Özdil 2008, Mavruz ve Oğulata 2009, Yanılmaz ve Kalaoğlu 2012, Demiröz Gün ve Bodur 2014, Li vd. 2016, Gündüz 2016, Atasağın vd. 2017, Hassan vd. 2017, Yavaşcaoglu vd. 2018, Gürarda vd. 2018). Aşağıda bu çalışmalardan bazıları sunulmuştur.

Davis (1958), nonwoven kumaşlarda kalınlık, yoğunluk ve lif çapı gibi yapısal özelliklerin hava geçirgenliğini etkilediğini, kalınlık ve yoğunluk ile hava geçirgenliği arasında ters orantı olduğunu ve yoğunluk azaldıkça akışın arttığını ifade etmiştir.

Bayazıt Marmaralı (2003), pamuk-elastan ve %100 pamuklu süprem örme kumaşları karşılaştırdığı çalışmasında, elastan içeren kumaşların daha sıkı bir yapı eğilimi göstermesi sebebiyle, bu tür kumaşların elastansız kumaşlara göre gramajı ve kalınlık değerlerinin daha yüksek, hava geçirgenliği ve pilling eğiliminin ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Özdil (2008), %100 pamuk ve %50-50 pamuk-PA ipliklerden örülen çoraplarda, pamuk ve PA ipliklerden örülen çorapların su buharı geçirgenlikleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu, %100 pamuk çorapların gözeneklilik değerinin en fazla ve kalınlığının en düşük olmasından dolayı en yüksek hava geçirgenliği değerine, kalınlığı en fazla ve gözenekliliği en düşük olan %50-50 pamuk-PA çorapların en düşük hava geçirgenliği değerine sahip olduğunu ifade etmiştir.

Mavruz ve Oğulata (2009), pamuklu örme kumaşların hava geçirgenliğini inceledikleri çalışmalarında, iplik numarası ve ilmek iplik uzunluğu değerlerinin, hava geçir-

genliği üzerinde pozitif, kumaş kalınlığı ve ilmek sıklığının ise negatif etki ettiğini, yani iplik numarası ve ilmek iplik uzunluğu değerlerinin artmasıyla hava geçirgenliği değerlerinin arttığını, kumaş kalınlığı ve ilmek sıklığı değerleri arttıkça hava geçirgenliğinin azaldığını saptamışlardır. Bu sonucu, kalınlık fazla olduğu için hava geçişine izin veren gözenekler azaldığından hava geçirgenliğinin azaldığı şeklinde yorumlamışlardır. Kumaş kalınlığı, kumaş gözenekliliğini, kumaş gözenekliliği de geçirgenlik özelliğini etkilemektedir.

Yanılmaz ve Kalaoğlu (2012) akrilik ipliklerden üretilmiş süprem örme kumaşlarda, kumaşların su buharlaştırma oranının tamamen kumaş kalınlığına bağlı olduğu ve kalınlık arttıkça bu oranının düştüğünü, su temas açısı ölçümlerinde sıkı kumaşların, gevşek olanlara göre daha yüksek temas açısına sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Demiröz Gün ve Bodur (2014) kumaşların kalınlığı ve gözenekliliğinin, iplik numarası ve hammadde cinsinin su buharı geçirgenliğini etkileyen en önemli parametreler arasında olduğunu, kumaş kalınlığının su buharı geçirgenliğiyle ters, gözenekliliğin ise doğru orantılı bir ilişki içinde olduğunu belirtmişlerdir. Li, Wu, Chen ve Du (2016) PES, pamuk ve pamuk/PES karışımı giysilik kumaşların ısı özelliklerini inceledikleri çalışmada, kumaşın geometrik parametrelerinin, kalınlığının ve gözenekliliğinin genel olarak kumaşın ısı yalıtımı, hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliğine etki ettiğini ifade etmişlerdir.

Gündüz (2016), düşük kalınlık ve düşük sıklık değerinden dolayı ribana örgülü kumaşların en yüksek nem yönetim değerini verdiğini, kalın interlok kumaşların gözenekliliği fazla olduğundan en düşük nem yönetim değeri verdiğini, nem yönetimi ve gözeneklilik değerlerinin birlikte incelenmesi gerektiğini ifade etmiştir. Atasagun vd. (2017), kumaş kalınlığı azaldıkça ıslanma süresinin kısaldığını, aynı materyal özelliğine sahip kumaş numuneleri-

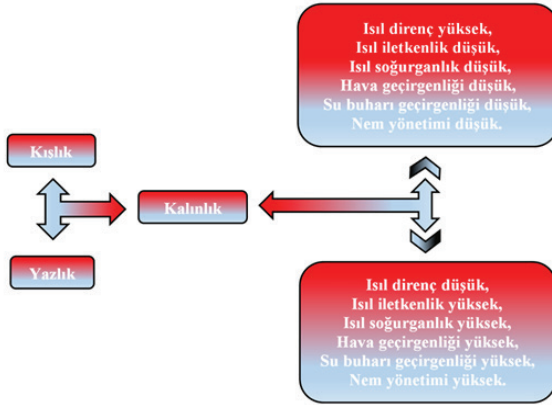
ne aynı miktarda su uygulandığında, ince olan kumaşların kalın olanlara göre daha çabuk ıslandığını ifade etmişlerdir. Hassan vd. (2017), pamuk, yün, akrilik, yün/akrilik, pamuk/akrilik iplikler ve viskon/likra, pamuk/PES, viskon-pamuk/PES, pamuk-bambu/PES kaplamalı ipliklerle üretilen örme çoraplarda, poliester ve likra ile kaplanmış ipliklerle üretilen çorapların daha kalın ve sıkı olmasından dolayı daha düşük hava geçirgenliği gösterdiği, ısıl dirençlerinin yüksek, ısı iletkenliklerinin ise düşük olduğu, en düşük ısı iletkenlik değerini likra/viskon çoraplardan, en yüksek ısıl direnç ve en sıcak temas hissinin yün/akrilik ipliklerden elde edilen çoraplardan elde edildiğini ifade etmişlerdir.

Yavaşcaoglu, Eren ve Süle (2018) akrilik/pamuk, akrilik/viskon ve akrilik/PES atkılı gömleklik dokuma kumaşlarda, pamuk/akrilik atkılı kumaşlarda hava geçirgenliğinin artmasının sebebinin, kumaş kalınlığının azalması olduğunu, viskon/akrilik ve PES/akrilik atkılı kumaşlarda da %100 viskon ve %100 PES atkılı kumaşlara göre kalınlık azaldığı için hava geçirgenliğinin artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Gürarda, Zengin ve Tosun (2018) viskon/PES karışımı giysilik dokuma kumaşların hava geçirgenliği özelliklerini inceledikleri çalışma sonuçlarına göre, kumaşların gramaj, kalınlık, örtme faktörü ile hava geçirgenlik değerleri arasında negatif korelasyon bulunduğu sonucuna varmışlardır.

#### 4. SONUÇ

Kumaş kalınlığı elde edilen giysinin yazlık veya kışlık kullanımını ve modelini etkilediği gibi giysinin fiziksel, mekanik ve konfor özelliklerini de etkilemektedir. Bu çalışmada kumaş kalınlığının kumaşların ısıl konfor özelliklerine etkisi, ilgili literatür taraması sonucu elde edilen araştırma sonuçlarına göre değerlendirilmiştir (Şekil 4.1). Sonuçlara göre;

- Kumaş kalınlığı arttıkça hava geçirgenliği azalmaktadır.
- Kumaş kalınlığı arttıkça ısı direnç artmaktadır.
- Kumaş kalınlığı arttıkça, ısı iletkenlik azalmaktadır.
- Kumaş kalınlığı arttıkça ısı absorpsiyon azalmakta, kumaş daha sıcak his vermektedir.
- Kumaş kalınlığı arttıkça su buharı geçirgenliği azalmaktadır.
- Kumaş kalınlığı arttıkça, ısı difüzyon artmaktadır.
- Kumaş kalınlığı arttıkça, nem yönetimi düşmektedir.



Şekil 4.1. Kumaş kalınlığı ile ısı konfor özellikleri arasındaki ilişki



## KAYNAKLAR

- Ala, D., M., Bakıcı, G., G. 2016.** Ev tipi yıkama ve kurutma işlemlerinin denim görünümlü örme kumaşların kalınlık ve hava geçirgenlik özelliklerine etkisi, *Tekstil ve Mühendis*, 23 (104):263-270
- An, S.K., Gam, H.J. ve Cao, H. 2013.** Evaluating thermal and sensorial performance of organic cotton, bamboo-blended, and soybean-blended fabrics. *Clothing and Textiles Research Journal*, 31 (3): 157-166.
- Anonim, 2016.** <http://www.iccevrekalitesi.net/pSerbestlikDerecesi/2.pSerbestlikDerecesi>, (Erişim Tarihi: 14.01.2016).
- Atasağun, H.G., Okur, A., Psikuta, A., Rossi, M.R., Annaheim, S. 2017.** Determination of the effect of fabric properties on the coupled heat and moisture transport of underwear–shirt fabric combinations. *Textile Research Journal*, 88(11): 1319-1331.
- Bayazıt Marmaralı, A. 2003.** Dimensional and physical properties of cotton/spandex single jersey fabrics, *Textile Research Journal*, 73: 11-14.
- Bedeç Üte, T., Çelik, P., Kadoğlu, H., Üzümcü, M.B., Ertekin, G., Marmaralı, A. 2018.** Farklı doğal liflerin iç giysilerde kullanımının konfor özellikleri açısından araştırılması, *Tekstil ve Mühendis*, 25: 112, 335-343.
- Behera, B., Ishtiaque, S., Chand, S. 1997.** Comfort properties of fabrics woven from ring-, rotor-, and friction-spun yarns. *Journal of the Textile Institute*, 88 (3): 255-264.
- Celcar, D., Meinander, H., Gersak, J. 2008.** A study of the influence of different clothing materials on heat and moisture transmission through clothing materials, evaluated using a sweating cylinder. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 20 (2): 119-130.
- Clulow, E.E. 1978.** Thermal insulation properties of fabrics. *Textiles*, 7(2): 47-52.
- Collier, B. J., Epps, H. H. 1999.** *Textile testing and analysis*. Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

- Crow, R.M., Osczevski, R.J. 1998.** The interaction of water with fabrics. *Textile Research Journal*, 68(4): 280-288.
- Çoruh, E., Değirmenci, Z., Acar, P. 2018. Üniversite öğrencilerinin giysi konfor özellikleri konusunda farkındalıklarının araştırılması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(3): 217-224.
- Davis, N.C. 1958.** Factors influencing the air permeability of felt and felt-like structures, *Textile Research Journal*, 69, 311-317.
- Demiröz Gün, A., Bodur, A. 2014.** Kumaşların su buharı geçirgenliği, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(3): 20-34.
- Doba Kadem, F. 2007.** İpliği boyalı pamuklu kumaşlarda bazı fiziksel özelliklerin seçilmiş performans özellikleriyle ilişkisinin araştırılması. *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Erdoğan, M. Ç., İllez, A.A. 2004.** Giysilerde esneme konforu. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 14(4): 251-256
- Ertekin, G., Marmaralı, A. 2011.** Yuvarlak örme sandviç kumaşların ısı, hava ve su Buharı transfer özellikleri, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4: 369-373.
- Grabowska, K. E. 2001.** Personal protection by textiles in the focus of stabilisation thermal conditions. Texnitex ,1st Autex Conference, The University of Minho, Povia de Varzim Portugal.
- Gündüz, G. 2016.** Bakır amonyum/pamuk karışımli örme kumaşların nem yönetim performansının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, PÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Güneşoğlu, S. 2005.** Sportif amaçlı giysilerin konfor özelliklerinin araştırılması, *Doktora Tezi*, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Gürarda, A., Zengin, T., Tosun, G. 2018.** Investigation of the effect of apparel fabrics structure on air permeability and

thermal comfort properties. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23 (3), 169-178. Doi: 10.17482/uumfd.452140.

**Hassan, M., Hasan, F.K.M., Khandaker, R.F., Karmaker, K., Deng, Z., Zilani, M.J. 2017.** Functional properties improvement of socks items using different types of yarn. *International Journal of Textile Science*, 6(2): 34-42

**Havenith, G. 2002.** The interaction of clothing and thermoregulation. *Exogenous Dermatology*, 1(5): 221-230.

**Hes, L. 1999.** Optimisation of shirt fabrics' composition from the point of view of their appearance and thermal comfort. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 11(2/3):105-115.

**Holcombe, B.V., Hoschke, N. 1983.** Dry heat transfer characteristics of underwear fabrics. *Textile Research Journal*, 53(3): 368-374.

**Ibrahim, N.A., Khalifa, T.F., El-Hossamy, M.B., Tawfik, T.M. 2010.** Effect of knit structure and finishing treatments on functional and comfort properties of cotton knitted fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 40 (1): 49-62.

**Kremenakova, D., Kolcavova Sirkova, B., Mertova, I. 2004.** Internal standards, Research centre, Liberec

**Kremenakova D., Mertova I., Kolcavova Sirkova B. 2008.** Computer aided textile design 'LibTex', *Indian Journal of Fiber & Textile Research*, India, 33: 40-404.

**Kolcavova Sirkova, B, 2012.** Description of fabric thickness and roughness on the basis of fabric structure parameters. *AUTEX Research Journal*, 12(2): 40-43

**Kotb, N. A. 2012.** Changes in Knitted Cotton/Polyester Fabric Characteristics Due to Domestic Laundering, *Journal of American Science*, 8(5): 677-682.

**Kothari, V.K. 2006.** Thermo-physiological comfort characteristics and blended yarn woven fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 31: 177-186.

- Li, J., Barker, R.L., Deaton, A.S. 2007.** Turnout clothing by a sweating manikin evaluating the effects of material component and design feature on heat transfer in firefighter, *Textile Research Journal*, 77(2): 59–66.
- Li, M., Wu, Y., Chen, C., Du, Z. 2016.** Characterization of planter press-comfort performance of warp-knitted spacer fabrics. *Textile Research Journal*, 24.
- Li, Y. 2001.** The science of clothing comfort. *Textile Progress*, The Textile Institute International, 31(1/2): 138.
- Malciauskiene, M. 2008.** Investigation of linen honeycomb weave fabric shrinkage after laundering in pure water, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 6(71): 28-31.
- Marmaralı, A., Dönmez Kretzschmar, S., Özdil, N., Gülsevin Oğlakcioğlu, N. 2006.** Parameters that affect thermal comfort of garment. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16 (4): 241-246.
- Mavruz, S., Oğulata, R.T. 2009.** Pamuklu örme kumaşlarda hava geçirgenliğinin incelenmesi ve istatistiksel olarak tahminlenmesi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 29-38.
- Mavruz, S., Oğulata, R.T. 2010.** Investigation of air permeability of single jersey fabrics with different relaxation states. *Journal of the Textile Institute*, 102 (1): 57- 64.
- McCullough, E.A., Jones, B.W., Tamura, T. 1989.** A data base for determining the evaporative resistance of clothing. *ASHRAE Transactions*, 95(2): 316-328.
- McGregor, B.A., Postle, R. 2008.** Mechanical properties of cashmere single jersey knitted fabrics blended with high and low crimp superfine merino wool. *Textile Research Journal*, 78(5): 399-411.
- Milenkovic, L., Skundric, P., Sokolovic, R., Nikolic, T., 1999.** Comfort Properties of Defence Protective Clothing, *The Scientific Journal Facta Universitatis*, 1(4): 101–106.
- Morton, W. E., Hearle, J.W.S. 2008.** Physical properties of textile fibres. (4th ed.). Cambridge: The Textile Institute, CRC Press, Woodhead Publishing Limited.

- Nahla A., Mohsen, H.A., Ghada, A.K. 2012.** Effect of number of fibres per yarn crosssection on moisture vapour transport in knitted garment, *Journal of American Science*, 8(11): 370-378.
- Oğlakçioğlu, N., İlleez, M., Erdoğan, Ç., Marmaralı, A., Güner, M. 2013.** Bisikletçi giysilerinde dikim işleminin ısı konfor özelliklerine etkisi, *Tekstil ve Mühendis*, 20(90): 32-41.
- Öner, E. 2015.** Çeşitli liflerden üretilen kumaşlardan yapılan spor giysilerinin ısı konforunun değerlendirilmesi ve geliştirilmesi. *Doktora Tezi*, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Öner, E., Okur, A. 2011. Materyal, üretim teknolojisi ve kumaş yapısının ısı konfora etkileri. *Tekstil ve Mühendis*, 17(80): 20-29.
- Özipek, B., Sadıkoğlu, T.G. 1999.** Tekstil malzemelerinin ısı özellikleri. *Tekstil & Teknik*, Aralık:137-139.
- Özdil, N. 2008. Çoraplarda ısı konfor özellikleri üzerine bir çalışma. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 18(2): 154-158
- Punna, T., Amsamani, S. 2012.** Investigations on moisture transmission characteristics of blended single jersey fabrics, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 7(4): 1-17.
- Sampath, M.B., Mani, S., Nalankilli, G. 2011.** Effect of filament fineness on comfort characteristics of moisture management finished polyester knitted fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 41(2): 160-173.
- Saville, B. P. 1999.** Physical testing of textiles. Cambridge: The Textile Institute, CRC Press, Woodhead Publishing Limited.
- Senthilkumar, P., Dasaradan, B. S. 2007.** Comfort properties of textiles. IE(I) Journal–TX, 88(3-4), <http://www.ieindia.org/pSerbestlikDerecesi/88/88TX101.pSerbestlikDerecesi>, (Erişim Tarihi: 18.03.2017).

- Shishoo, R. 2005.** Textiles in sport. Woodhead Publishing/The Textile Institute, Cambridge, UK, 376pp.
- Song, G. (Ed.) 2011.** Improving comfort in clothing. Cambridge: The Textile Institute, CRC Press, Woodhead Publishing Limited.
- Şekerden, F. 2009. Pes/Vis/Lycra® içerikli atkı elastan dokumalarda çeşitli dokuma faktörlerinin kumaşın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, Adana.
- Şekerden, F., Çelik, N. 2010. Weft elastane weaving and fabric characteristics. *Textile and Apparel*, 20 (2): 120-129.
- Turan, R.B. 2012.** Kumaşların geçirgenlik özellikleri ile yapısal ve geometrik özellikleri arasındaki ilişkiler, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Turan, R.B., Okur, A. 2008.** Kumaşlarda hava geçirgenliği, *Tekstil ve Mühendis*, 15(72): 16-25.
- Turay, A., Özdil, N., Süpüren, G. 2009.** Örülmüş fantezi ipliklerde üretim parametrelerinin kumaşların termofizyolojik özelliklerine etkisi. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4/2009: 280-285.
- Türksoy, H.G., Akkaya, T., Üstündağ, S. 2017.** Hava jetli ipliklerin dokuma kumaş performanslarının değerlendirilmesi, *Tekstil ve Mühendis*, 24(107): 138-145
- Ukponmwan, J.O. 1993.** The thermal insulation properties of fabrics. Textile Progress Textile Institute, UK. 51 pp.
- Yanılmaz, M., Kalaoğlu, F. 2012.** Investigation of wicking, wetting and drying properties of acrylic knitted fabrics, *Textile Research Journal*, 82(8): 820-831. Doi: 10.1177/0040517511435851
- Yavaşcağlu, A. 2017.** A research about comfort features expectations of textile department students from apparels Yalova Vocational School Example. *2.nd International Conference The West Of The East, The East Of The West*, Prague.

- Yavaşcağlu, A. 2018.** Akrilik karışımli ipliklerden dokunmuş kumaş özelliklerinin araştırılması, *Doktora Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Yavaşcağlu, A., Eren, R., Süle, G. 2018.** Effects of usage acrylic yarn on thermal comfort and moisture management properties of woven shirting fabrics. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 28 (2): 141-150.
- Yoon, H. N., Buckley, A. 1984.** Improved comfort polyester part 1: Transport properties and thermal comfort of polyester/cotton blend fabrics. *Textile Research Journal*, 54(5): 289-298.
- Yoo, H.S., Hu, Y.S., Kim, E.A. 2000.** Effects of heat and moisture transport in fabrics and garments determined with a vertical plate sweating skin model. *Textile Research Journal*, 70 (6): 542-549.

**REKOMBİNANT MOLEKÜLLERİN  
ÜRETİMİNDE MİKROALGLERİN  
KULLANIMI: MİKROALGLERDE  
GENETİK MÜHENDİSLİĞİ  
UYGULAMALARI**

**Arzu YILDIRIM<sup>1</sup>**



---

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü,  
35100 Bornova İzmir, email: arzu.yildirim@ege.edu.tr







# REKOMBİNANT MOLEKÜLLERİN ÜRETİMİNDE MİKROALGLERİN KULLANIMI: MİKROALGLERDE GENETİK MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

Arzu YILDIRIM<sup>1</sup>

## GİRİŞ

Mikroalgler, bitki benzeri protistalar grubuna dahil, fotosentetik, çoğu tek hücreli, ökaryotik organizmalardır. Hem tatlı hem de tuzlu sularda yaşayabilen ve çok geniş tür çeşitliliğine sahip mikrolaglerin pigment, protein ve lipidler gibi doğal hücre içerikleri biyoteknolojik açıdan önem arz etmektedir. Özellikle son yıllarda artan enerji ihtiyaçları doğrultusunda mikroalglerin biyoyakıt eldesi için değerlendirilmelerine yönelik olarak yoğun çalışmalar mevcuttur.

Mikroalgal türler, yüksek değere sahip rekombinant moleküllerin üretimi için de alternatif bir üretim sistemi olarak yıllardır ilgi görmektedir. Alglerin rekombinant moleküllerin üretimi için kullanılması memeli, bakteri, maya ve bitki gibi diğer hücre kültürü sistemlerine kıyasla daha yeni olsa da, kısa sürede kayda değer bir ilerleme sağlanmıştır. Mikroalglerin kullanıldığı üretim sistemleri, kültür ortamı gereksinimlerinin azlığı, ölçek büyütmenin kolay ve hızlı yapılabilmesi ve ürün ayırma-safılaştırma basamaklarının kolaylığı göz önüne alındığında, üretim maliyetleri açısından memeli hücre kültürü başta olmak üzere diğer üretim sistemlerine göre belirgin bir üstünlük sağlamaktadır (Banares ve ark. 2004). Ökaryotik çekirdek yapısı sayesinde hücre içinde üretilen memeli proteinlerinin glikolizasyon gibi kompleks post-translasyonel mo-

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 35100 Bornova İzmir, email: arzu.yildirim@ege.edu.tr

difikasyonlarını gerçekleştirebilen mikroalgal üretim sistemleri, bu açıdan prokaryotik bakteri sistemlerine yada proteinleri hiperglikolizasyona uğratan maya hücrelerine kıyasla daha avantajlı durmaktadır (Gregory ve ark. 2013). İkilene ömürlerinin ortalama 8-12 saat olması ise yetiştirilmesi yılları bulan bitkiler ile kıyaslandığında ölçek büyütme açısından büyük kolaylık sağlamaktadır. Alglerin çoğu türü yenebilir özellikte olup bitkiler gibi gıda olarak tüketimi güvenli kabul edilmektedir (Generally regarded as safe; GRAS). Bununla birlikte alglerin polenle çoğalması söz konusu olmadığından, özellikle rekombinant ürünlerin çevreye yayılması konusunda da transgenik bitkilerin sahip olduğu riskleri taşımamaktadırlar (Mayfield ve ark. 2007).

Mikroalg türleri içerisinde özellikle *Chlamydomonas reinhardtii*, rekombinant üretim platformu olarak en çok kullanılan alg türüdür. Fotosentetik canlılar için bir model organizma olan *C. reinhardtii*'nin hücresel özellikleri (Hummel ve ark. 2012), hayat döngüsü (Cross ve Umen, 2015) çekirdek ve tüm organellerinin genetik yapısı detaylı olarak çalışılmıştır (Harris 2001, Blaby ve ark. 2014, Gallaher ve ark. 2018, Salome ve Merchant 2019). *C. reinhardtii*'nin etkin bir üretim platformu olarak kullanılması amacı ile geliştirilen çok sayıda moleküler yöntemin varlığı (Jinkerson ve Jonikas, 2015) ve kullanılan tüm metodların, suşların ve taşıyıcı vektörlerin kolaylıkla ulaşılabilir olması (Chlamydomonas Resource Center: <http://www.chlamycollection.org>), bu organizmayı diğer mikroalgal türler içerisinde popüler kılmaktadır.

Bu güne kadar *C. reinhardtii* terapötik proteinler, büyüme faktörleri, edüstriyel enzimler, aşı alt üniteleri ve insan monoklonal antikorları gibi çok çeşitli rekombinant molekülün üretiminde başarıyla kullanılmıştır (Mikroalgler kullanılarak üretilen ürünlerin listesi daha detaylı olarak Gong ve ark. 2011, Rasala ve Mayfield 2015 ve Dyo ve

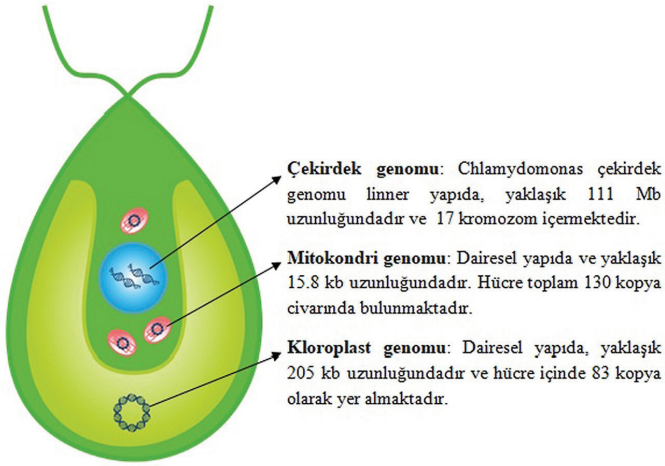
Purton 2018 gibi çok sayıda değerli derleme çalışmalarından da incelenebilir).

### ***Chlamydomonas reinhardtii*'de çekirdek ve organel genomlarının transformasyonu**

*C. reinhardtii*'nin çekirdek genomunun yanı sıra, sahip olduğu kloroplast ve mitokondri organellerinin genomları da transformasyon çalışmalarında kullanılmaktadır (Manuell ve ark. 2007, Rasala ve ark. 2012, Larosa ve Remacle 2013) (Şekil 1). Özellikle çekirdek ve kloroplast genomlarında gen ekspresyon düzeyini artırmaya yönelik yoğun çalışmalar yürütülmekle birlikte (Doron ve ark. 2016) bu iki genomun birbirine kıyasla birtakım üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Ökaryotik yapıdaki mikroalgal çekirdek genomunun disülfid bağ oluşumu ve glikolizasyon gibi proteinlerin katlanma ve biyoaktivitelerini etkileyen önemli post-translasyonel modifikasyonları gerçekleştiriyor olması, terapötik protein üretimi açısından mikroalgal çekirdek genomunu üstün kılan önemli özelliklerden biri olarak göze çarpmaktadır.

Çekirdek genomunda ifade edilen (eksprese edilen) proteinlerin sinyal peptidleri kullanılarak hücre içerisinde istenilen hedef bir bölgeye taşınması (Rasala ve ark. 2014) yada hücre dışına salınması da (sekresyonu) mümkündür. Salınım yaklaşımı sayesinde ayırma saflaştırma basamakları oldukça basit hale gelmekte ve daha ekonomik bir üretim modeli oluşturulabilmektedir. Bu metot endüstriyel bir enzim olan Ksilanaz'ın üretiminde etkin bir şekilde kullanılmıştır (Rasala ve ark. 2012). Benzer şekilde bir antifriz proteinin (Lauersen ve ark. 2015) ve hatta yüksek oranda glikolizasyona sahip (%40) bir insan kan proteini olan Eritropoetin'in de (EPO) üretimi mikroalglerden salınım yolu ile başarıyla gerçekleştirilmiştir (Eichler-Stahlberg ve ark. 2009).

Bütün bu avantajlarına rağmen çekirdek genomunun transformasyonuna yönelik çalışmalarda halihazırda iyileştirilmesi gereken sorunlar mevcuttur. Çekirdek genomuna aktarılan genin genomda rastgele bir bölgeye entegre olması gen ifadesi düzeyini pozisyonel etkilere açık hale getirmektedir. Bu etkiyi ortadan kaldırmak amacı ile çekirdek genomunda homolog rekombinasyon yoluyla transformasyonun gerçekleştirilmesine yönelik denemeler söz konusudur (Sodeinde and Kindle 1993, Slaninova ve ark. 2008). Hücreye aktarılan DNA'nın homolog rekombinasyon yoluyla çekirdek genomuna yerleşimini teşvik etmek üzere, hücrenin tek zincirli DNA ile transformasyonu (Zorin ve ark. 2005), hücrenin, homolog rekombinasyonun daha aktif olduğu, mitoz bölünmenin başlangıç evresinde iken transforme edilmesi (Sizova ve ark. 2013) ve Ku70/Ku80 heterodimerini oluşturan proteinleri susturulmuş hücrelerin transformasyonu gibi yöntemler sayılabilir. DNA tamir mekanizmasında yer alan bu heterodimer yapı, DNA uçlarının homolog olmayan yolla birleştirilmesini (Non-homologous end joining: NHEJ) teşvik etmektedir. (Fell ve Scild-Poulter 2012, Jinkerson ve Jonikas, 2015)



**Şekil 1:** *Chlamydomonas reinhardtii* hücresinde yer alan genomik DNA çeşitleri

Ayrıca DNA çift zincirinde kırılma oluşturarak çekirdek DNA'sının homolog rekombinasyonunu sağlamak amacı ile denenen yöntemler arasında “Çinko-parmak nükleazları (Zinc-finger nucleases: ZFNs)”, “Transkripsiyon aktivatörü benzeri efektör nükleazlar (Transcription activator like effector nucleases: TALENs)” ve çok daha yeni olan “CRISPR/Cas9” sistemi de sayılabilir. ZFN ve TALEN yapılarının ikisi de, birbirine benzer şekilde, *FokI* domain molekülü tarafından aktive edilen ve kendilerine özgü tanıma bölgelerinden DNA'yı çift zincirde kırılma oluşturacak şekilde kesen nükleaz enzimleridir. CRISPR sisteminin ZFN ve TALEN nükleaz enzimlerinden üstünlüğü ise genom üzerinde bir tanıma bölgesine gerek olmaksızın, istenen spesifik bir bölgede DNA fragmentinin genoma entegre edilebilmesidir. (Greiner ve ark. 2017, Jeon ve ark. 2017). Bu teknolojiler halihazırda gelişim aşamasındadır.

Bunların yanı sıra, entegre olan genin kaç kopya olarak genoma yerleştiğini kontrol edecek bir mekanizma bulun-

mamaktadır. Çekirdek genomunda aktarılan genin susturulmasına yönelik epigenetik mekanizmaların varlığı da çekirdek transformasyonu yoluyla yapılan çalışmalara bir engel teşkil etmektedir (Cerutti ve ark. 1997).

Kloroplast genomunda ekspresyon seviyesinin artırılmasına yönelik çalışmalarda çekirdek genomuna kıyasla çok daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun başlıca sebebi kloroplast genomuna gen aktarımının homolog rekombinasyon yoluyla gerçekleşiyor olmasıdır. Bu sayede transgen genomda tam olarak hedeflenen bir bölgeye yerleştirilebilmekte, böylelikle genin ifadesini olumsuz etkileyebilecek pozisyonel etkiler ortadan kalkmaktadır. Transformasyonun kalıcı olabilmesi ve diğer nesillere aktarılabilmesi için hücredeki tüm genom kopyalarının transgeni taşıdığı homoplazmik hücrelerin elde edilmesi gereklidir. Hücre içinde yaklaşık 83 kopya olarak yer alan *C. reinhardtii* kloroplast genomunda, homoplazmik hücrelerin elde edilmesi daha kolay ve kısa sürede gerçekleşmekte, bu da nesiller içerisinde genin kaybolması tehlikesi taşıyan çekirdek transformasyonuna kıyasla büyük bir üstünlük sağlamaktadır. Prokaryotik yapılara benzer olan algal kloroplast genomunun bakterilerden farklı olarak disülfid bağ oluşumu ve fosforilasyon gibi modifikasyonları gerçekleştirebiliyor olması da bu organel genomunu daha büyük ve kompleks yapıdaki proteinlerin üretimi açısından da diğer prokaryotik sistemlerden üstün kılmaktadır (Rasala ve Mayfield 2015).

### **Gen entegrasyonu için kullanılan transformasyon yöntemleri**

Hücreyi rekombinant hale getirmek için aşılması gereken ilk bariyer hücre duvarıdır. *Chlamydomonas* hücre duvarı glycoprotein yapıdadır, bu sebeple polisakkaritleri degrade eden enzimler yerine “hidroksil-prolin’e özgü proteaz enzimi” iş görmektedir. Otolizin de denen bu en-

zim gametogenezis ve eşlenme sırasında hücrenin kendisi tarafından üretilmektedir (Doron ve ark. 2016). Otolizin, Chlamy Resource Center’da yer alan mevcut protokoller doğrultusunda hazırlanabilmektedir. Transformasyonu gerçekleştirilecek hücrelerin otolizin ile inkübe edilerek hücre duvarından arındırılması yada hücre duvarı bulunmayan mutant suşların kullanımı transformasyon etkinliğini artırmaktadır. Hedeflenen DNA dizisini mikroalg hücresi içine aktarmak amacı ile elektroporasyon ve partikül tabancası gibi gelişmiş ve pahalı yöntemler kullanılmakla birlikte, cam boncukların kullanıldığı basit ve ekonomik yöntemler ile de transformasyon gerçekleştirilebilmektedir (Coll 2006, Jinkerson ve Jonikas 2015).

**Elektroporasyon:** Mikrolaglerde gen transformasyonu için kullanılan en etkin yöntemlerden biri olan elektroporasyon, hücre duvarında hedef DNA’nın geçebileceği porlar oluşturmak amacı ile elektrik akımının kullanılmasına dayanmaktadır. Bu yöntem mikrolaglerde çekirdek transformasyonu için tercih edilmektedir.

**Cam boncuklar:** Diğer yöntemlere kıyasla transformasyon etkinliği çok düşük olmasına rağmen, sistemin ucuz ve kolay uygulanabilir olması sebebi ile alg hücrelerinin transformasyonunda tercih edilen yöntemler arasındadır. Basitçe, DNA ve hücrelerin cam boncukların varlığında karıştırılmasına dayalı yöntem, hücre duvarı olmayan yada enzimatik yöntemle hücre duvarından arındırılmış hücreler için uygundur.

**Biolistik yöntem (partikül bombardımanı):** Balistik (mermi atışı) kelimesinden türetilerek oluşturulan biyolistik terimi, metal mikrotayıcıların (altın yada tungsten gibi) hedef DNA ile kaplanarak hücre içerisine gen tabancası yolu ile aktarılması şeklinde gerçekleştirilen yöntem için kullanılmaktadır. *C. reinhardtii*’nin transformasyonunda ilk kullanılan yöntemlerden biri olan bu teknik



(Kindle et al., 1989; Mayfield and Kindle, 1990), kullanılan materyal ve ekipmanlar açısından diğer yöntemlere göre oldukça pahalı olmasına rağmen, özellikle *C. reinhardtii* kloroplast transformasyonu için hala sıklıkla tercih edilmektedir (Gregory ve ark., 2016).

**Agrobakterium:** Yöntem *Agrobacterium tumefaciens* bakterisinin Ti plazmidinin virülens genleri çıkartılmış Transfer-DNA bölgesi kullanılarak hedef genin hücreye aktarımı şeklinde gerçekleşmektedir. Çoğunlukla bitki hücrelerinin transformasyonu için kullanılan bu yöntem mikroalg hücrelerinin transformasyonu için de değerlendirilmiş olmakla birlikte, diğer metotlara kıyasla fazla tercih edilmemektedir.

**Transformantların seçimi:** Yukarıda belirtilen yöntemlerin uygulanmasının ardından transforme kolonilerin oluşması yaklaşık 7-10 gün sürmektedir. Bu aşamada önemli olan gen aktarımı başarılmış hücrelerin diğerlerinden ayrılmasıdır. Bu amaçla sıklıkla kullanılan yöntem aktarılan gen kasetine bir antibiyotiğe dayanıklılık geni yerleştirilip, doğal suşun hayatta kalamayacağı düzeyde antibiyotik içeren bir ortamda transformasyonu yapılan hücrelerin geliştirilmesidir. Ayrıca belli bir metabolik özellik açısından mutasyona uğratılmış hücrelere, aktarılan gen kasetinde hedef DNA parçası ile birlikte o özelliğin tekrar kazandırılması yolu ile de seçim yapılabilmektedir. Örneğin, arginin sentezinden sorumlu *ARG9* geninin mutasyona uğraması sonucu arginin sentezleyemeyen hücrelere, hedef gen ile birlikte *ARG9* geni de aktarılarak hücreler arginin içermeyen ortamda büyütülmektedir. Gen kasetini içermeyen hücreler bu ortamda hayatta kalamayacağından dolayı, bu yolla rekombinant hücrelerin seçimi gerçekleştirilmektedir. Aynı mantıktan hareketle, fotosentez yetkinliği ortadan kaldırılmış hücrelerde de, fotosentez yapma özelliği hücreye tekrar kazandırılarak seçim işlemi uygulanmaktadır (Doron ve ark. 2016, Esland ve ark. 2018).

## Gen ifadesi düzeyini artırmaya yönelik çalışmalar

### Kodon kullanımının optimizasyonu

*C. reinhardtii* genomunun rekombinant moleküllerin üretimi için daha etkin olarak kullanılması amacı ile transgenin ekspresyon seviyesini ve ürün oluşumunu artırmak üzere farklı stratejiler geliştirilmiştir. Bunların başında kodon optimizasyonu gelmektedir. Aktarılabilecek olan genin organizmanın kodon kullanım tercihlerine uygun olarak sentezlenmesinin gen ifadesi düzeyini olumlu olarak etkilediği bir çok çalışma ile gösterilmiştir (Heitzer ve ark. 2007, Angov 2011, Barahimipour ve ark. 2015).

Aynı aminoasit dizisine sahip fakat farklı GC içeriği yada kodon kullanımı bulunan genlerin *C. reinhardtii* çekirdek genomunda ekspresyon düzeylerini inceleyen Barahimipour ve ark., (2015), genin amino asit dizisinde organizmanın tercih ettiği kodonların kullanımının genin ifade düzeyi ve mRNA stabilitesi için en önemli etmen olduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde kloroplast genomunda gerçekleştirilen gen ekspresyonu çalışmaları açısından da kodon kullanımının önemi büyüktür. *C. reinhardtii* kloroplastına yeşil florasan proteini (Green fluorescent protein; GFP) raportör geni kullanılarak yapılan bir çalışmada kodon optimizasyonu yapılan genin, hücre içinde 80 kat daha fazla protein birikimi sağladığı kaydedilmiştir (Franklin ve ark. 2002).

### Promotor ve UTR bölgeleri

Kullanılan promotorun genin ifade düzeyinde etkin olduğu bilinmektedir. Mikroalglerde farklı genlerin ifadesi amacı ile genellikle hücre içerisinde yüksek düzeyde ifade edilen genlerin promotorları ve düzenleyici elemanları kullanılmaktadır. Bu genler arasında özellikle, hücrede

karbon fiksasyonu açısından büyük öneme sahip ribuloz bifosfat karboksilaz/oksigenaz (Rubisco) geni ve fotosentezde önemli rol oynayan fotosistem I ve II reaksiyon merkezinde görevli proteinlere ait genler öne çıkmaktadır (Doron ve ark. 2016). GFP raportör geni kullanılarak yapılan ilk çalışmalarda, *C. reinhardtii* kloroplastında yer alan beş farklı genin promotor, 5' translasyona uğramayan bölgeler (Untranslated regions; UTR) ve 3' UTR dizilerinin gen ifadesi seviyesine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada genel olarak 3' UTR bölgelerinin gen ifadesinde fazla etkin olmadığı, promotor ve 5' UTR'lerin bu anlamda daha etkin rol oynadığı belirlenmiştir (Barnes ve ark. 2005, Rasala ve ark. 2011, Manuell ve ark. 2010). Ayrıca *atpA* ve *psbD* promotor ve UTR bölgeleri kullanıldığında, GFP ekspresyon düzeyinin toplam çözünebilir proteinlerin (total soluble proteins; TSP) %1'ine yakın seviyelere çıkarıldığı bildirilmiştir (Barnes ve ark. 2005). Bazı kloroplast genlerinin mRNA miktarlarının kendi proteinleri tarafından kontrol ediliyor olması (otoregülasyon) sebebi ile, promotoru kullanılacak olan genin kloroplast genomundan çıkarılması yolu ile ekspresyon seviyesinin artırılacağı düşüncesi ile daha sonraki çalışmalarda *psbA* geni hücreden çıkarılarak, *psbA* promotor ve 5' UTR bölgeleri, bir memeli proteini olan Bovin serum amiloid A3 (MAA) proteininin ekspresyonu için kullanılmıştır. Çalışma sonunda MAA proteininin toplam çözülebilir proteinlerin yaklaşık %10'u oranında kadar eksprese edilebildiği gösterilmiştir (Manuell ve ark. 2007).

## Sonuç ve Öneriler

Rekombinant mikroalglerin kullanımı gelecek için ümit vaat etmektedir. Halihazırda içerdikleri doğal bileşikler; lipidler, pigmentler, besinsel proteinler vb. bileşikler sebebi ile biyoteknoloji alanında geniş kullanımı bulunan mikroalglerin gerek kendi ürettikleri ürünlerin hücre içi üretim verimini artırmak, gerekse farklı organizmalarda

Üretilen ve endüstriyel olarak önemi olan hedef ürünleri üretmek açısından genetik mühendisliği uygulamaları potansiyel bir araç olarak durmaktadır. Şimdiye kadar yeşil algleri diatomları, kırmızı algleri, kahverengi algleri, glenoidleri ve dinoflagellatları içeren 30'a yakın mikroalg türü transformasyon çalışmalarında kullanılmıştır (Gong ve ark. 2011, Hamed 2016). Enerji ve besin ihtiyaının günden güne arttığı düşünüldüğünde, üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde zengin mikroalg çeşitliliğinin tüm potansiyelini kullanmak üzere genetik mühendisliği çalışmalarının, uygulamaya yönelik olarak değerlendirilmesinin önemli olduğu dŐnlmektedir.

## KAYNAKLAR

- Angov E., 2011. Codon usage: Nature's roadmap to expression and folding of proteins. *Biotechnol. J.* 2011, 6, 650–659. DOI: 10.1002/biot.201000332
- Barahimipour R., Neupert J., Bock, R., 2016. Efficient expression of nuclear transgenes in the green alga *Chlamydomonas*: synthesis of an HIV antigen and development of a new selectable marker. *Plant Mol Biol* 90:403–418, DOI: 10.1007/s11103-015-0425-8
- Barahimipour R., Strenkert D., Neupert J., Schroda M., Merchant S.S., Bock R., 2015. Dissecting the contributions of GC content and codon usage to gene expression in the model alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *The Plant Journal* 84, 704–717. DOI: 10.1111/tpj.13033
- Barnes D., Franklin S., Schultz J., Henry R., Brown E., Coragliotti A., Mayfield S.P., 2005. Contribution of 5'- and 3'-untranslated regions of plastid mRNAs to the expression of *Chlamydomonas reinhardtii* chloroplast genes. *Mol Gen Genomics*, 274: 625–636. DOI: 10.1007/s00438-005-0055-y
- Blaby I.K., 2014. The *Chlamydomonas* genome project: A decade on. *Trends Plant Sci.* 19: 672–680. DOI:10.1016/j.tplants.2014.05.008.
- Cerutti H., Johnson A.M., Gillham N.W., Boynton J E., 1997, Epigenetic silencing of a foreign gene in nuclear transformants of *Chlamydomonas*. *Plant Cell.* 1997 Jun; 9(6): 925–945. doi: 10.1105/tpc.9.6.925
- Coll J. M., 2006. Methodologies for transferring DNA into eukaryotic microalgae. *Spanish Journal of Agricultural Research* 4(4), 316-330. DOI: 10.5424/sjar/2006044-209
- Cross F.R. ve Umen J.G., 2015. The *Chlamydomonas* cell cycle. *The Plant Journal* 82, 370–392 DOI: 10.1111/tpj.12795
- Doron L., Segal N., Shapira M., 2016. Transgene expression in microalgae-from tools to applications. *Frontiers in Plant Science.* April 2016 | Volume 7 | Article 505. DOI: 10.3389/fpls.2016.00505

- Dyo Y.M. ve Purton S., 2018. The algal chloroplast as a synthetic biology platform for production of therapeutic proteins. *Microbiology* 164:113–121. DOI 10.1099/mic.0.000599
- Eichler-Stahlberg A., Weisheit W., Ruecker O., Heitzer M., 2009. Strategies to facilitate transgene expression in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Planta* (2009) 229:873–883, DOI 10.1007/s00425-008-0879-x
- Esland L., Larrea-Alvarez M., Purton S., 2018. Selectable Markers and Reporter Genes for Engineering the Chloroplast of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Biology* 7(4), pii: E46; DOI:10.3390/biology7040046
- Fell, V.L. ve Schild-Poulter C., 2012. Ku Regulates Signaling to DNA Damage Response Pathways through the Ku70 von Willebrand A Domain. *Mol Cell Biol.* 2012 Jan; 32(1): 76–87. DOI: 10.1128/MCB.05661-11
- Gallaher, S.D., Fitz-Gibbon, S.T., Strenkert, D., Purvine, S.O., Pellegrini, M., and Merchant, S.S., 2018. High-throughput sequencing of the chloroplast and mitochondrion of *Chlamydomonas reinhardtii* to generate improved de novo assemblies, analyze expression patterns and transcript speciation, and evaluate diversity among laboratory strains and wild isolates. *Plant J.* 93: 545–565. DOI: 10.1111/tpj.13788
- Gong Y., Hu H., Gao Y., Xu X., Gao H., 2011. Microalgae as platforms for production of recombinant proteins and valuable compounds: progress and prospects. *J Ind Microbiol Biotechnol* (2011) 38:1879–1890. DOI: 10.1007/s10295-011-1032-6
- Gregory J.A., Shepley-McTaggart A., Umpierrez M., Hurlburt B.K., Maleki S.J., Sampson H.A., Mayfield S.P., Berin M.C., 2016. Immunotherapy using algal-produced Ara h1 core domain suppresses peanut allergy in mice. *Plant Biotechnology Journal* 14: 1541–1550, DOI: 10.1111/pbi.12515
- Greiner A., Kelterborn, S., Evers H., Kreimer G., Sizova I., Hegemann P., 2017. Targeting of Photoreceptor Genes in *Chlamydomonas reinhardtii* via Zinc-Finger Nucleases

- and CRISPR/Cas9. *The Plant Cell*, Vol. 29: 2498–2518. DOI: 10.1105/tpc.17.00659
- Hamed I., 2016. The Evolution and Versatility of Microalgal Biotechnology: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15: 1104-1123
- Heitzer M., Eckert A, Fuhrmann M, Griesbeck C., 2007. Influence of codon bias on the expression of foreign genes in microalgae. *Adv Exp Med Biol*. 616:46-53.
- Hummel E., Guttman P., Werner S., Tarek B., Schneider G., Kunz M., Frangakis A.S., Westermann B., 2012. 3D Ultrastructural Organization of Whole *Chlamydomonas reinhardtii* Cells Studied by Nanoscale Soft X-Ray Tomography. *PLOS ONE* Volume 7 | Issue 12 | e53293
- Jeon ve ark. 2017 Current status and perspectives of genome editing technology for microalgae. *Biotechnol Biofuels*, 10:267. DOI:10.1186/s13068-017-0957-z
- Jinkerson R.E. ve Jonikas M.C., 2015. Molecular techniques to interrogate and edit the *Chlamydomonas* nuclear genome. *The Plant Journal SI CHLAMYDOMONAS*. 82, 393–412 DOI: 10.1111/tpj.12801
- Kindle, K.L., Schnell, R.A., Fernandez, E. and Lefebvre, P.A. (1989) Stable nuclear transformation of *Chlamydomonas* using the *Chlamydomonas* gene for nitrate reductase. *J. Cell Biol*. 109, 2589–2601.
- Larosa V. ve Remacle C., 2013. Transformation of the mitochondrial genome. *Int. J. Dev. Biol*. 57: 659-665 DOI: 10.1387/ijdb.130230cr
- Lauersen K.J., Huber I., Wichmann J., Baier T., Leiter A., Gaukel V., Kartushin V., Rattenholl A., Steinweg C., von Riesen L., Posten C., Gudermann F., Lütkemeyer D., Mussgnug J.H., Kruse O., 2015. Investigating the dynamics of recombinant protein secretion from a microalgal host. *Journal of Biotechnology* 215: 62–71
- Manuell, A.L., Beligni, M.V., Elder, J.H., Siefker, D.T., Tran, M., Weber, A., McDonald, T.L. and Mayfield, S.P. (2007) Robust expression of a bioactive mammalian protein

- in *Chlamydomonas* chloroplast. *Plant Biotechnol. J.* 5, 402–412.
- Mayfield, S.P. and Kindle, K.L. (1990) Stable nuclear transformation of *Chlamydomonas reinhardtii* by using a *C. reinhardtii* gene as the selectable marker. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 87, 2087–2091.
- Rasala B.A., Chao S.S., Pier M., Barrera D.J., Mayfield S.P., 2014. Enhanced Genetic Tools for Engineering Multigenic Traits into Green Algae. *PLOS ONE*, Volume 9 | Issue 4 | e94028
- Rasala, B.A., Lee, P.A., Shen, Z., Briggs, S.P., Mendez, M. and Mayfield, S.P. (2012) Robust expression and secretion of Xylanase1 in *Chlamydomonas reinhardtii* by fusion to a selection gene and processing with the FMDV 2A peptide. *PLoS One*, 7, e43349.
- Rasala B.A. ve Mayfield S.P., 2015. Photosynthetic biomanufacturing in green algae; production of recombinant proteins for industrial, nutritional, and medical uses. *Photosynth Res.*, 123(3):227-39. DOI: 10.1007/s11120-014-9994-7
- Saloméa P.A. ve Merchanta S.S., 2019. A Series of Fortunate Events: Introducing *Chlamydomonas* as a Reference Organism. *The Plant Cell*, Vol. 31: 1682–1707 DOI: 10.1105/tpc.18.00952
- Sizova, I., Fuhrmann, M., Hegemann, P., 2001. A *Streptomyces rimosus* aphVIII gene coding for a new type phosphotransferase provides stable antibiotic resistance to *Chlamydomonas reinhardtii*. *Gene*, 277, 221–229. DOI: 10.1016/s0378-1119(01)00616-3
- Slaninova M., Hrossova D., Vlcek D., Mages W., 2008, Is it possible to improve homologous recombination in *Chlamydomonas reinhardtii*?. *Biologia* 63(6): 941—946, Section Botany DOI: 10.2478/s11756-008-0146-4
- Sodeinde, O.A. ve Kindle, K.L., 1993. Homologous recombination in the nuclear genome of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 90, 9199– 9203. DOI: 10.1073/pnas.90.19.9199



Zorin, B., Hegemann, P., Sizova, I., 2005. Nucleargene targeting by using single-stranded DNA avoids illegitimate DNA integration in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Eukaryot. Cell*, 4: 1264–1272. DOI: 10.1128/EC.4.7.1264-1272.2005

# İNSANSIZ KARA ARAÇLARININ HAREKET SİSTEMLERİNİN TASARIMINA SİSTEMATİK BİR YAKLAŞIM

Cüneyd DEMİR<sup>1</sup>, Mustafa BOZDEMİR<sup>2</sup>



---

1 Öğretim Görevlisi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mucur Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kırşehir, Türkiye.

2 Profesör Doktor, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kırıkkale, Türkiye.





## İNSANSIZ KARA ARAÇLARININ HAREKET SİSTEMLERİNİN TASARIMINA SİSTEMATİK BİR YAKLAŞIM

Cüneyd DEMİR<sup>1</sup>, Mustafa BOZDEMİR<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Geleneksel tasarım olarak adlandırılan tekniklerde problemin çözümü için temel başlangıç noktası çoğunlukla mevcut ürünün geliştirilmesi şeklindedir. Mevcut ürünlerin geliştirilmesi prensibine dayanılarak yapılan tasarım tekniklerinin uygulamaları sırasında, belirli bir aşama sonrasında çözüm bulunamaması ya da çözümün geliştirilememesi gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Bu nedenle mevcut problemleri farklı yöntemlerle çözerek, ürün veya sistemler için alternatif çözümler ortaya koyabilmek amacıyla modern tasarım teknikleri geliştirilmiştir. Modern tasarım tekniklerinde, problemlerin tanımlanması ve çözümünde kullanılan yöntemin özelliğine bağlı olarak sistematik bir sıra izlenir ve genel olarak sistematik tasarım teknikleri olarak isimlendirilir. Sistematik tasarım tekniğine uygun gerçekleştirilen bir tasarım işleminde şartname hazırlama, kavramsal tasarım, karar verme ve detaylı tasarım gibi aşamalar mevcuttur (Bayazıt, 1994).

Bazı sistem ya da ürünlerin tasarım işlemlerinde, belirli tasarım teknik ve metodolojilerinin kalıp olarak uygulanması, istenilen çözümlere ulaşabilmekte karmaşık ya da sonuç alınmasını engelleyici durumlar ortaya çıkartabilir. Herhangi bir uygulamaya yönelik seçilen tasarım modelinin kullanımıyla, istenilen sonuca ulaşamadığı durumlarda, tasarımcılar kendi problemlerinin çözümüne yöne-

1 Öğretim Görevlisi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mucur Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kırşehir, Türkiye.

2 Profesör Doktor, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kırıkkale, Türkiye.

lik uygun işlem modelleri geliştirebilmektedir. Geliştirilen bir tasarım metodunun kullanım ve geçerliliğiyle ilgili bilgiler, tasarım modelinin kullanımıyla birlikte zaman içerisinde elde edilir. Geliştirilen tasarım metodlarının kullanımı sonrasında, özel sonuçlar veya orijinal tasarımlar bulunması veya bir amacı gerçekleştirmede tasarımcıya belirli işlem sırasının hazırlanması amaçlanır. Bu amaçlar doğrultusunda yeni geliştirilmiş bir tasarım metodunun öncelikle anlaşılabilir olması istenilen genel özellikler arasındadır. Kullanımı sonrasında tasarımcıları yeni çözümler bulmaya teşvik etmesi, en uygun çözümlerin tanınması için değerlendirme teknikleri kullanabilmesi gibi özellikleri taşıması, tasarım işlem modelinin geçerlilik değerini artırmaktadır (Börklü, 2010). Ayrıca, hazırlanan bir tasarım işlem modeli içerisinde ürün modelinin alt sistem yapılarına ait veri tabanı bilgileri kullanılması ve tasarım uygulamasında gerçekleştirilmesi gelişmiş özelliklerdir. Bu özellikleri bünyesinde bulunduran tasarım işlem modelleriyle yapılan uygulamalarda, tasarım düzenleme esnekliği ve geri besleme desteği kolaylıkla sağlanabilir (Sivri, 2013).

İnsansız kara araçlarının genel tasarımının yapılması işleminde, tasarımı direkt olarak etkileyen çok sayıda alt sistemler ve söz konusu sistemler arasında karmaşık ilişkiler ağı bulunmaktadır. Gerçekleştirilecek tasarımla ilgili istekler, mevcut sistem ilişkilerine dayanarak değerlendirilip en uygun olacak çözüme karar verilebilmesi için, sistematik tasarımda alternatif çözümler üretilmesi ve bu üretilen alternatif çözümlerin şartname ihtiyaçları açısından değerlendirilmesi gerekmektedir (Bozdemir, 2003). Oluşturulan sistematik tasarım işleminden sonra, insansız kara aracı için harcanan tasarım süresi, maliyeti, kalitesi gibi unsurlarda olumlu yönde gelişmeler görülecektir. İnsansız kara araçlarının üretiminde kullanıcı ihtiyaçları hesaba katılarak gerçekleştirilecek doğru bir sistematik tasarım işle-

mi ile üretimi yapılacak insansız kara aracının maliyetinde büyük bir oranda düşüş sağlanacaktır (Demir, 2017).

Bu çalışmada, insansız kara araçlarının mekanik sistem yapılarının tasarımı ve geliştirilmesinde kullanılmak üzere oluşturulan, graf ağacına dayalı karar verme aşamasına sahip bir sistematik tasarım işlem modelinin tanımı yapılmaktadır. Bu tasarım işlem modelinin uygulanması esnasında, tasarımı yapılacak insansız kara aracına uygun hazırlanmış tasarım katalogu kullanılır. Oluşturulan tasarım kataloguna ait bilgiler, şartname aşamasında tespit edilen sınırlandırmalara göre değerlendirilir ve graf ağacı karar verme mekanizması tarafından alternatiflerin oluşturulması sağlanır. Ortaya çıkan alternatifler insansız kara aracının ağırlığına göre belirlenmiş 3 farklı  $\lambda$  seti ve 3 farklı memnuniyet dereceleri ile ağırlık oranı metoduna göre en uygun insansız kara aracının seçimi yapılır.

Çalışmada konu alınan temel problem şu şekilde özetlenebilir: insansız kara aracındaki karmaşık problem; kötü doğa koşulları ve zorlukları ile mücadele etmek, yumuşak ve engebeli zeminlerin üstesinden gelebilmek için hareket yeteneği kazandırılan ve bu hareket yeteneğini uygun entikal konfigürasyonu ile gerçekleştiren, kullanım amacına göre üzerine bazı faydalı yükler alabilen, uzun görev süreleri sağlayabilen, manevra kabiliyeti artırılabilen, kapsama alanı yüksek, uzaktan kontrol ya da otonomi yeteneği olan, tasarımcı veya kullanıcı belirleyeceği genel ve özel şartlar dikkate alınarak, dayanıklı ve fonksiyonel bir insansız kara aracı seçimi yapmaktır.

Çalışmadaki hedeflerin bazıları şunlardır:

- Özel ve genel amaçlı insansız kara aracı tasarımı sırasında yapılacak işlem sırasını belirleyebilen bir tasarım işlem modelinin geliştirilmesi.

- Tasarımcı ve kullanıcı istek ve ihtiyaçlarının insansız kara aracı tasarımına etkili katılımını sağlamak amacıyla, kolay kullanımlı ve esnek bir şartname oluşturmak.
- Alternatif tasarım üretme ve şartname değerlendirme işlemlerinin yapılabildiği yapıyı oluşturmak
- Sistematik tasarım işlem modelinde, tasarlanan sisteme ait fonksiyon yapılarının fiziksel temsil ve ilişkilerinin sağlanabildiği grafiklerin oluşturulması.

Çalışmada kullanılan yöntem ve teknikler şunlardır:

- Geliştirilen sistematik tasarım işlem modelinin değişik aşamalarında tüm fonksiyonlar, alt fonksiyonlar, graflar, sembolik resimsel gösterimler gibi tasarım bilgi temsil modelleri kullanılmaktadır.
- Tasarım işlem modelinin karar verme aşamasında, alternatif çözüm önerilerinin üretilmesi amacıyla, graf karar verme yöntemi kullanılmıştır.
- Ortaya çıkarılan alternatifler matematik ifadelere dönüştürecek ağırlık oranı metodu kullanılmıştır.

## **İNSANSIZ KARA ARACI SİSTEMATİK TASARIMI**

### **a. Geliştirilen Tasarım İşlem Modeli**

Geliştirilen tasarım işlem modelinin temel yapıları problemin tanımı, karar verme ve sonuç olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır (Demir, 2017).

Problemin Tanımı Aşaması: Geliştirilen sistematik tasarım modelinin ilk aşaması olan şartname bilgileri, bu

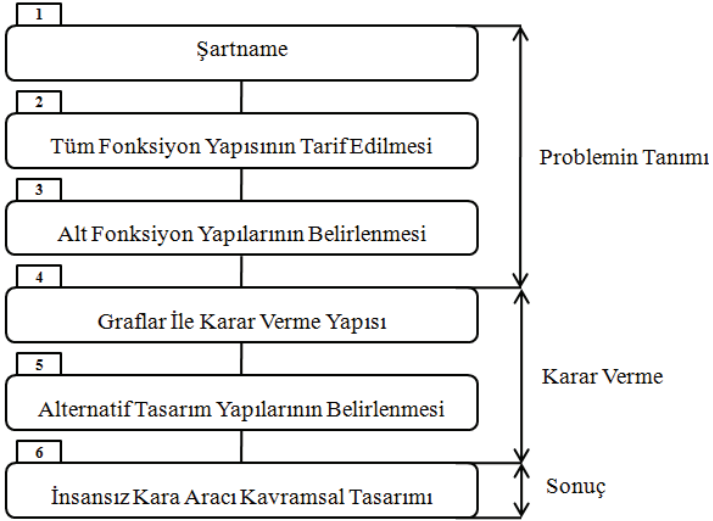
aşamada tasarımı gerçekleştirilecek olan insansız kara aracına ait tanımlama, kısıtlama ve ihtiyaçlar belirlenip hazırlanır. Tasarım şartnamesinde belirlenen sorunun tasvirinin yapılmasından sonra, sistematik tasarım tekniğine bağlı olan fonksiyon yapıları kullanılarak, sorunun çözümüne başlanır. Kullanıcı istekleri, tasarım kısıtlamaları verilerine bakılarak, insansız kara aracına ait tüm fonksiyon yapısı belirlemek sorunun genel amacıdır. Tüm fonksiyon yapısı oluşturulurken, istenilen insansız kara aracına ait özellikler belirtilir. Sistemin girdisi olan enerjinin biçimi, sinyal gibi verilerle sistemin çıktısı olan veriler tüm fonksiyon üzerinde belirtilmelidir. Bu biçimde hazırlanan tüm fonksiyon yapısı, kara kutu sistem yapısındadır. Tüm fonksiyon yapıları sorunun çözümü ile ilgili ayrıntılı açıklamalar içermez. Dolayısıyla tüm fonksiyon yapısının içeriği bozulmaması koşuluyla, alt fonksiyon yapılarına bölünür. Alt fonksiyonların düzenlenmesi esnasında enerji iletimi, sinyal gibi özelliklere bağlı yön bilgileri ve ilişkilerine yer verilir. Oluşturulacak olan alt fonksiyonların her birinin, tasarım kataloğundaki fiziksel temsillerden ya da fonksiyonlardan birine gelecek şekilde bölünmeleri, tercih edilen gösterim biçimidir. İnsansız kara araçlarının fonksiyon yapıları kullanılarak, yapıların oluşturulması ve temsil edilmesi diğer yöntemlerdeki uygulamalara nazaran daha kolay, anlaşılır ve katalog çözümleri ya da veri tabanı için uyumludur. Ayrıca sistem ilişkilerinin belirlenmesinde daha açık tanımlama ifadesi sağlamaktadır.

**Karar Verme Aşaması:** Şartnamede belirlenen istekler, ihtiyaçlar ve kısıtlamalar sonrasında fonksiyon yapıları kullanılarak en uygun çözüm için karar verme aşamasında bir değerlendirme yapılır. Verilen karar sonrasında, insansız kara aracı tasarımı için uygun alt sistem elemanlarının seçimi bu aşamada gerçekleşir. Kullanılan tasarım modelinin karar verme aşamasında, sistematik tasarım tekniğinde verilerin temsilinde kullanılan graf karar verme yapısı kullanılmaktadır. İnsansız kara aracı tasarımında kullanı-



lacak olan fonksiyon ve ihtiyaç ilişkileri, oluşturulan graf temsilleri ile tanımlanır. Graflar kullanılarak yapılacak tanımlamalardaki ağaç yapılarını, “Eğer-O Halde” kalıbı içerisinde kural cümleleri haline getirmek oldukça kolaydır. “Eğer-O Halde” kural cümleleri kullanılarak hazırlanan veri tabanının, sistematik tasarımında ihtiyaç duyulan, tasarım bilgi tabanının kurallarının oluşturulmasında kullanılır. Geliştirilen sistematik tasarım işlem modelinde, alternatiflerin değerlendirilmesi için, ihtiyaç-fonksiyon ilişkilerine dayalı graf temsilleri kullanılmıştır. Hazırlanan bu karar sistemi ile tasarımcının bütün ölçütler eşliğinde alternatif çözümleri değerlendirmek için harcayacağı zaman kısalarak, tasarım maliyeti de azalmaktadır. Kullanılacak olan bu yöntem ile sorunun fonksiyon ile ifadesi, ihtiyaç-fonksiyon yapılarının belirlenmesi, tasarım katalogu kullanımı, alternatif ürün türlerinin oluşturulması, graf temsili karar verme tekniklerinin kullanımı ile sağlanmaktadır.

**Sonuç Aşaması:** Seçilen alternatif tasarım çözümünün, ayrıntılı tasarım aşamasına geçilmeden önce tasarımın sonlandırıldığı bölümdür. İnsansız kara aracının sistematik tasarımı için geliştirilen tasarım modeli ile tasarım yapılarak sonuca bağlandığı aşamadır. Sistem yapılarının bir kataloga bağlı kalınarak oluşturulması sonucunda, katalogda yer alan yapılardan uygun olanlarının seçimi yapılarak insansız kara aracının fiziksel olarak alt sistemi belirlenebilir.



Şekil 1. Geliştirilen tasarım işlem modelinin genel yapısı (Demir, 2017)

Şekil 1’deki insansız kara aracı sistematiik tasarım modeli işlem aşamaları sırasıyla şu şekilde özetlenebilir:

1. Şartname: İnsansız kara aracı tasarımının başlangıç aşamasıdır. Tasarımcı ve kullanıcı istekleri, ihtiyaçlar ve sınırlamalar belirlenir. Şartname aşamasında, sistematiik tasarımının modelinin çözüm aramada kullanılabileceği her türlü veri temin edilmelidir. Kullanıcı isteklerini kapsayan verilerin, müşteri ya da tasarımcıdan istenmesi esnasında, özel olarak düzenlenmiş şartname formları üzerindeki onay kutularının işaretlemesi yeterli olabilir. Sistematiik tasarımda şartname ihtiyaçlarının eksiksiz bir şekilde belirtilmesi ile sorunun tarif edilmesi mümkündür. Bu yüzden şartname hazırlama evresi sistematiik tasarımının en önemli bölümlerinden birisidir (Murrel, 1965).

2. Tüm fonksiyon yapısının belirlenmesi: Belirlenen şartname isteklerinin amaçlarını anlatan, sisteme giren ve çıkan verileri göstermek için hazırlanmış, genel bir fonksiyon yapısı gösterimidir. İnsansız kara aracının sistem girdileri ve çıktıları, belirlenen bir fonksiyon üzerine işaretlenir (Chapanis, 1965).
3. Alt fonksiyon yapılarına ayırıştırma: Tüm fonksiyon yapılarının açık bir şekilde anlatılması, sistemlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi, veri tabanından veya katalogdan fiziksel ilişkilerin sağlanması gibi işlemler alt fonksiyon yapılarına parçalanarak tanımlanır (Roozenburg ve Eekels, 1995).
4. Karar verme: Oluşturulan tasarım alternatifleri içerisinden, tasarım ihtiyaçlarını, saptanan önem derecelerine göre değerlendirerek, en uygun olan çözüm tipinin seçim işlemi karar verme aşamasının vazifesidir. Karar verme aşaması için, kurallara dayalı bir veri tabanı oluşturulması önerilmektedir (Bozdemir, 2003).
5. Tasarım alternatiflerinin üretilmesi: Aynı tür tasarım isteklerini karşılayan, farklı fiziksel yapılarda farklı çözümler üretilebilir. Alternatif çözümleri ortaya çıkarmaya yönelik çalışmalar, sistematik tasarım yöntemlerinin geliştirilmesinde ki önemli nedenlerin başında gelir (Hsu ve Woon, 1998).
6. Kavramsal tasarım sonu: Sistematik tasarım model-i işlem sırası takip edilerek, insansız kara aracının kavramsal tasarımı sonlandırılır (Demir, 2017). Kullanılan tasarım modelinde aranılan yapıların kavramsal olarak modellenmesi yeterli olmaktadır. Oluşturulan kavramsal tasarımın ayrıntılı bir tasarıma dönüştürülmesi, bazı mühendislik hesapları ile sağlanabilir (Börklü, 2010).

## **b. İnsansız Kara Araçları İçin Şartname Hazırlama**

İKA sistematik tasarımında, hazırlanacak şartname aşamasının ana görevlerinden bir diğeri de karar verme aşamasında seçici ve sınırlandırıcı bir biçimde kullanılacak olan verilerin belirlenmesidir. İKA tasarımı için hazırlanacak şartname aşamasının başlangıç noktası, tasarımı istenilen insansız kara aracının hangi amaçlı kullanılacak olmasıdır. Yapılacak olan işlemler genel olarak teorikte bilinmesine rağmen, problemin tanımı, amaçların listelenmesi gibi aşamaların başlangıçta doğru olarak yapılması büyük önem taşımaktadır. İnsansız kara aracı tasarımında mevcut probleminin kısa bir tanımının yapılmasıyla şartname hazırlama aşamasına başlanabilir.

İnsansız kara aracının faydalı yük ve aracın idaresinin seçimi tasarımcının isteğine göredir. Tasarım, tasarımcının insansız kara aracını kullanmayı düşündüğü sektörün ihtiyaçlarına mümkün olan her türlü katkıyı sağlayabilmelidir. İnsansız kara aracında, alt bileşenlerin seçiminde gerekli fonksiyonu icra edebilenler tercih edilir. Tasarımcı istekleri hususunda, fonksiyonel özellikleri daha gelişmiş İKA tasarımı yapılır. Şartname aşamasında parça bileşenlerinin seçimi için “Tasarım katalogu” referans alınmaktadır.

İKA tasarımına etkiyecek nedenlerin başında, kullanım amacının, eyleyicisinin ve intikal konfigürasyonunun belirlenmesi gelir. Kontrol yönteminin belirlenmesi, süspansiyon sisteminin seçimi, yönlendirme sisteminin belirlenmesi, ortalama ağırlığının kaç kilogram aralığında olacağının saptanması, insansız kara aracının çalışma süresinin ve çekiş gücünün hangi seviyede olacağının belirlenmesi, dayanıklılığı ve çalışacağı arazi tipinin belirlenmesi vb. bütün seçimler insansız kara aracının kullanım amacına eyleyicisine ve intikal konfigürasyonuna bağlı olarak belirlenecek alt sistemlerdir.

İnsansız kara aracı sistematik tasarımında karar verme yapısı uygun alternatiflerin oluşturulabilmesi için, şartname aşamasında tasarımcıdan ya da müşteriiden bazı cevaplar istenmektedir. Tasarımcı ya da müşteriiden karar verme sisteminin çıkarım geliştirmede kullanacağı 13 soru düzenlenmiştir. Şartname aşamasında sorulan 13 sorudan 1. ve 2. sorular insansız kara aracı seçimde kullanılmasının gerekli olduğu düşünülmüş fakat alt fonksiyon yapılarının oluşturulmasında işleme dâhil edilmemiştir. Çünkü burada yapılan sistematik tasarım insansız kara araçlarındaki yazılımdan ziyade donanımsal manadadır (Demir, 2017). Aynı şekilde malzeme seçimi de alt fonksiyonlara dâhil edilmemiştir. 3. soruda dayanımdan kaynaklı malzeme seçimi için 3 tür belirlenmiştir. Bunlar; metal, polimer ve kompozit malzemeleridir. Tasarlanmak istenen insansız kara aracında dayanıma göre seçim yapılacaktır. Şartname aşamasında sorulan diğer 10 soru kullanılarak fiziksel manadaki İKA sistematik tasarımını ortaya çıkarmaktadır.

İKA tasarımı için belirlenen amaçların analiz edilerek, benzer olanların elenmesi, gereksiz bulunanların tespit edilip çıkarılması gerekir. Amaçların belirlenmesinde tasarımcı ya da kullanıcı cevapları dikkate alınır. Kullanıcı tarafından belirlenen tasarım istekleri, ihtiyaçları ve sınırlandırıcıları geliştirilen tasarım işlem modeline uygun olarak sistematik bir şekilde işlenebilmesi için, söz konusu istekler ile tasarım sisteminin amaçları birlikte analiz edilmelidir. Yapılan amaç analizinden sonra istekler ile amaçlar arasında uygun olanlar belirlenir.

1. Tasarımı yapılacak İKA'nın idaresi nasıl sağlansın?

- ☐ Uzaktan Kontrol
- ☐ Otonom

2. Oluşturulacak İKA'nın kullanım kapsama alanı ne durumda olsun?

- ☐ Düşük ( $x < 10$ )
  - ☐ Orta ( $10 \leq x < 25$ )
  - ☐ Yüksek ( $25 \leq x$ )
3. Tasarlanacak İKA'nın dayanıklılık durumu ne derece olsun?
- ☐ Düşük
  - ☐ Orta
  - ☐ Yüksek
4. Tasarlanacak İKA'nın ortalama ağırlığı ne kadar olsun?
- ☐ Mikro Sınıf ( $x < 5$  Kg)
  - ☐ Minyatür Sınıf ( $5 \leq x < 15$  Kg)
  - ☐ Küçük-Hafif Sınıf ( $15 \leq x < 200$  Kg)
  - ☐ Küçük-Orta Sınıf ( $200 \leq x < 1000$  Kg)
  - ☐ Küçük-Ağır Sınıf ( $1000 \leq x < 10000$  Kg)
  - ☐ Orta Sınıf ( $10000 \leq x < 15000$  Kg)
  - ☐ Büyük Sınıf ( $15000 \leq x$  Kg)
5. İKA'nın gürültü seviyesi ne durumda olsun?
- ☐ Sessiz ( $0 < x < 70$  dB)
  - ☐ Normal ( $70 \leq x < 100$  dB)
  - ☐ Gürültülü ( $100 \leq x$  dB)

6. İKA'nın çekiş gücü ne seviyede olsun?

- ☐ Orta ( $0 < x < 250$  BG)
- ☐ Yüksek ( $250 \leq x < 750$  BG)
- ☐ Çok Yüksek ( $750 \leq x < 1500$  BG)

7. İKA'nın ivmelenmesi hangi kademede olsun?

- ☐ Düşük ( $0 < x < 2$  km/sa<sup>2</sup>)
- ☐ Orta ( $2 \leq x < 4$  km/sa<sup>2</sup>)
- ☐ Yüksek ( $4 \leq x < 6$  km/sa<sup>2</sup>)

8. İKA'nın maksimum hızı hangi seviyede olsun?

- ☐ Düşük ( $x < 80$  km/sa)
- ☐ Orta ( $80 \leq x < 100$  km/sa)
- ☐ Yüksek ( $100 \leq x < 150$  km/sa)

9. Oluşturulması istenilen İKA'da görev süresi nasıl olsun?

- ☐ Kısa ( $x < 4$  sa)
- ☐ Orta ( $4 \leq x < 30$  sa)
- ☐ Uzun ( $30 \leq x < 50$  sa)

10. İKA sahada hangi arazi tipinde kullanılacaktır?

- ☐ Düz Sert Zemin
- ☐ Düz Yumuşak Zemin
- ☐ Engebeli Sert Zemin
- ☐ Engebeli Yumuşak Zemin

11. İKA'nın manevra kabiliyeti ne düzeyde olsun?

- ☐ Düşük
- ☐ Orta
- ☐ Yüksek
- ☐ Çok Yüksek

12. Tasarımı yapılacak İKA temel olarak nerede kullanılmak isteniyor?

- ☐ Kapalı Ortam
- ☐ Açık Ortam

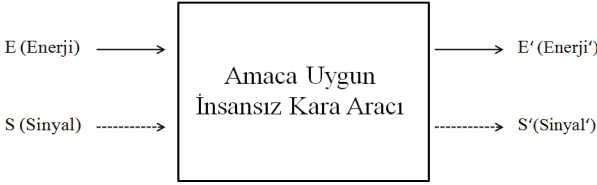
13. Tasarımı istenilen İKA'nın kullanım amacı nedir?

- ☐ Keşif, gözetleme ve istihbarat
- ☐ Lojistik
- ☐ Bomba İmha
- ☐ Saldırı veya Geri Emniyet
- ☐ Yangın Söndürme

### c. İnsansız Kara Aracı Kavramsal Tasarımı

Kavramsal tasarım aşamasında, tasarımı yapılan sistem yapısının fonksiyon olarak temsili yapılır. İlgili fonksiyon yapısında sistemin girdisi olan enerji ve sinyal bileşenleriyle sistemin çıktıları olan enerji ve sinyaller belirlenir. İnsansız kara aracının tüm fonksiyon yapısı Şekil 2'de görülmektedir. İnsansız kara aracının tüm fonksiyon yapısında girdi olarak kullanılacak enerji ve sinyal bileşenlerinden, insansız kara aracına gelen sinyaller doğrultusunda gücünü sistemdeki enerji kaynağından alarak harekete geçip araziye aşması istenmektedir.

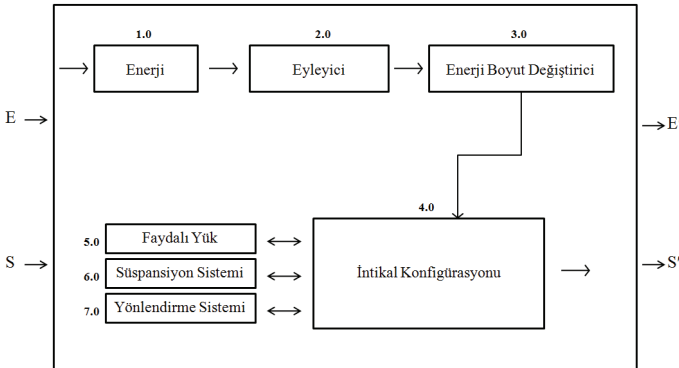




**Şekil 2.** İnsansız kara aracına ait tüm fonksiyon yapısı (Demir, 2017)

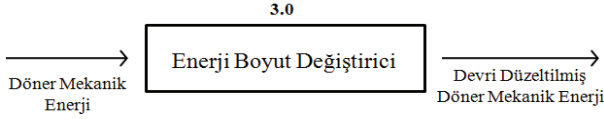
Tüm fonksiyon yapısı tasarım temsiliinde ilk aşamadır. Oluşturulan tüm fonksiyon yapısı, alt sistemleri içeren fonksiyonlara parçalanır. Ortaya çıkan alt sistem fonksiyonları, tüm fonksiyon yapısına bağlı kalmak şartıyla alt sistem ilişkileri ve bağlantıları açıklanır.

Şekil 3'deki insansız kara aracına ait alt fonksiyon yapısında sistem girdisi olarak enerji gösterilmiştir. Bu enerji, eyleyici ile mekanik enerjiye çevrildikten sonra, enerji iletim sistemi sayesinde enerji boyut değiştiriciye gönderilerek devri ayarlanır. Gelen sinyaller doğrultusunda belirlenen devir sayısındaki mekanik enerji, enerji iletim sistemi sayesinde intikal konfigürasyonuna nakledilir. İnsansız kara aracı, adapte edilen yönlendirme sistemi ve süspansiyon sistemi ile faydalı yükünde entegre edilmesiyle birlikte intikal konfigürasyonu sayesinde harekete geçer (Demir, 2017).



**Şekil 3.** İKA ait alt sistem fonksiyonları yapısı (Demir, 2017)

Şekil 4’ deki enerji boyut değiştiricisi ek parametresi tork ve hız kontrolü yapan elemandır. Motoru türüne göre dişli kutusu veya motor sürücüsü olarak seçimi yapılır.



**Şekil 4.** *Enerji boyut değiştirici ek parametresinin fonksiyonel gösterimi (Demir, 2017)*

Kavramsal tasarımın başlangıç noktasını, sistem yapılarının ve ilişkilerinin saptanması oluşturur. Ulaşılan alt sistem yapılarını pratikte sağlayabilecek bütün mekanik yapılar bilinmelidir. Böylece farklı yapı biçimleri kullanılarak alternatif çözümler ortaya çıkarılabilir. Bulunan tüm bu alternatif çözümler farklı muhakeme yöntemleri kullanılarak en uygun seçim yahut seçimler bulunacak şekilde değerlendirilir. Üretilen çözümlerle şekillendirme tasarımındaki son aşamadır. Kavramsal tasarımda uygun olan çözümün sembolik bir resmi yeterli olmaktadır. İlgili tasarım boyutlandırma, mukavemet hesapları ve ayrıntılı tasarım şekillendirmesinin yapılması mühendislik işlemleridir (Börklü, 2010).

#### d. Tasarım Katalogu

Sistematik tasarımda, tasarımın alternatiflerinin üretilmesi, düzenlenmesi ve fonksiyonel yapılarda oluşturulacak değişim işlemlerinin yapılmasında kullanılmak için, mümkün olan en geniş sayıda çözüm sayısı ortaya koyabilen tasarım katalogları kullanılmıştır (Pahl ve Beitz, 1988). Tablo 1’de hazırlanan tasarım kataloglarında insansız kara aracı parametrelerinin özellikleri hakkında bilgiler, resimsel açıklamalar ve özel tanımlama bilgilerini içermektedir. Sistematik tasarımda kullanılacak genel çözüm çizelgelerinin biçiminin belirlenmesi, yapılacak insansız kara aracı tasarımının alt sistem yapısının işlem sırası uygun bir

şekilde düzenlenmiştir. Çizelgeyi oluşturan düşey çözüm önerilerindeki değişkenlerin sayılarının artırılması, oluşturulacak insansız kara aracı sistematik tasarımı alternatif sayısının artmasına neden olacaktır.

**Tablo 1. Tasarım katalogu (Demir, 2017)**

| Çözüm                  | 1                                                                                      | 2                                                                                                        | 3                                                                                                   | 4                                                                                                  | 5                                                                                            |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parametre              |                                                                                        |                                                                                                          |                                                                                                     |                                                                                                    |                                                                                              |
| Eyleyici               | 1<br> | İçten Yamaçlı Motor<br> | Hidrolik Motor<br> |                                                                                                    |                                                                                              |
| Enerji                 | 2<br> | Batarya<br>             | Yakıt<br>          |                                                                                                    |                                                                                              |
| İnitkal Konfigürasyonu | 3<br> | 3 Tekenekli<br>         | 4 Tekenekli<br>    | Çok Tekenekli<br> | Paletli<br> |
| Faydalı Yük            | 4<br> | Taşıyıcı<br>            | Silah Sistemi<br>  | Manipulator<br>   | Su Topu<br> |
| Süspansiyon Sistemi    | 5<br> | Diğer Süspansiyon<br>   |                                                                                                     |                                                                                                    |                                                                                              |
| Yönlendirme Sistemi    | 6<br> | Diferansiyel<br>        | Senkron<br>        | 4WS<br>           |                                                                                              |

## ALT SİSTEM ELEMANLARININ GRAF YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

İnsansız kara araçlarının sistematik tasarımında, karar verme aşamasında graf yöntemi kullanılarak alternatifler oluşturmaya yoluna girilmiştir. Alternatiflerin oluşturulması tasarım katalogundan seçilerek gerçekleştirilmiştir. Tasarım katalogundaki parametrelerin insansız kara aracı sistemine uygunluğu için şartname aşamasından faydalanılmaktadır. Tasarım katalogu parametreleriyle oluşturulacak çözüm uzayında 1800 çeşit alternatif meydana çıkarılmıştır (Demir, 2017).

İKA tasarımında temel olarak aracın ortalama ağırlığı dikkate alınmıştır ve bir ağırlık sınıflandırması yapılmıştır. Aracın istenen ortalama ağırlığına göre stabiliteye uyacak biçimde graf ağacı oluşturulmuştur. İnsansız kara aracının ortalama ağırlığının 5 kg altında olması isteniyorsa mik-

ro sınıf, 5 kg ile 15 kg arasında olması isteniyorsa min-yatür sınıf, 15 kg ile 200 kg arasında olması isteniyorsa küçük-hafif sınıf, 200 kg ile 1000 kg arasında olması isteniyorsa küçük-orta sınıf, 1000 kg ile 10000 kg arasında olması isteniyorsa küçük-ağır sınıf, ağırlığının 10000 kg ile 15000 kg arasında olması isteniyorsa orta sınıf, ağırlığının 15000 kg üzerinde olması isteniyorsa büyük sınıf seçimi yapılır.

Tasarlanmak istenen insansız kara aracı basit ilişki ağı için örnek kural cümleleri ilişkilendirme grafiklerine göre oluşturulmuştur. Her grafiğin kendine özel kural cümleleri bulunur. Tasarım katologunda bulunan 6 parametrenin graf ağacını gösteren 6 grafik ve intikal konfigürasyonunu daha detaylı bir şekilde ifade eden 1 grafik ile toplamda 7 grafik bulunmaktadır. Hepsi özel kural cümleleri ile oluşturulur.

Şekil 5'te insansız kara aracının ortalama ağırlığının, gürültü sesi seviyesinin, çekiş gücünün, ivmelenmesinin ve maksimum hızının hangi seviyede olmasının istenmesiyle seçilecek eyleyici tipi karara bağlanır (Demir, 2017).

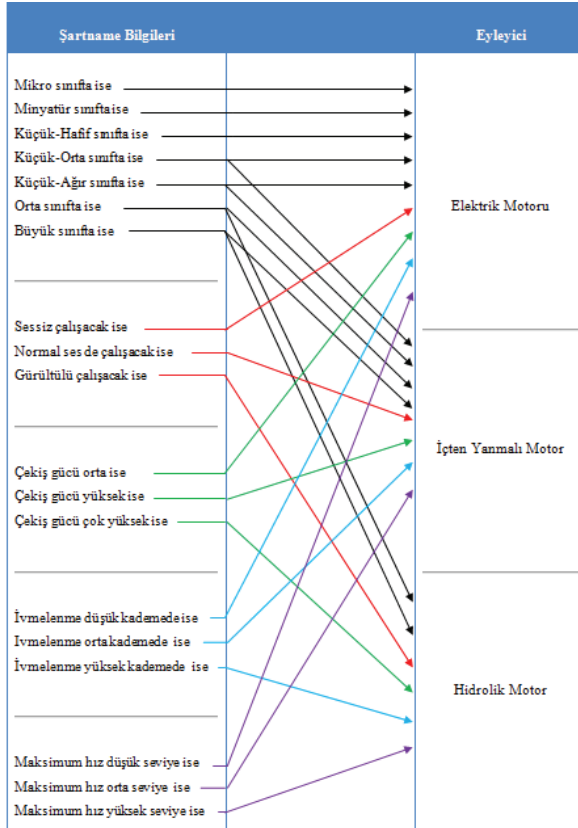
- **Kural 1:** *Eğer* ortalama ağırlık olarak mikro, min-yatür, küçük-hafif, küçük-orta veya küçük-ağır sınıflardan herhangi birinde *ise ve* eyleyici tipinin sessiz bir şekilde çalışması isteniyor *ise ve* çekiş gücünün orta seviyede olması isteniyor *ise ve* ivmelenmesinin düşük kademede olması isteniyor *ise ve* maksimum hızının düşük seviyede olması isteniyor *ise O Halde* eyleyici tipi olarak elektrik motoru seçilmesi uygundur.
- **Kural 2:** *Eğer* ortalama ağırlık olarak küçük-orta, küçük-ağır, orta veya büyük sınıflardan herhangi birinde *ise ve* eyleyici tipinin ses olarak normal ses de çalışması sorun değil *ise ve* çekiş gücünün yük-

sek seviyede olması isteniyor *ise ve* ivmelenmesinin orta kademede olması isteniyor *ise ve* maksimum hızının orta seviyede olması isteniyor *ise O Halde* eyleyici tipi olarak içten yanmalı motor seçilmesi uygundur.

- **Kural 3:** *Eğer* ortalama ağırlık olarak orta veya büyük sınıflardan herhangi birinde *ise ve* eyleyici tipinin gürültülü bir şekilde çalışması sorun değil *ise ve* çekiş gücünün çok yüksek seviyede olması isteniyor *ise ve* ivmelenmesinin yüksek kademede olması isteniyor *ise ve* maksimum hızının yüksek seviyede olması isteniyor *ise O Halde* eyleyici tipi olarak hidrolik motor seçilmesi uygundur.

Eyleyici tipi ve görev süresi ile seçilecek enerji tipi ilişkilendirmesi yapılır (Demir, 2017).

- **Kural 1:** *Eğer* eyleyici tipi elektrik motoru *ise ve* görev süresi kısa seviyede olması isteniyor *ise O Halde* enerji tipi olarak pil seçilmesi uygundur.
- **Kural 2:** *Eğer* eyleyici tipi elektrik motoru *ise ve* görev süresinin orta seviyede olması isteniyor *ise O Halde* enerji tipi olarak batarya seçilmesi uygundur.
- **Kural 3:** *Eğer* eyleyici tipi içten yanmalı motor veya hidrolik motor *ise ve* görev süresinin uzun olması isteniyor *ise O Halde* enerji tipi olarak yakıt seçilmesi uygundur.



**Şekil 5.** Ağırlık sınıflandırması, gürültü sesi, çekiş gücü, ivmelenme ve max hız ile eyleyici tipini ilişkilendirme grafiği (Demir, 2017)

İnsansız kara aracının ortalama ağırlığının sınıfına göre intikal konfigürasyonları belirlenmiştir. Ağırlık sınıfına göre adlandırılacak olan intikal konfigürasyonları çeşitleri belirlenerek graf ağacı yapısı oluşturulur. İlk olarak insansız kara araçlarının ağırlık sınıflarına göre çeşitleri oluşturulmalıdır. İKA, intikal konfigürasyonu olarak 2 tekerlekli, 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli ve paletli olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Aracın istenen ortalama ağırlığına göre stabiliteye uyacak biçimde graf ağacı oluşturulmuştur (Demir, 2017).

- İKA ortalama ağırlığının 5 kg altında olması isteniyorsa mikro sınıf seçilir. Mikro sınıf; 2 tekerlekli, 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli ve paletli intikal konfigürasyon çeşitlerinin hepsine uygulanabilir.
- İKA ortalama ağırlığının 5 kg ile 15 kg arasında olması isteniyorsa minyatür sınıf seçilir. Minyatür sınıf; 2 tekerlekli, 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli ve paletli intikal konfigürasyon çeşitlerinin hepsine uygulanabilir.
- İKA ortalama ağırlığının 15 kg ile 200 kg arasında olması isteniyorsa küçük-hafif sınıf seçilir. Küçük-hafif sınıf; 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli ve paletli intikal konfigürasyon çeşitlerine uygulanabilir. 2 tekerlekli statik olarak stabil olmayıp dinamik olarak stabil olduğu için belli bir ağırlıktan sonra seçimi uygun değildir.
- İKA ortalama ağırlığının 200 kg ile 1000 kg arasında olması isteniyorsa küçük-orta sınıf seçilir. Küçük-orta sınıf; 4 tekerlekli, çok tekerlekli ve paletli intikal konfigürasyon çeşitlerine uygulanabilir. 3 tekerlekli insansız kara aracının belli bir ağırlıktan seçimi uygun değildir.
- İKA ortalama ağırlığının 1000 kg ile 10000 kg arasında olması isteniyorsa küçük-ağır sınıf seçilir. Küçük-ağır sınıf; 4 tekerlekli, çok tekerlekli ve paletli intikal konfigürasyon çeşitlerine uygulanabilir.
- İKA ortalama ağırlığının 10000 kg ile 15000 kg arasında olması isteniyorsa orta sınıf seçilir. Orta sınıf; 4 tekerlekli, çok tekerlekli ve paletli intikal konfigürasyon çeşitlerine uygulanabilir.

- İKA ortalama ağırlığının 15000 kg üzerinde olması isteniyorsa büyük sınıf seçilir. Büyük sınıf; 4 tekerlekli, çok tekerlekli ve paletli intikal konfigürasyon çeşitlerine uygulanabilir.

İnsansız kara aracının görev yapacağı arazi tipi ve kullanılacak süspansiyon sistemi çeşidi ile ağırlığa göre sınıflandırılmış intikal konfigürasyonları arasında ilişkilendirme yapılır. Arazi tipi olarak düz-sert zemin, düz-yumuşak zemin, engebeli-sert zemin ve yumuşak-engebeli zemin belirlenmiştir. Süspansiyon sistemi çeşidi olarak da basit yapıda ve belirli ağırlıklara kadar dayanabilen kauçuk esaslı süspansiyon sistemi ve diğer süspansiyon sistemi seçimi yapılmaktadır (Demir, 2017).

- **Kural 1:** Eğer arazi tipi olarak düz-sert zeminde görev yapacak **ise ve** süspansiyon sistemi olarak kauçuk esaslı süspansiyon sistemi tipi kullanılacak **ise O Halde** intikal konfigürasyonu olarak 2 tekerlekli mikro, 2 tekerlekli minyatür, 3 tekerlekli mikro, 3 tekerlekli minyatür, 4 tekerlekli mikro, 4 tekerlekli minyatür, çok tekerlekli mikro ve çok tekerlekli minyatür seçilmesi uygundur.
- **Kural 2:** Eğer arazi tipi olarak düz-sert zeminde veya düz-yumuşak zeminde görev yapacak **ise ve** süspansiyon sistemi olarak kauçuk esaslı süspansiyon sistemi tipi kullanılacak **ise O Halde** intikal konfigürasyonu olarak paletli mikro ve paletli minyatür seçilebilmesi uygundur.
- **Kural 3:** Eğer arazi tipi olarak düz-sert zeminde, düz-yumuşak zeminde veya engebeli-sert zeminde görev yapacak **ise ve** süspansiyon sistemi olarak diğer süspansiyon sistemi tipi kullanılacak **ise O Halde** intikal konfigürasyonu olarak 3 tekerlekli küçük-hafif, 4 tekerlekli küçük-hafif, 4 tekerlek-



li küçük-orta, 4 tekerlekli küçük-ağır, 4 tekerlekli orta, 4 tekerlekli büyük, çok tekerlekli küçük-hafif, çok tekerlekli küçük-orta, çok tekerlekli küçük-ağır, çok tekerlekli orta, çok tekerlekli büyük, paletli küçük-hafif, paletli küçük-orta, paletli küçük-ağır, paletli orta ve paletli büyük seçilmesi uygundur.

- **Kural 4:** Eğer arazi tipi olarak düz-sert zeminde, düz-yumuşak zeminde, engebeli-sert zeminde ve yumuşak-engebeli zeminde görev yapacak **ise ve** süspansiyon sistemi olarak diğer süspansiyon sistemi tipi kullanılacak **ise O Halde** intikal konfigürasyonu olarak çok tekerlekli küçük-hafif, çok tekerlekli küçük-orta, çok tekerlekli küçük-ağır, çok tekerlekli orta, çok tekerlekli büyük, paletli küçük-hafif, paletli küçük-orta, paletli küçük-ağır, paletli orta ve paletli büyük seçilmesi uygundur.

İntikal konfigürasyonundaki istenen manevra kabiliyeti seviyesine göre seçilecek yönlendirme sistemi tipi seçimi yapılır. Yönlendirme sistemi olarak en yüksek manevra kabiliyetine sahip olan diferansiyel yönlendirme sistemi, yüksek manevra kabiliyetine sahip olan 4WS yönlendirme sistemi, orta seviye manevra kabiliyetine sahip olan senkron yönlendirme sistemi ve düşük seviyede yönlendirme sistemine sahip olan Ackerman yönlendirme sistemi belirlenmiştir (Demir, 2017).

- **Kural 1:** Eğer intikal konfigürasyonu olarak 4 tekerlekli veya çok tekerlekli **ise ve** manevra kabiliyetinin düşük olması isteniyor **ise O Halde** yönlendirme sistemi olarak Ackerman yönlendirme sistemi seçilmesi uygundur.
- **Kural 2:** Eğer intikal konfigürasyonu olarak 2 tekerlekli, 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli veya paletli **ise ve** manevra kabiliyetinin çok yük-

sek olması isteniyor *ise O Halde* yönlendirme sistemi olarak diferansiyel yönlendirme sistemi seçilmesi uygundur.

- **Kural 3:** Eğer intikal konfigürasyonu olarak 3 tekerlekli, 4 tekerlekli veya çok tekerlekli *ise ve* manevra kabiliyetinin orta olması isteniyor *ise O Halde* yönlendirme sistemi olarak senkron yönlendirme sistemi seçilmesi uygundur.
- **Kural 4:** Eğer intikal konfigürasyonu olarak 4 tekerlekli veya çok tekerlekli *ise ve* manevra kabiliyetinin yüksek olması isteniyor *ise O Halde* yönlendirme sistemi olarak 4WS yönlendirme sistemi seçilmesi uygundur.

İnsansız kara aracının kullanılacağı ortam, ortalama ağırlığı ve intikal konfigürasyonları kullanılarak süspansiyon sistemi seçimi yapılır. Ortam olarak kapalı ortam ve açık ortam belirlenmiştir. Ağırlık olarak mikro ve minyatür sınıflarda kauçuk esaslı süspansiyon sistemi kullanılır. Çünkü kauçuk esaslı süspansiyon sistemi minyatür sınıf üzerindeki ağırlıkları tartamaz. Geriye kalan ağırlık sınıflarında diğer süspansiyon sistemi daha uygundur (Demir, 2017).

- **Kural 1:** Eğer kapalı ortamda çalışacak *ise ve* ortalama ağırlık olarak mikro veya minyatür sınıflarda *ise ve* intikal konfigürasyonu olarak 2 tekerlekli, 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli veya paletli *ise O Halde* süspansiyon sistemi olarak kauçuk esaslı süspansiyon sistemi seçilmesi uygundur.
- **Kural 2:** Eğer kapalı veya açık ortamda çalışacak *ise ve* ortalama ağırlık olarak küçük- hafif, küçük-orta, küçük-ağır, orta veya büyük sınıflarda *ise ve* intikal konfigürasyonu olarak 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli veya paletli *ise O Halde*

süspansiyon sistemi olarak diğer süspansiyon sistemi seçilmesi uygundur.

İKA'nın kullanım amacı ve intikal konfigürasyonu ile ilişkilendirilen faydalı yük seçimi yapılır (Demir, 2017).

- **Kural 1:** Eğer lojistik amaçlı kullanılacak *ise ve* intikal konfigürasyonu olarak 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli veya paletli *ise O Halde* faydalı yük olarak üst kısmı ekipman ve personel taşımaya yönelik tasarlanmış bir biçimde olan taşıyıcı seçilmesi uygundur.
- **Kural 2:** Eğer keşif, gözetleme ve istihbarat amaçlı kullanılacak *ise ve* intikal konfigürasyonu olarak 2 tekerlekli, 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli veya paletli *ise O Halde* faydalı yük olarak gözetleme ekipmanları seçilmesi uygundur.
- **Kural 3:** Eğer bomba imha amaçlı kullanılacak *ise ve* intikal konfigürasyonu olarak 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli veya paletli *ise O Halde* faydalı yük olarak manipülatör seçilmesi uygundur.
- **Kural 4:** Eğer saldırı veya geri emniyet amaçlı kullanılacak *ise ve* intikal konfigürasyonu olarak 4 tekerlekli, çok tekerlekli veya paletli *ise O Halde* faydalı yük olarak silah sistemi seçilmesi uygundur.
- **Kural 5:** Eğer yangın söndürme amaçlı kullanılacak *ise ve* intikal konfigürasyonu olarak 3 tekerlekli, 4 tekerlekli, çok tekerlekli veya paletli *ise O Halde* faydalı yük olarak su topu seçilmesi uygundur.

## a. Ağırlık Oranı Metodu ile En İyi Alternatif Belirleme

Ağırlık oranında ölçütlerin önem göstergesini () tasarımcı özel olarak belirler. Tasarımcı aynı şekilde memnuniyet derecelerini de özel olarak belirler. İnsansız kara aracının ağırlığına göre 3 çeşit ölçüt önem göstergeli ağırlık oranı metot çizelgesi ve 3 çeşit memnuniyet dereceleri çizelgesi ortaya çıkarılmıştır (Demir, 2017). Bunlar:

- Ağırlık sınıfı mikro ve minyatür olan ağırlık oranı metodu ( $\lambda_1$  Seti)
- Ağırlık sınıfı küçük-hafif, küçük-orta ve küçük-ağır olan ağırlık oranı metodu ( $\lambda_2$  Seti)
- Ağırlık sınıfı orta ve büyük olan ağırlık oranı metodu ( $\lambda_3$  Seti)

**Tablo 2.** Memnuniyet dereceleri (Ağırlık sınıfı mikro ve minyatür)  
(Demir, 2017)

| Parametreler           | Memnuniyet Dereceleri |                     |   |   |          |         |              |      |                   |
|------------------------|-----------------------|---------------------|---|---|----------|---------|--------------|------|-------------------|
|                        | 1                     | 2                   | 3 | 4 | 5        | 6       | 7            | 8    | 9                 |
| Eyleyici               | Hidrolik Motor        | İçten Yanmalı Motor |   |   |          |         |              |      | Elektrik Motoru   |
| Enerji                 | Yakıt                 |                     |   |   |          | Batarya |              |      | Pil               |
| İntikal Konfigürasyonu |                       |                     |   |   | Çok T.   | Paletli | 4 T.         | 3 T. | 2 T.              |
| Faydalı Yük            |                       |                     |   |   |          |         |              |      | Faydalı Yük       |
| Süspansiyon Sistemi    |                       | Diğer S.S.          |   |   |          |         | Kauçuk S.S.  |      |                   |
| Yönlendirme Sistemi    |                       | Ackerman Y.S.       |   |   | 4WS Y.S. |         | Senkron Y.S. |      | Diferansiyel Y.S. |

**Tablo 3.** Ölçüt önem göstergesi (Ağırlık sınıfı mikro ve minyatür) ( $\lambda_1$  Seti) (Demir, 2017)

|             | $C_1$<br>Eyleyici | $C_2$<br>Enerji | $C_3$<br>İntikal Konfigürasyonu | $C_4$<br>Faydalı Yük | $C_5$<br>Süspansiyon Sistemi | $C_6$<br>Yönlendirme Sistemi |                           |
|-------------|-------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| $\lambda_1$ | 18                | 22              | 30                              | 10                   | 8                            | 12                           | $\Sigma \lambda_i e_{ij}$ |

**Tablo 4.** Memnuniyet dereceleri (Ağırlık sınıfı küçük-hafif, k-orta ve k-ağır) (Demir, 2017)

| Parametreler           | Memnuniyet Dereceleri |   |   |               |                |   |                     |            |                   |
|------------------------|-----------------------|---|---|---------------|----------------|---|---------------------|------------|-------------------|
|                        | 1                     | 2 | 3 | 4             | 5              | 6 | 7                   | 8          | 9                 |
| Eyleyici               |                       |   |   |               | Hidrolik Motor |   | İçten Yanmalı Motor |            | Elektrik Motoru   |
| Enerji                 |                       |   |   |               | Yakıt          |   | Pil                 |            | Batarya           |
| İntikal Konfigürasyonu |                       |   |   | 2 T.          | 3 T.           |   | 4 T.                | Çok T.     | Paletli           |
| Faydalı Yük            |                       |   |   |               |                |   |                     |            | Faydalı Yük       |
| Süspansiyon Sistemi    |                       |   |   | Kauçuk S.S.   |                |   |                     | Diğer S.S. |                   |
| Yönlendirme Sistemi    |                       |   |   | Ackerman Y.S. | Senkron Y.S.   |   | 4WS Y.S.            |            | Diferansiyel Y.S. |

**Tablo 5.** Ölçüt önem göstergesi (Ağırlık sınıfı k-hafif, k-orta ve k-ağır) ( $\lambda_2$  Seti) (Demir, 2017)

|             | C <sub>1</sub><br>Eyleyici | C <sub>2</sub><br>Enerji | C <sub>3</sub><br>İntikal Konfigürasyonu | C <sub>4</sub><br>Faydalı Yük | C <sub>5</sub><br>Süspansiyon Sistemi | C <sub>6</sub><br>Yönlendirme Sistemi |                           |
|-------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| $\lambda_2$ | 22                         | 16                       | 30                                       | 10                            | 8                                     | 14                                    | $\Sigma \lambda_i e_{ij}$ |

**Tablo 6.** Memnuniyet dereceleri (Ağırlık sınıfı orta ve büyük) (Demir, 2017)

| Parametreler           | Memnuniyet Dereceleri |      |   |               |              |      |                 |                     |                   |
|------------------------|-----------------------|------|---|---------------|--------------|------|-----------------|---------------------|-------------------|
|                        | 1                     | 2    | 3 | 4             | 5            | 6    | 7               | 8                   | 9                 |
| Eyleyici               |                       |      |   |               |              |      | Elektrik Motoru | İçten Yanmalı Motor | Hidrolik Motor    |
| Enerji                 |                       |      |   |               |              | Pil  | Batarya         | Yakıt               |                   |
| İntikal Konfigürasyonu |                       | 2 T. |   | 3 T.          |              | 4 T. |                 | Paletli             | Çok T.            |
| Faydalı Yük            |                       |      |   |               |              |      |                 |                     | Faydalı Yük       |
| Süspansiyon Sistemi    |                       |      |   | Kauçuk S.S.   |              |      |                 | Diğer S.S.          |                   |
| Yönlendirme Sistemi    |                       |      |   | Ackerman Y.S. | Senkron Y.S. |      | 4WS Y.S.        |                     | Diferansiyel Y.S. |

**Tablo 7.** Ölçüt önem göstergesi (Ağırlık sınıfı orta ve büyük) ( $\lambda_3$  Seti) (Demir, 2017)

|             | C <sub>1</sub><br>Eyleyici | C <sub>2</sub><br>Enerji | C <sub>3</sub><br>İntikal Konfigürasyonu | C <sub>4</sub><br>Faydalı Yük | C <sub>5</sub><br>Süspansiyon Sistemi | C <sub>6</sub><br>Yönlendirme Sistemi |                           |
|-------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| $\lambda_3$ | 20                         | 11                       | 30                                       | 10                            | 13                                    | 16                                    | $\Sigma \lambda_i e_{ij}$ |

## ÖRNEK UYGULAMA

Geliştirilen sistematik tasarım işlem modelinde ilk olarak oluşturulan şartname soruları ile insansız kara aracının hangi özelliklerde olması istendiği şartname üzerinde belirlenir.

1. Tasarımı yapılacak İKA'nın idaresi nasıl sağlansın?
  - Uzaktan Kontrol
  - ☐ Otonom
2. Oluşturulacak İKA'nın kullanım kapsama alanı ne durumda olsun?
  - ☐ Düşük ( $x < 10$  )
  - Orta ( $10 \leq x < 25$  )
  - ☐ Yüksek ( $25 \leq x$  )
3. Tasarlanacak İKA'nın dayanıklılık durumu ne derece olsun?
  - ☐ Düşük
  - Orta
  - ☐ Yüksek
4. Tasarlanacak İKA'nın ortalama ağırlığı ne kadar olsun?
  - ☐ Mikro Sınıf ( $x < 5$  Kg)
  - ☐ Minyatür Sınıf ( $5 \leq x < 15$  Kg)
  - ☐ Küçük-Hafif Sınıf ( $15 \leq x < 200$  Kg)
  - ☐ Küçük-Orta Sınıf ( $200 \leq x < 1000$  Kg)

- ☐ Küçük-Ağır Sınıf ( $1000 \leq x < 10000$  Kg)
  - Orta Sınıf ( $10000 \leq x < 15000$  Kg)
  - ☐ Büyük Sınıf ( $15000 \leq x$  Kg)
5. İKA'nın gürültü seviyesi ne durumda olsun?
- ☐ Sessiz ( $0 < x < 70$  dB)
  - Normal ( $70 \leq x < 100$  dB)
  - Gürültülü ( $100 \leq x$  dB)
6. İKA'nın çekiş gücü ne seviyede olsun?
- ☐ Orta ( $0 < x < 250$  BG)
  - Yüksek ( $250 \leq x < 750$  BG)
  - Çok Yüksek ( $750 \leq x < 1500$  BG)
7. Tasarlanacak İKA'nın ivmelenmesi hangi kademe-  
de olsun?
- ☐ Düşük ( $0 < x < 2$  km/sa<sup>2</sup>)
  - Orta ( $2 \leq x < 4$  km/sa<sup>2</sup>)
  - Yüksek ( $4 \leq x < 6$  km/sa<sup>2</sup>)
8. İKA'nın maksimum hızı hangi seviyede olsun?
- ☐ Düşük ( $x < 80$  km/sa)
  - Orta ( $80 \leq x < 100$  km/sa)
  - Yüksek ( $100 \leq x < 150$  km/sa)

9. Oluşturulması istenilen İKA'da görev süresi nasıl olsun?

- ☐ Kısa ( $x < 4$  sa)
- ☐ Orta ( $4 \leq x < 30$  sa)
- ☒ Uzun ( $30 \leq x < 50$  sa)

10. İKA sahada hangi arazi tipinde kullanılacaktır?

- ☐ Düz Sert Zemin
- ☐ Düz Yumuşak Zemin
- ☒ Engebeli Sert Zemin
- ☐ Engebeli Yumuşak Zemin

11. İKA'nın manevra kabiliyeti ne düzeyde olsun?

- ☐ Düşük
- ☐ Orta
- ☒ Yüksek
- ☐ Çok Yüksek

12. Tasarımı yapılacak İKA temel olarak nerede kullanılmak isteniyor?

- ☐ Kapalı Ortam
- ☒ Açık Ortam

13. Tasarımı istenilen İKA'nın kullanım amacı nedir?

- ☐ Keşif, gözetleme ve istihbarat
- ☐ Lojistik



- Bomba İmha
- Saldırı veya Geri Emniyet
- Yangın Söndürme

Sonrasında kavramsal tasarım aşamasına geçilir. Tüm fonksiyon yapısından yola çıkılarak ortaya çıkarılan alt fonksiyon yapısındaki parametrelerden oluşan tasarım katalogundan alternatif seçimi yapılır (Tablo 1).

| $A_T$ |     |     |
|-------|-----|-----|
| 1.2   | 1.3 |     |
| 2.3   |     |     |
| 3.3   | 3.4 | 3.5 |
| 4.3   |     |     |
| 5.2   |     |     |
| 6.2   | 6.4 |     |

$A_T = 2 \times 1 \times 3 \times 1 \times 1 \times 2 = 12$  şartname sorularına verilen cevaplar doğrultusunda tasarım katalogu ve graf ağaçları eşliğinde toplamda 12 adet alternatif belirlenmiştir.

$$A_1 = 1.2 + 2.3 + 3.3 + 4.3 + 5.2 + 6.2$$

$$A_7 = 1.3 + 2.3 + 3.3 + 4.3 + 5.2 + 6.2$$

$$A_2 = 1.2 + 2.3 + 3.3 + 4.3 + 5.2 + 6.4$$

$$A_8 = 1.3 + 2.3 + 3.3 + 4.3 + 5.2 + 6.4$$

$$A_3 = 1.2 + 2.3 + 3.4 + 4.3 + 5.2 + 6.2$$

$$A_9 = 1.3 + 2.3 + 3.4 + 4.3 + 5.2 + 6.2$$

$$A_4 = 1.2 + 2.3 + 3.4 + 4.3 + 5.2 + 6.4$$

$$A_{10} = 1.3 + 2.3 + 3.4 + 4.3 + 5.2 + 6.4$$

$$A_5 = 1.2 + 2.3 + 3.5 + 4.3 + 5.2 + 6.2$$

$$A_{11} = 1.3 + 2.3 + 3.5 + 4.3 + 5.2 + 6.2$$

$$A_6 = 1.2 + 2.3 + 3.5 + 4.3 + 5.2 + 6.4$$

$$A_{12} = 1.3 + 2.3 + 3.5 + 4.3 + 5.2 + 6.4$$

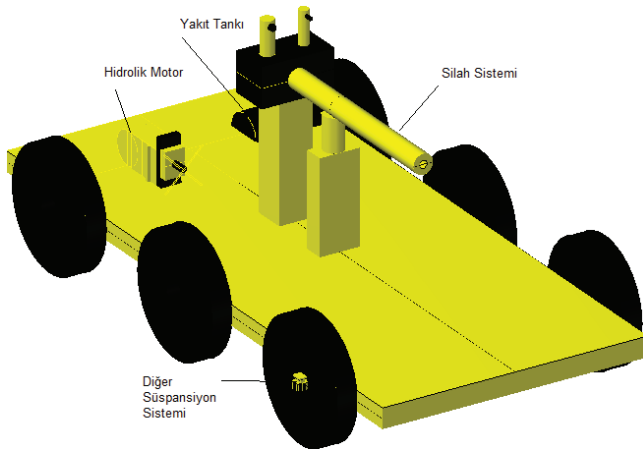
Öncelikle parametrelerin %100 üzerinden etkisinin ne durumda olacağı gösterilip ardından parametrelere göre memnuniyet dereceleri belirlenerek mesele matematik ifadeler haline dönüştürülerek sonuca ulaşılmıştır (Tablo 8). Matematik ifadeler haline dönüştürme  $\lambda_3$  seti değerleri ile memnuniyet değerleri çarpılıp ardından toplanarak

gerçekleştirilmektedir (Tablo 8). Yapılan bu işlemler sonucunda ortaya çıkan alternatif örnek şekil olarak gösterilmiştir (Şekil 6).

**Tablo 8.** Ölçüt önem göstergesi ( $\lambda_3$  Seti)

|                 | C <sub>1</sub><br>Eyleyici | C <sub>2</sub><br>Enerji | C <sub>3</sub><br>İntikal<br>Konfigürasyonu | C <sub>4</sub><br>Faydalı<br>Yük | C <sub>5</sub><br>Süspansiyon<br>Sistemi | C <sub>6</sub><br>Yönlendirme<br>Sistemi |                              |
|-----------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|
| $\lambda_3$     | 20                         | 11                       | 30                                          | 10                               | 13                                       | 16                                       | $\Sigma \lambda_{ij} e_{ij}$ |
| A <sub>1</sub>  | 8                          | 8                        | 6                                           | 9                                | 8                                        | 9                                        | 766                          |
| A <sub>2</sub>  | 8                          | 8                        | 6                                           | 9                                | 8                                        | 7                                        | 734                          |
| A <sub>3</sub>  | 8                          | 8                        | 9                                           | 9                                | 8                                        | 9                                        | 856                          |
| A <sub>4</sub>  | 8                          | 8                        | 9                                           | 9                                | 8                                        | 7                                        | 844                          |
| A <sub>5</sub>  | 8                          | 8                        | 8                                           | 9                                | 8                                        | 9                                        | 826                          |
| A <sub>6</sub>  | 8                          | 8                        | 8                                           | 9                                | 8                                        | 7                                        | X                            |
| A <sub>7</sub>  | 9                          | 8                        | 6                                           | 9                                | 8                                        | 9                                        | 786                          |
| A <sub>8</sub>  | 9                          | 8                        | 6                                           | 9                                | 8                                        | 7                                        | 754                          |
| A <sub>9</sub>  | 9                          | 8                        | 9                                           | 9                                | 8                                        | 9                                        | 876                          |
| A <sub>10</sub> | 9                          | 8                        | 9                                           | 9                                | 8                                        | 7                                        | 824                          |
| A <sub>11</sub> | 9                          | 8                        | 8                                           | 9                                | 8                                        | 9                                        | 846                          |
| A <sub>12</sub> | 9                          | 8                        | 8                                           | 9                                | 8                                        | 7                                        | X                            |

Ağırlık oranı metodu ile en iyi alternatif olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6.** Uygulama için seçilen en iyi alternatifin şekil olarak gösterimi

## SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan çalışma ile insansız kara araçlarındaki bütün parametrelerinin birbiri ile ilişki halinde olduğu ortaya çıkarılmıştır. İnsansız kara aracının her türlü arazi şartında görev yapabilmesini sağlayan intikal konfigürasyonunun oluşturulmasının gerçekte çok zor olduğu fark edilmiştir. Bir İKA tasarımının tabandan başladığı ve mekanik sistem parametrelerine göre amaca en uygun İKA tasarımının gerçekleştirileceği yapılan çalışma sonucunda anlaşılmıştır. Bu karmaşık tasarımın geleneksel metotlardan ziyade modern tasarım metotlarıyla çözümünün vuku bulacağı fikrine ulaşılmış ve çalışma başarı ile sonuçlandırılmıştır. İKA gibi kompleks yapıya sahip olan robotların tasarımı için, modern tasarım yöntemi olan sistematik tasarım en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

- Stratejik ve kompleks olan insansız kara aracı tasarımı, geliştirilen tasarım işlem modeli ile daha kolay anlaşılır hale getirilmiştir.
- İnsansız kara aracındaki ihtiyaçlar, istekler ve kısıtlamalar belirlenerek şartname oluşturulup sorunun tasviri gerçekleştirilmiş ve isteğe göre insansız kara aracı tasarımı yapılmıştır.
- Kavramsal tasarım aşamasına geçişin yapılmasıyla birlikte insansız kara aracına ait tüm fonksiyon yapısı oluşturularak amaca en uygun insansız kara aracı tasarımı fonksiyonel bir şekilde gösterilmiştir.
- Karmaşık olan tüm fonksiyon yapısı bölünerek çözümü aramayı kolaylaştıracak olan alt fonksiyonlar saptanmış ve anlaşılması zor olmayan bir fonksiyon yapısıyla bu fonksiyonlar birleştirilmiştir.

- Alt fonksiyon yapısı oluşturulurken, insansız kara aracı fiziksel çalışma prensibinden yola çıkılmış ve aracın harekete geçmesindeki birbiriyle etkileşimde olan 6 parametre tespit edilmiştir. Böylece çok karmaşık tüm fonksiyon yapısı 6 parametreye ayrıştırılarak daha kolay anlaşılır hale getirilmiş ve her parametre üzerinde yoğunlaşıp problemin çözümü rahatlatılmıştır.
- Enerji, eyleyici, intikal konfigürasyonu, faydalı yük, süspansiyon sistemi ve yönlendirme sistemi olarak belirlenen parametreler için tasarım alternatiflerinin üretilmesinde mümkün olan en geniş sayıda çözüm sayısı ortaya koyabilen tasarım katalogu kullanılmıştır. Tasarım katalogu parametrelerin şekilleri ve teknik özellikleri ile geliştirilmiştir.
- Kurallara dayalı bir veri tabanı oluşturularak graf ağacı metodu ile karar verme işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Graf ağaç yapısındaki belirlenen alternatifler insansız kara araçlarının ağırlığına göre tasarımcı inisiyatifine bağlı olan 3 farklı  $\lambda$  seti ve 3 farklı memnuniyet dereceleri bulunan ağırlık oranı metodu ile matematik ifadelerine dönüştürülerek en uygun alternatifin seçimi gerçekleştirilmiştir. Böylece insansız kara araçlarına adapte edilen sistematik tasarım içerisindeki kavramsal tasarım sonlandırılmıştır.
- İnsansız kara aracı sistematik tasarım sürecini ürün geliştirme süreçlerine dâhil edilmesi sonucunda, geliştirilecek olan ürüne ait pek çok zayıf ve pozitif parametreleri sistematik bir yolla şartname süzgecinden geçirilerek kavramsal tasarım ile tahmin

edilmiştir. Böylece ürün hala tasarım aşamasındayken ürünün tasarımı iyileştirilebilir hale gelmiştir.

- Hazırlanan bu karar sistemi ile tasarımcının bütün kriterler eşliğinde alternatifleri değerlendirmek için harcayacağı zaman kısalmış, tasarım maliyeti azalmıştır.
- İnsansız kara aracı sistematik tasarımının ticarileştirilmesi durumunda, müşteri isteğine göre çeşit çeşit insansız kara aracı tasarımının gerçekleştirilebileceği geliştirilen bu tasarım işlem modeli ile açık bir şekilde gösterilmiştir.
- Geliştirilen tasarım işlem modeli ile veri tabanı oluşturulmuş sistematik tasarım, yapay zekâ kullanımına uygun hale gelmiştir. İnsansız kara araçları sistematik tasarımında yapay zekâ kullanılarak mühendislik tasarımı yani ayrıntılı tasarım işlemine geçişi yapılabilecektir.

## KAYNAKLAR

- Bayazıt, N. (1994). Endüstri Ürünlerinde ve Mimarlıkta Tasarlama Metotlarına Giriş. *İstanbul: Literatür Yayıncılık*.
- Bozdemir, M. (2003). Takım Tezgâhlarının Yapay Zekâ Tekniklerine Dayalı Sistematik Tasarımı. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Börekli, H. R. (2010). Mühendislik Tasarımı-Sistematik Yaklaşım. Ankara: Hatiboğlu Basım ve Yayımlar.
- Chapanis, A. (1965). Research Techniques in Human Engineering. Baltimore: The John Hopkins Press.
- Demir, C. (2017). İnsansız Kara Araçlarının Hareket Sistemlerinin Kavramsal Tasarımı. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Hsu, W. ve Woon, M. (1998). Current Research in The Conceptual Design of Mechanical Products. *Computer Aided Design*, 30(5), 377-389.
- Murrel, K.F.H. (1965). Ergonomics Man in His Working Environment. London: Chapman&Hall. 1-100
- Pahl, G. ve Beitz, W. (1988). Engineering Design: A Systematic Approach. London: Springer Verlag.
- Roozenburg, N.F.M ve Eekels, J. (1995). Product Design: Fundamental and Methods. England: John Willey & Sonns.
- Sivri, S. (2013). Kavramsal Tasarımda Fonksiyonel Model Oluşturma. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.



# İNSANSIZ KARA ARAÇLARINDA TEKERLEK VE PALET TAHRİK SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Cüneyd DEMİR<sup>1</sup>, Mustafa BOZDEMİR<sup>2</sup>



- 
- 1 Öğretim Görevlisi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mucur Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kırşehir, Türkiye.
- 2 Profesör Doktor, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kırıkkale, Türkiye.







## İNSANSIZ KARA ARAÇLARINDA TEKERLEK VE PALET TAHRİK SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Cüneyd DEMİR<sup>1</sup>, Mustafa BOZDEMİR<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Askeri alanda insansızlaşma, insansız hava araçlarının kullanımı ile başlamıştır. Başka bir tabirle askeri alanda insansızlaşmanın tarihi, insansız hava araçlarının tarihi ile eşittir. İnsansız kara, deniz ve uzay araçları ise son 30 yılda ortaya çıkan gelişmelere paralel olarak yükselen bir ivme ile gelişme göstermiştir. İnsansız kara aracı çalışmaları 1970'li yıllarda fikirden, uygulamaya doğru yol alırken bacakları olan makinelerin yapılabirliğine yönelik çalışmalar ile başlamıştır. Çalışmalar sırasında yürüyen bir makineden önce bir robot oluşturulmasının gerekli olduğu ortaya çıkmış ve bu robotun belirli ekipmanlar ile donatılarak birçok özel amaca uygun hale getirilebileceği görülmüştür. İlerleyen süreçte yapılan çalışmalarda askeri sistemlere uygulanma anlayışı ortaya çıkmış ve insansız kara araçlarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar başlatılmıştır (Karel, 2010).

Askeri alanda kullanılmak üzere insansız araçlara olan ihtiyaç gün geçtikçe daha çok artmaktadır. Bunun etkisiyle savunma sanayimizdeki millileşme ile birlikte insansız araç teknolojisine olan gereksinim karşılanmaya çalışılmaktadır (Demir, 2017).

İnsansız kara aracı genel olarak üzerindeki elektronik görüş sistemi, sensörler ve uzaktan kumandalı silah sistemi sayesinde savaş risklerini azaltmak ve herhangi bir

1 Öğretim Görevlisi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mucur Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kırşehir, Türkiye.

2 Profesör Doktor, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kırıkkale, Türkiye.

tehdidi etkisiz kılmak amacıyla geleceğin ordularında yer alacak otonom sistemlerdir. İnsansız kara araçlarının hareket mekanizmaları, araca yetenek katabilecek en önemli özelliklerinden bir tanesidir. Her şartta problemsiz çok yönlü hareket kabiliyetiyle ilerleme kat etmesi gerekmektedir. Bunun için insansız kara araçlarının hareket sistemleri araştırılarak, çevre şartlarına uygun palet veya tekerlek sistemlerinin uygunluğu tespit edilmesi gereklidir. Tahrik sistemlerinin farklılığının insansız kara aracı üzerindeki etkisi incelenerek aracın statığına bağlı olarak çevre şartlarına uygun kullanılacak tekerlek sayısı ve palet yapısının araştırılıp tasarlanması lazım gelir. Böylelikle insansız kara aracının engel aşma, yol izleme ve bütün lojistik uygulamalarda problem yaşamaksızın aracın kritik araziye zapt edebilmesi ve yol alabilmesi gereklidir. Aracın hareket kabiliyeti açısından tekerlek ve palet yapıları çok önemlidir. İnsansız kara araçlarında; Keşif ve gözetleme, sınır devriyesi, lojistik, muharebe alanında ve muharebe öncesi üstünlük, uzay araştırmaları, bilimsel uygulamalar, her türlü hava koşulunda gece ve gündüz aralıksız çalışabilme, her türlü arazide kesintisiz çalışabilme, gerektiğinde tersine dönük şekilde çalışabilme, su geçirmezlik, yüksek manevra kabiliyeti, stabilitesi ve kontrol edilebilirliği gibi özelliklerle üstünlük katarak standartların üzerine çıkarılmış olur.

## İNSANSIZ KARA ARAÇLARI

İnsansız kara aracının günümüz tanımı yapılmak istenirse; yüksek hareket kabiliyetine sahip dayanıklı bir araç platformu üzerine göreve özel değişik faydalı yüklerin entegre edilebildiği, ayarlanabilir otonomi seviyesine sahip, modüler kontrol konsolu ile uzaktan komuta edilebilen zemin temas ederek intikalini sağlayan yeni nesil insansız araçlar, insansız kara aracı olarak adlandırılır.

İnsansız kara araçlarının görevleri şunlardır: Keşif ve gözetleme, savaş alan desteği, anayurt güvenliği, taarruz harekâtları, mayın temizleme, bomba imha, sınır devriyesi, lojistik, silah platformu olarak, muharebe alanında ve muharebe öncesi üstünlük, tespit edilen hedefleri ateş altına alabilme, terörizme karşı savaş, tesis ve bina güvenliği, uzay araştırmaları, bilimsel uygulamalar, veri saklama ve yayma kabiliyeti, rutin ve sıkıcı işlerde kullanım, yetkili veya güvenilir olmayan personel tespit edebilme, korkusuz olma ve yorulmama, karanlıkta ve aydınlıkta görüntü toplayabilme, tekrar eden görevleri hızlı ve tamamen doğru yapabilme, kaybedilmelerinin insan kaybından daha önemsiz olması, iletişim rölesi olarak hareket edebilme, konuşma tanınması ve üç boyutlu ses algılama yeteneği, muharebe ortamında daha insani olabilmeleri, güvenlik birliklerinin ilk önce görmesini, ilk önce anlamasını, ilk önce harekete geçmesini ve ilk önce kesin sonuca ulaşma, otonom, uzaktan komuta ve gerektiğinde araç üzerinden denetim, otonom yer değiştirme, engel tanıma, aşma ve yol izleme, göreve uygun seçilebilen faydalı yükler, gündüz/gece, zor hava ve yol koşullarında görev yapabilme (Yuqiao, 2009)-(Aksoy ve Kurnaz, 2009).

İnsansız kara araçlarının yetenekleri şunlardır: Her türlü hava koşulunda gece ve gündüz kesintisiz çalışabilme, her türlü arazide kesintisiz çalışabilme, gerektiğinde tersine dönük şekilde çalışabilme, su geçirmezlik ve amfibi harekât kabiliyeti, yüksek manevra, mobilite ve stabilite yeteneği, darbelere karşı dayanım, merdivenlere tırmanabilme, kapı aralığından geçebilme, enkaz tipi engelleri aşabilme, insan tarafından taşınabilme, uzun çalışma süresi, otonom kontrol ve navigasyona sahip olma, tak ve çalıştır modüler donanım entegrasyon kabiliyeti, haberleşme ve kontrol sistemi, hızlı veri aktarım yeteneği, kolay kullanım ve kısa operatör eğitim süresi, düşük maliyet ve seri üretim, kolay güncellenebilir yazılım mimarisi, bakım ve idame kolaylığı, havadan indirme, bir duvar üzerinden

veya araçtan atılabilme, düşük profilli konfigürasyon ve düşük tespit edilebilirlik, hava ve kara saldırılarına karşı personel için zırh koruması, diğer insanlı ve insansız araçlarla iletişim, sessiz izleme ve hareket, silah platformu rolü, kendi arızasını tespit edebilme. İnsansız kara araçlarının en belirgin özelliklerinden biri ikmal yapmadan enerjilerinin yettiği kadar verilen görevi yapabilmeleridir. İnsansız kara araçlarının enerji problemi için çeşitli enerji sistemlerinin insansız kara aracını çalıştırma süreleri incelenmiştir (BAST, 2002).

İnsansız kara araçlarının çeşitli sınıflandırmaları vardır;

- Operatör müdahalesine göre; uzaktan kumandalı, otonom
- Hareket kabiliyetine göre; tekerlekli, paletli (tam paletli, yarı paletli), ayaklı (iki veya çok ayaklı, eklem bacaklı), müteferrik (tekerlekli-paletli, sürünme kabiliyetli)
- Aldığı göreve göre; ayaklı, taşıyıcı, silahlı keşif aracı
- Yetkin olma durumuna göre; telsiz operatörlü, yarı-otonom, platform merkezli otonom, ağ merkezli otonom (BAST, 2002).

### ***a. İnsansız Kara Araçları Tahrik Sistemleri***

İnsansız kara araçlarının çevrede dolaşabilmesi için çeşitli tahrik mekanizmalarına ihtiyaç duyarlar. Bu mekanizmalar tekerlekli, paletli, ayaklı ya da müteferrik yapıda olabilmektedirler. Dolayısıyla insansız kara aracının hangi amaç için kullanılacağı tahrik sistemini belirlemek için önemlidir. En çok kullanılan tahrik sistemi tekerlekli. Aracın hareket yeteneği açısından tekerlek yapıları çok önemlidir (Demir, 2017).

En çok kullanılan birinci tekerlek yapısı, Ackerman tekerlek yapısıdır. Ackerman tekerlek modeli 1817 yılında Rudolph Ackerman tarafından ortaya çıkarılmıştır. Her ne kadar modern araçların hepsi Ackerman modelini kullanmamış olsalar da temelde bu modeli baz alarak kendi modellerini oluşturmuşlardır. Ackerman modelinde tahrik ön taraftaki iki tekerlekten olabileceği gibi arka iki tekerlekten de olabilmektedir (Çetinkaya, 2015).

Günümüzdeki otomobillerde kullanılan Ackerman yönlendirme sistemi aracın dönüşü esnasında iç kısımda bulunan tekerleğin dıştaki tekerleğe göre daha keskin bir dönüş yapmasıdır ya da bir başka deyişle aynı mile ait iki tekerleğin ayrı iki açı ile aşağı yukarı hareket ettirilmesine denir. Taşıtlarda dönme hareketi bir dönme merkezi etrafında yapılır. Dönme sırasında tekerlek aks uzantılarının dönme merkezinden geçmesi iyi bir dönüş için gereklidir. Bununla ilgili olarak tekerleklerin dönme sırasında saptırılması gereklidir. Bu ihtiyacı da Ackerman prensibi sağlar. Böylesi bir sistemde aks uzantılarının dönme merkezinden geçmesi için ön tekerlekler mafsallı bir aks başlığına bağlanmıştır. Ön aks başları birer başlık pimi üzerinden veya küresel mafsallar ile şasiye bağlanmıştır. Bu şekilde tekerleklerin kendi eksenleri etrafında beraberce dönmele-ri sağlanmıştır. Araçlarda manevra yeteneği, tekerleklerin dönebildiği minimum yarı çaptır. Bu çap küçültülmek istenir ise arka tekerleklerle de dönme kabiliyeti verilmesi gerekir. Araçta dönüş esnasında iç kısımda bulunan tekerlek ile dış kısımda bulunan tekerleğin dönme yarıçapları farklıdır. Ancak dönme merkezleri aynıdır ve bu da dönüşün yapılmasını sağlar. Eğer Ackerman prensibi kullanılmısaydı güvenli bir dönüş sağlanamazdı ve aynı zamanda lastik aşınımları gözle görünür bir oranda artardı (Web 1).

En çok kullanılan ikinci tekerlek yapısı, diferansiyel tekerlek yapısıdır. Bu yapı üç tekerlekli konfigürasyonun ilk sırasındaki gibi olabileceği gibi altı tekerlekli konfigüras-

yonun yapısında da olabilir. Dört tekerlekli önde ve arkada taşıyıcı tekerlekler ve her iki yan da sürükleyici iki teker yapısında da olabilir (Kavak, 2008).

Düz yolda ilerleyen bir aracın sol ve sağ tekerlekleri hemen hemen aynı hızda dönerken, dönüşlere dış ve iç tekerleklerin kat ettikleri yol farklıdır. Tahrik edilmeyen tekerlekler için sorun oluşturmayan bu durum, tahrik edilen tekerlekler için sorun olmaktadır. Tekerleklerin farklı hızlarda dönmeleri ve motordan gelen torku paylaşmaları gerekmektedir. Yani diferansiyel dış ve iç tekerlekler arasındaki bu farklı dönüşü gerçekleştiren ve torku paylaş-tıran organdır (Çetinkaya, 2015). Diferansiyel tekerlek yapısı, Ackerman ve birçok tekerlek yapılarına göre kontrolü karmaşık ve zor olsa da birçok uygulama da hareket yapısının esnek olması, dönme, geri geri gelme, engelle-re karşı hızlı bir şekilde yön değiştirebilme gibi istenilen hareketleri rahatlıkla yapabilme kabiliyetlerinden dolayı tercih edilmektedir. Diferansiyel tekerlek yapısı gerek üç tekerlekli gerek dört tekerlekli gerekse de altı tekerlekli yapıda olabilmektedir (Kavak, 2008).

### ***b. Tekerlekli ve Paletli İnsansız Kara Araçları***

Tekerlekli insansız kara araçları zemin üzerinde tekerlek yardımıyla hareket eden araçlardır. Bu tasarım ayaklı sistemlere göre daha basit olduğu ve zeminde hareket için tasarlama, üretme ve programlama süreçleri daha kolay olduğundan oldukça sık tercih edilirler. Diğer insansız araçlara oranla daha kolay kontrol edilebilmesi bir diğer avantajıdır. Dezavantajlarının başında yerde bulunan engelleri aşamamaları gelir. Bu nedenle düz olmayan ve düşük sürtünme katsayısı olan zeminlerde kullanışsızdırlar. Değişik sayılarda tekerlekli insansız kara araçları üretil-bilmektedir fakat statik ve dinamik denge sağlamak için üç tekerlek yeterlidir. Tekerlekli insansız kara araçlarının tercih edilmesinin nedeni ilerleme mekanizmalarının ba-

sitliğindendir ve ilerleme mekanizmaları tekerlek sayılarına göre farklılık gösterebilir. Genel olarak iki tekerlekli insansız kara araçları yön kontrollerini tekerleklerinin bağlı olduğu motorlar arasındaki hız farkı ile sağlar. Bu sistem üç tekerlekli hatta dört tekerlekli insansız kara araçlarında da kullanılabilir. Dört tekerlekli insansız kara araçlarında buna ek olarak öndeki veya arkadaki tekerlerin yönlerini değiştirmek suretiyle yön belirlenmesini sağlayan arabalardakine benzer bir diferansiyel sistemi bulunabilmektedir. Çok tekerlekli insansız kara araçlarında da iki tekerlekli insansız kara araçlarında olduğu gibi hız farkı ile veya diferansiyel yardımıyla yön kontrolü yapılabilir. Çok yönlü tekerlekler kullanarak her yöne hareket edebilen tekerlekli insansız kara araçları veya tekerlek gibi davranan top şeklinde insansız kara araçları da kendilerine has ilerleme metotlarına sahiptirler (Web 2).

Bu insansız kara aracı sınıfı kendi içerisinde tekerlek sayısına göre kategorilendirilir. Alt kategoriler içerisinde tek tekerlekli insansız kara araçları, iki tekerlekli insansız kara araçları, üç tekerlekli insansız kara araçları, dört tekerlekli insansız kara araçları, çok tekerlekli insansız kara araçları ve aslında tekerlekli olmasalar bile çalışma prensibi bakımından benzer olduklarından paetli insansız kara araçları bulunmaktadır (Web 3).

**Tek Tekerlekli İnsansız Kara Aracı:** Tek tekerlekli insansız kara araçlarında denge sağlamak zeminle arasında sadece tek temas noktası bulunduğu için oldukça zordur. İnsansız kara aracı küre üzerinde istediği yöne gidebileceği için küre şeklinde bir teker kullanmak tipik disk şeklinde tekerler kullanmaya nazaran çok daha büyük kolaylık sağlamaktadır (Web 2). Çok tekerli statik dengeli insansız kara araçlarının düşük yerçekimi merkezleri, geniş destek temelleri ve devrilmemek için düşük ivmelenmeleri olmalıdır. Bu şartlar birçok performans limitine neden olmaktadır. Bu duruma uygun olarak istenenlerin tam



tersi özelliklerde insansız kara aracı bulunmaktadır. Tek tekerli insansız kara araçlarının ağırlık merkezi yüksektedir ve dengesi iki tekerli platformlardaki gibi bir önde hareket etmek için dönme gerektirmek yerine, dinamik olarak sağlanmaktadır. Tek tekerlekli insansız kara araçları her yöne direkt olarak hareket edebilirler. Çok önemli bir problem ise statik olarak stabil olan tek tekerlekli insansız kara araçları kolaylıkla dinamik olarak dengelerini kaybedebilirler. Örneğin: Ağırlık merkezi çok yukarıda ise, robot çok hızlı ivmelenirse, eğimli bir yüzeyde ise dengesini kaybeder (Web 3).

**İki Tekerlekli İnsansız Kara Aracı:** İki tekerlekli insansız kara araçları statik açıdan dengede olmasalar da dengede kalmaları tek tekerlekli insansız kara araçlarına oranla daha kolaydır. Denge problemleri basitleştirilmiş bir ters sarkaç problemine benzer (Web 2). İki tekerlekli insansız kara araçları, tekerlekleri birbirlerine paralel ya da arkalı önlü dizilmiş olabilir. Dengede durabilmek için hareketlerine devam etmek zorundadırlar. Aracın devrildiği tarafa doğru hareketlendikçe dengede kalmaya devam eder. Birbirine paralel olacak şekilde tekerleri bulunan bir insansız kara aracının dengede durması için en az iki sensöre ihtiyacı vardır. Bunlardan biri tilt açısını ölçmek için bir sensör diğeri ise insansız kara aracının konumunu öğrenmek için motor enkoderleridir (Web 3). Söz konusu insansız kara araçları tekerleklerini tahrik eden motorlar arasındaki hız farkıyla yönlerini kontrol ederler. Kontrolü basit olduğundan iki tekerlekli insansız kara araçlar sıkça tercih edilirler. İki tekerlekli insansız kara araçlarının dengede kalmasını sağlamak için tasarımda dikkat edilecek bazı hususlar vardır. Birincisi aracın dengede kalmasına yardımcı olmak amacıyla ağırlık merkezinin tekerleklerin dingilinin altında olmasını sağlamaktır. Dolayısıyla batarya ve motor gibi ağır elemanlar insansız kara aracının alt tarafına yerleştirilirler. Bir diğeri ise teker çaplarını mümkün olduğunca yüksek tutmaktır. Böylelikle aracın devril-

mesi zorlaşacaktır. İki tekerlekli insansız kara araçları hem ters sarkaç problemi hem de kontrol algoritmalarını test etmek amacıyla kullanılabilecek kullanışlı insansız kara araçlarıdır (Web 2).

**Üç Tekerlekli İnsansız Kara Araçları:** Üç tekerlekli insansız kara araçları iki tipte olabilir: Birincisi, iki tahrikli tekerlek ve aracı dengede tutmak için bir serbest teker şeklinde bir sistem ile bulunabilirler. Arkadaki iki teker aynı kaynaktan beslenmektedir. Öndeki teker dönüş sağlayabilmek için bir dönüş mekanizması ile kontrol edilmektedir.

İkincisi, diferansiyel dönen araçlarda insansız kara aracının yönü iki ayrı kaynaktan beslenen motorların arasındaki hız farkı ile ayarlanabilir. Eğer iki teker de aynı hızda hareket ederse insansız kara aracı düz hareket etmektedir. İki teker de aynı hızda hareket etmezse dönüş hızına ve yönüne bağlı olarak dönüş merkezi iki tekeri birbirine birleştiren doğru üzerinde herhangi bir noktada olabilir (Web 3). Söz konusu insansız kara araçlarında ağırlık merkezi üç tekerin oluşturduğu üçgenin içerisinde olmalıdır. Eğer aracın kenarlarına çok büyük ağırlıkta bir kütle eklenirse araç devrilebilir.

**Dört Tekerlekli İnsansız Kara Aracı:** Dört tekerlekli insansız kara araçları tekerlekli insansız kara araçları arasında denge problemini en kolay aşabilenidir. Statik denge için üç tekerlek yeterli olsa bile, üç tekerlekli insansız kara araçları hareket sırasında dengelerini kaybedebilirken, dört tekerlekli insansız kara araçlarında bu duruma çok nadir rastlanır. Dört tekerlekli insansız kara araçlarında yön belirleme temelde iki farklı prensip uygulanarak kontrol edilir. Birincisi, iki tekerlekli insansız kara araçlarında olduğu gibi yan tekerlekler arasındaki hız farkıdır. Aynı kenarda bulunan tekerlere aynı hızlar verilir ise iki kenarın hareket hızları arasındaki fark aracın yönünde bir değişime sebep olmaktadır. Bu tip bir kontrol yöntemi dört te-

kerlekli insansız kara araçları paletli insansız kara araçları gibi hareket edebilmesini sağlar. Fakat palet yerine tekerlek kullanıldığından tekerlerde bir kayma ve konumunda bir sapma oluşur. Bu sapmayı engellemek için dört tekerlekli insansız kara araçları simetrik olarak tasarlanır. Ön ve arka tekerlekler arasındaki mesafe mümkün olduğunca düşük tutulmaya çalışılır. İkincisi, bir diferansiyel ile ön veya arka tekerleklerin yönlerinin değiştirilmesidir. Bu uygulamada genel olarak sabit kalan tekerlekler motorlar ile tahrik edilseler de her tekerleğin motorlara bağlandığı uygulamalar da vardır (Web 2).

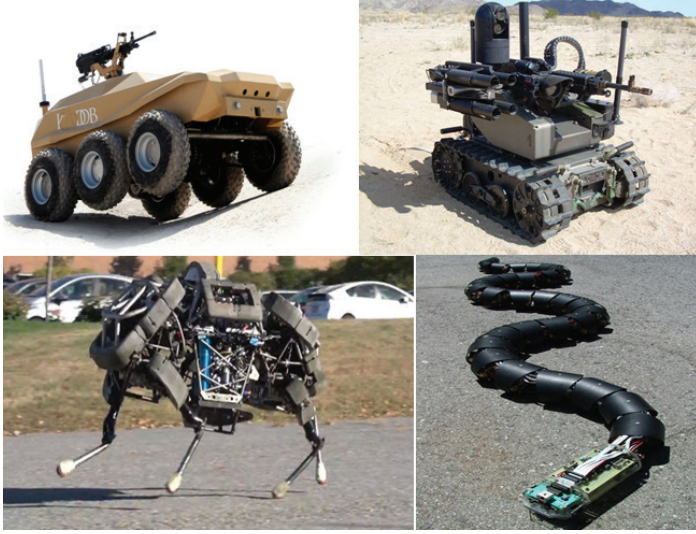
**Çok Tekerlekli İnsansız Kara Araçları:** Çok tekerlekli insansız kara araçları, tahrikli tekerlek sayıları arttıkça tasarımları karmaşıklaşır. Özellikle aracın düz ilerleyebilmesi için bütün tahrikli tekerleklerin aynı hızda dönmesi gerektiğinden, bu kontrolü sağlamak oldukça zordur. Farklı taraftaki tekerleklerin farklı hızlarda dönmesi insansız kara aracının düz gitmek yerine yavaş giden tekerin tarafına dönmesine neden olmaktadır. Aynı taraftaki motorlar arasında hız farkı oluşması da en yavaş tekerleğin kaymasına sebep olmaktadır. Bazen insansız kara aracına fazladan bir odometri sahibi serbest tekerlek ek olarak takılır. Böylelikle insansız kara aracının nasıl yürüdüğü daha yüksek doğrulukla ölçülebilir. Tahrikli tekerlerde odometri olması kayma ve diğer hareketleri göz ardı ettiği için sonuç hatalı olabilir (Web 3). Genellikle dünya dışı kullanılan insansız kara araçları altı tekerlekli. Mars da yüzey araştırmaları ve dikkat çekici yerlerin keşfi için çalışırlar. Bütün tekerlerin zemin ile temas halinde olmasını sağlayan bir süspansiyon sistemine sahiptirler. Bu sayede kumlu ve eğimli yüzeylerde daha rahat hareket ederler.

**Paletli İnsansız Kara Aracı:** Paletli insansız kara araçları ilerlemek için tekerlekleri yerine paletlerini kullanan araçlardır. Bu ilerleme yöntemi düzensiz zeminlerde paletli insansız kara araçları çok büyük avantaj sağlamak-

tadır. Aynı zamanda paletli insansız kara araçları yumuşak veya kaygan zeminlerde de tekerlekli alternatiflerine göre çok daha avantajlıdır. Paletler yerle temas alanını genişlettiği için insansız kara araçlarının ağırlığı daha geniş bir yüzeye dağılır ve paletli insansız kara araçları karlı ve çamurlu zeminlerde tekerlekli alternatifleri gibi saplanmasını engeller. Dolayısıyla ağırlık toleransları tekerlekli alternatiflerine göre daha yüksektir. Paletli insansız kara araçlarının avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Palet mekanizması tekerleklerle göre maliyeti daha yüksek bir elemandır. Bu sebeple paletli insansız kara araçlarının maliyetleri tekerlekli alternatiflerine göre daha yüksektir. Ayrıca palet mekanizması oldukça karmaşık bir mekanizma olmakla birlikte düzenli olarak bakımının yapılması gereklidir. Tekerlek gibi basit bir mekanizma olmadığından paletlerde tekerleklerle göre daha sık bozulmalar gerçekleşir. Paletli insansız kara araçlarının yön kontrolleri **dört tekerlekli**lere benzer şekilde paletlerin arasındaki hız farkı ile sağlarlar. Fakat kayma ve pozisyon sapması gibi durumlar dört tekerlekli olanlara oranla daha az görülür çünkü paletlerin yüzey alanları çok daha geniştir (Web 2).

## İNSANSIZ KARA ARAÇLARI HAREKET YETENEĞİ

İnsansız kara araçlarının yapısında tekerlekli, paletli ve ayaklı sistemler olmak üzere üç kategori öne çıkmaktadır. Ulaşım açısından iki sistemin bir arada olduğu hibrit sistemler her alanda kullanılabilir. Özellikle müteferrik (Tekerlekli-paletli, tekerlekli-ayaklı) sistemlerin bir arada olduğu bir insansız kara aracı, dünyadaki birçok kara bölgesinde görev yapabilecek yeteneğe erişebilecektir (Aksoy ve Kurnaz, 2009).



**Şekil 1.** İnsansız kara araçlarının hareket kabiliyetine göre sınıflandırılması (Demir, 2017)

İnsansız kara araçlarının hareket yeteneğine göre intikal edebilmelerinin karşılaştırılması Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tabloya göre insansız kara araçlarının özellikleri şunlardır:

- Tekerlekli insansız kara aracında bulunan özellikler: Düşük derecede kompleks yapı, iyi derecede ivmelenme, iyi derecede çeşitli arazilerde hareket edebilme, kolay bakım-onarım, yüksek hıza çıkabilme, yüksek enerji ihtiyacı.
- Paletli insansız kara aracında bulunan özellikler: Orta derecede kompleks yapı, zayıf ivmelenme, iyi derecede çeşitli arazilerde hareket edebilme, orta derecede bakım-onarım, yüksek hıza çıkabilme, yüksek enerji ihtiyacı.

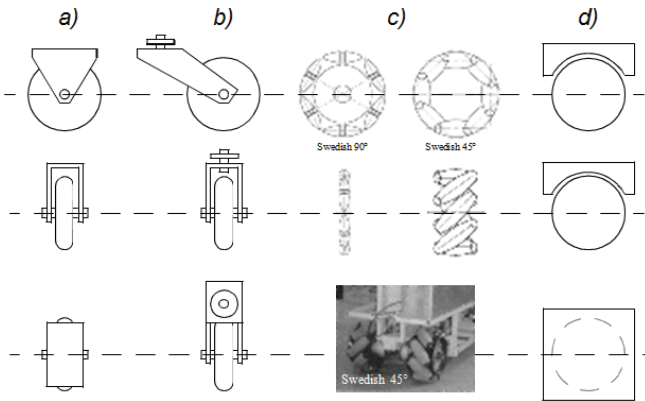
- Ayaklı insansız kara aracında bulunan özellikler:  
Yüksek derecede kompleks yapı, zayıf derecede ivmelenme, mükemmel derecede çeşitli arazilerde hareket edebilme, zayıf derecede bakım-onarım, düşük hızla hareket, az enerji ihtiyacı.

**Tablo 1.** İnsansız kara araçlarının hareket kabiliyetine göre karşılaştırılması (Demir, 2017)

| PARAMETRELER           | TEKERLEKLİ | PALETLİ | AYAKLI   |
|------------------------|------------|---------|----------|
| Kompleks Yapı          | Düşük      | Orta    | Yüksek   |
| İvmelenme              | İyi        | Zayıf   | Zayıf    |
| Çeşitli Arazi Hareketi | İyi        | İyi     | Mükemmel |
| Bakım-Onarım           | İyi        | Orta    | Zayıf    |
| Hız                    | Yüksek     | Yüksek  | Alçak    |
| Enerji İhtiyacı        | Yüksek     | Yüksek  | Alçak    |

### Tekerlek Konfigürasyonları

Şekil 2’de görüldüğü gibi dört temel tekerlek sınıfı vardır. Kinematikleri oldukça farklıdır ve bu nedenle tekerlek tipi seçimi insansız kara aracının genel kinematığı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.



**Şekil 2.** (a) Standart tekerlek (b) Nakliye (Castor) tekerleği (c) Swedish tekerlek (d) Küresel tekerlek (Demir, 2017)

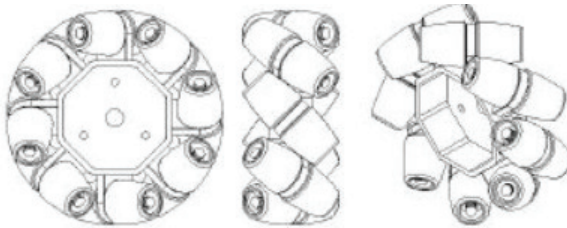
Çok yönlü tekerlekler insansız kara araçlarında sıkça kullanılan bir mekanizmadır. Çok yönlü tekerlekleri sahip oldukları serbestlik derecelerine göre, birçok farklı gruplar oluşturmaktadırlar (Byun ve Song, 2003). Çok yönlü insansız kara araçlarının en önemli özelliklerinden birisi tekerlek doğrultuları değiştirilmeden farklı doğrultularda hareket edebilir olmasıdır. Tekerin çok yönlü bir mekanizma olması, üzerine yerleştirilen pasif hareket yapan silindirik küçük tekerlerdir (West ve Asada, 1997).

Standart tekerlek ve nakliye tekerleği (taşıyıcı, castor) tek dönme eksenine sahiptir ve dolayısıyla çok yönlülüğü bulunmaktadır. Bu iki tekerlek arasındaki temel fark, yön belirleme hareketi sırasında standart tekerlek zemin ile etkileşim halinde bulunan dönme merkezinin kayması gibi yan etkilere maruz kalmaz, ancak nakliye tekerleği dönme merkezinden etkilenir ve yön belirleme hareketi boyunca insansız kara aracının gövdesine etki eden kuvvetin sahip olduğu eksen boyunca döner.

Swedish tekerleği ve küresel tekerleğin her ikisi de standart tekerlekten sonra yönlülüğü daha az sınırlandırılmış tasarımlardır. Swedish tekerleği, silindirik rulolu tekerlekler araç tekerleği üzerine tekerleğin dönme eksenine göre farklı açılarda yerleştirilerek istenilen amaca yönelik tekerleğe çok yönlülük kazandıran özellikteki tekerleklerle swedish mekanizmalı tekerlekler denilmektedir. Silindirik rulolu tekerleklerin, araç tekerleğinin dönme eksenine göre yerleştirildikleri açılara bağlı olarak isim verilmektedir. Küçük silindirik rulolu tekerlek araç tekerleğinin dönme eksenine göre oluşturduğu açı ise buna swedish tekerlek, oluşturduğu açı ise buna swedish tekerlek olarak isimlendirilmektedir. Bu tasarımın en önemli avantajı, tekerleğin tekerlek kinematik olarak sadece ileriye ve geriye doğru değil birçok olası yörüngede çok az sürtünme ile hareket edebiliyor olmasıdır. Küresel tekerlek çok yönlü bir tekerlek olup, çoğu zaman herhangi bir yönde dönmesi

için aktif olarak güçlendirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Küresel tekerleğe benzeyen bir mekanizma bilgisayarda kullanılan farelerde görülür ve kürenin üst yüzeyine dayanan ve dönme kuvveti kazandıran aktif olarak çalışan güçlü silindirler tarafından sağlanır (Kurt, 2007).

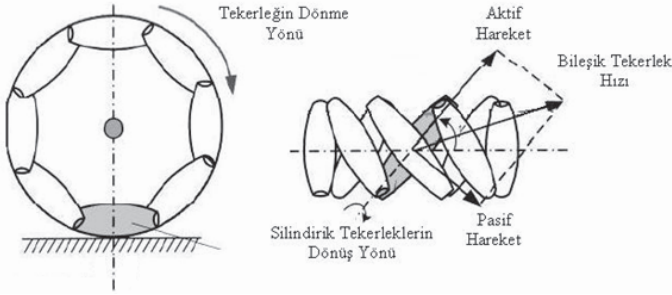
Swedish tekerlek, merkez tekerlek ile tekerlek etrafında bir açıyla konumlanmış belirli sayıdaki silindirden meydana gelmektedir. Tekerlek yönünde normal bir kuvvet için, açılı periferik silindirler kuvvetin bir kısmını tekerleğin dönme yönünde çevirmektedir. Bağımsız her tekerin yönü ve hızına bağlı olarak, sonuçta elde edilen tüm kuvvetlerin kombinasyonu istenilen yönde bir toplam kuvvet oluşturmaktadır. Bu sayede, tekerleklerin kendi yönlerini değiştirmelerine gerek kalmadan robotun istenilen yönde serbestçe hareket etmesi sağlanmaktadır. Şekil 3’de swedish tekerlek mekanizması belirli açılar ile gösterilmiştir (Web 4). Periferik silindirlere sahip bir swedish tekerlek belirli bir konumda tutulabilmektedir. Bu mekanizmanın avantajı, yüksek yük taşıma kapasitesi sağlamasıdır. Dezavantajı ise, eğimli veya pürüzlü bir yüzeyde tekerlek jantının silindirler yerine yüzeyle temas etmesidir ve bu durum tekerleklerin düzgün bir şekilde çalışmasını engellemektedir (Demir ve Bozdemir 2019).



**Şekil 3.** *Swedish tekerlek mekanizması (Web 4)*

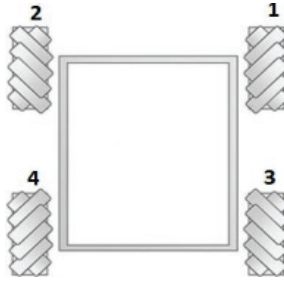
Çok yönlü swedish mekanizmalı teker, Şekil 3’de görüldüğü gibi, şaft mili eksen etrafında dönme hareketi ile silindirik rulolu tekerleklerin pasif dönme hareketinden ibarettir (Soygüder ve Alli, 2008).





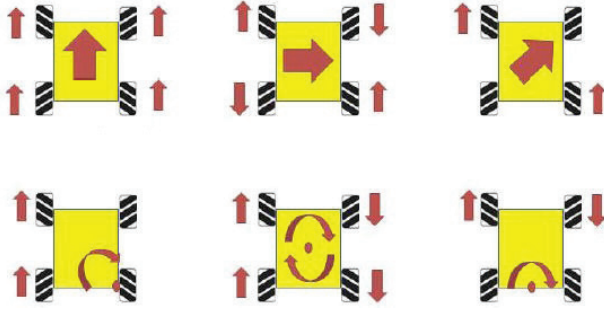
**Şekil 4.** Swedish tekerlekte oluşan hareket vektörleri (Soygüder ve Alli, 2006)

Swedish tekerleği olan bir aracın çok yönlü hareket etmesini gerçekleştirmesi için, tekerlekler şasi üzerinde Şekil 5’deki konfigürasyonda gösterildiği gibi bulunmalıdır (Tayfur 2016).



**Şekil 5.** Çok yönlü hareket eden aracın swedish tekerlek konfigürasyonu (Tayfur 2016)

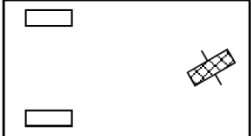
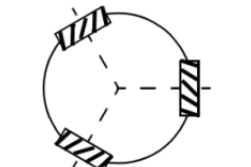
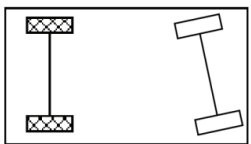
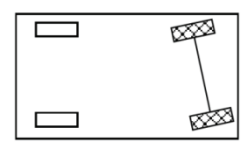
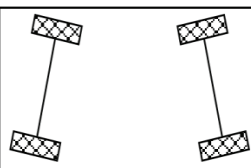
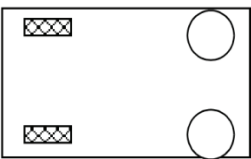
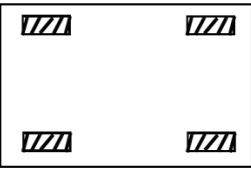
Motorların yönüne bağlı olarak, tekerlek daima (iç ve dış kuvvetler üretebildikleri gibi) ileri ve geri yönde kuvvetler üretebilmektedir. Bu kuvvetler açılı periferik silindirlerden kaynaklanmaktadır. Bu kuvvetlerin kombinasyonuna göre sistem farklı yönlerde hareket edebilmektedir (Demir ve Bozdemir 2019). Şekil 6’da swedish tekerleklerle sahip bir mobil robotun tekerleklerinin hareket yönüne göre mobil robotun hareket yönü gösterilmektedir.

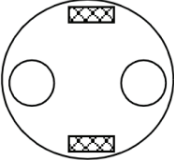
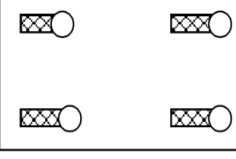
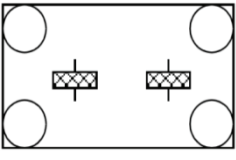
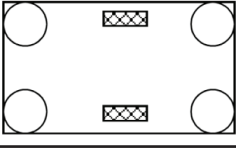


Şekil 6. Aracın swedish tekerleklerin yönlerine göre mobil robotun hareket yönü (Demir ve Bozdemir 2019)

Tablo 2. Tekerlek konfigürasyonları (Demir, 2017)

| DÜZEN | AÇIKLAMA                                                                                                         |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       | Ön tarafta bir yön belirleyen tekerlek, arkada bir çekiş tekerleği.                                              |
|       | İki tekerlekli diferansiyel tahrik; iki tekerlek mil ile birbirine bağlıdır ve kütle merkezi aksın ortasındadır. |
|       | Üçüncü bağlantı yeri olan iki tekerlekli merkezi diferansiyel tahrik                                             |
|       | Arkada / önde, bağımsız olarak tahrik edilen tekerlek, önde / arkada bir adet çok yönlü tekerlek.                |
|       | Arka tarafta iki adet bağlı çekiş tekerleri (diferansiyel), önlerinde bir adet yön veren serbest tekerlek.       |

|                                                                                     |                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Arkada iki serbest tekerlek, önünde 1 yön veren çekiş tekerleği.</p>                                                                                   |
|    | <p>Üçgen halinde düzenlenmiş üç motorlu swedish veya küresel tekerlek ile çok yönlü hareket mümkündür.</p>                                                |
|    | <p>Arkada iki motorlu tekerlek, önde 2 yön veren tekerlek; Yön belirleyen 2 tekerleğin kaymayı önlemek için farklı olmak zorundadır.</p>                  |
|    | <p>Önde iki motorlu ve yön veren tekerlek, arka kısımda 2 serbest tekerlek; Yön belirleyen 2 tekerleğin kaymayı önlemek için farklı olmak zorundadır.</p> |
|   | <p>Dört yön veren ve motorlu tekerlek.</p>                                                                                                                |
|  | <p>Arka / ön iki çekiş tekerleği (diferansiyel), ön / arka iki çok yönlü tekerlek.</p>                                                                    |
|  | <p>Dört tane çok yönlü tekerlek.</p>                                                                                                                      |

|                                                                                     |                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | İki tekerlekli diferansiyel tahrik ile 2 ek bağlantı yeri vardır.                               |
|    | Dört adet motorlu ve yön belirleyen nakliye (taşıyıcı, kastor) tekerlekler vardır.              |
|    | İki motorlu ve yön veren tekerlek merkeze ve her köşeye de birçok yönlü tekerlek hizalanmıştır. |
|    | İki çekiş tekerleği (diferansiyel), her köşede 1 çok yönlü tekerlek                             |
|    | Güç verilmemiş çok yönlü tekerlek (küresel, nakliye, swedish)                                   |
|    | Motorlu swedish tekeri                                                                          |
|   | Güç verilmemiş standart teker                                                                   |
|  | Motorlu standart teker                                                                          |
|  | Motorlu ve yön belirleyen nakliye tekeri                                                        |
|  | Yön belirleyen standart teker                                                                   |
|  | Bağlı tekerler                                                                                  |

İnsansız kara araçları, standart bir karayolu şebekesi için tasarlanmış otomobillerin aksine, çok çeşitli şartlardaki uygulamalar için tasarlanmıştır. Otomobillerin hepsi

benzer tekerlek konfigürasyonlarını paylaşır çünkü tasarım ortamında standart çevre için manevra kabiliyetini, kontrol edilebilirliği ve stabiliteyi en üst düzeye çıkaran asfalt ile kaplı bir karayolu şebekesi vardır. İnsansız kara araçlarının karşılaştığı çeşitli ortamlar için bu nitelikleri en üst düzeye çıkaran tek bir tekerlek konfigürasyonu yoktur. Dolayısıyla insansız kara araçlarının tekerlek konfigürasyonlarında büyük bir çeşitlilik görülmektedir. Bir insansız kara aracının hareket yeteneği için olası teknikler dikkate alındığında tekerlek konfigürasyonlarında çok büyük bir boşluk olduğu görülmektedir. Spesifik kuvvetli ve zayıf yönleri ile farklı tekerlek tipleri olduğundan bir insansız kara aracının mobilitesi için fazlaca tekerlek konfigürasyonu vardır. Hangi tekerleğin kullanıldığına bakılmaksızın, tüm araziler için tasarlanmış ve üçten fazla tekerleği bulunan insansız kara araçlarında zemine teker temasını sağlamak için genellikle bir süspansiyon sistemi gereklidir. Süspansiyon için en basit yaklaşımlardan biri, tekerleğin kendisine esneklik nakşetmesidir. Bir insansız kara aracı için tekerlek tipinin seçimi, tekerlek konfigürasyonunun seçimiyle ilişkilendirilir. Her konfigürasyonun avantaj ve dezavantajlarını anlamaya yardımcı olabilen önemli eğilimler vardır. Bunlar; stabilite, manevra kabiliyeti ve kontrol edilebilirliktir (Siegwart, Nourbakhsh ve Scaramuzza, 2011).

### **a. Stabilite**

Statik stabilite için gereken minimum tekerlek sayısı ikidir. İki tekerlekli diferansiyel tahrikli bir insansız kara aracı, kütle merkezi tekerlek aksının altındaysa statik kararlılık elde edebilir. Sıradan koşullar altında böyle bir çözüm, mümkün olmayacak kadar büyük tekerlek çaplarına ihtiyaç duyar. Statik stabilite, ağırlık merkezinin tekerleklerin zemin temas noktaları tarafından oluşturulan üçgene dahil edilmesi gerekir ve minimum üç tekerlek gerektirir. Stabilite, daha fazla tekerlek eklenerek daha da geliştirile-

bilir; ancak temas noktalarının sayısı üçten fazla olduğunda, geometrinin hiperstatik yapısı, engebeli arazide bütün tekerleklerin zemin ile temasını koruyabilmesi açısından bir çeşit esnek süspansiyona ihtiyaç duyacaktır (Siegwart, Nourbakhsh ve Scaramuzza, 2011).

## **b. Manevra Kabiliyeti**

Bazı insansız kara araçları çok yönlüdür; başka bir deyişle, aracın dikey eksen etrafında yönlendirilmesine bakılmaksızın, zemin düzlemi boyunca herhangi bir yönde hareket edebildikleri anlamına gelir. Manevra kabiliyeti seviyesi tek yönden fazla hareket edebilen tekerlekler gerektirir ve bu yüzden çok yönlü insansız kara araçlarında genellikle swedish veya küresel tekerlekler kullanılır.

Genel olarak swedish ve küresel tekerlekli insansız kara araçlarının yerden yüksekliği, çok yönlü tekerleklerin yapımının mekanik kısıtlamaları nedeniyle biraz sınırlıdır. Bu yerden yükseklik problemini çözerken çok yönlü navigasyon problemine ilginç bir çözüm olarak, her taşıyıcı tekerleğe aktif şekilde yön verildiği ve aktif olarak çevrildiği konfigürasyondur. Bu konfigürasyonda, insansız kara aracı tam anlamıyla çok yönlüdür, çünkü taşıyıcı tekerlekler istenen hareket yönüne dik bir yönde dönse dahi, insansız kara aracı bu tekerleklerin yön belirlemesiyle halen istenen yönde hareket edebilir. Dikey eksen, zemin ile temas etmesiyle dengelendiğinden, bu yön belirleme hareketinin sonucu aracın hareketidir (Demir, 2017).

Yüksek manevra yeteneği gerçekleştiren, ancak çok yönlü konfigürasyonlardan daha aşağı nitelikte olan diğer insansız kara aracı sınıfları çok popülerdir. Bu tür insansız kara araçlarında belirli bir yöndeki hareket başlangıçta dönme hareketi gerektirebilir. Yuvarlak bir şasi ve merkezinde bir dönme eksenini bulanan bir insansız kara aracı, zemindeki kapladığı alanı değiştirmeden dönüş yapabil-

mehtedir. Bu tür bir insansız kara aracı, iki tekerleği aracın merkez noktası etrafında dönen iki tekerlekli diferansiyel tahrikli bir insansız kara aracıdır. Uygulama özelliklerine bağlı olarak stabilite için bir veya iki ek zemin temas noktaları kullanılabilir.

Yukarıdaki konfigürasyonların aksine, otomobillerde yaygın olarak kullanılan Ackerman yön belirleme konfigürasyonunu göz önünde bulundurulur ise böyle bir araç tipik olarak, arabadan daha büyük bir dönme çapına sahiptir. Buna ek olarak, Ackerman yönlendirmesinin sınırlı manevra kabiliyeti önemli bir avantaja sahiptir: yönlülük ve yön belirleme geometrisi, yüksek hızlı dönüşlerde çok iyi yanal stabilite sağlar (Siegwart, Nourbakhsh ve Scaramuzza, 2011).

### c. Kontrol Edilebilirlik

Kontrol edilebilirlik ve manevra kabiliyeti arasında genellikle ters bir bağıntı vardır. Örneğin, dört taşıyıcı tekerlek konfigürasyonu gibi çok yönlü tasarımlar, bireysel tekerlek komutları istenen dönme ve öteleme hızlarını dönüştürmek için önemli işlem gerektirir. Çok yönlü bir insansız kara aracını belirli bir hareket yönü için kontrol etme, daha az manevra kabiliyetine sahip tasarımlarla karşılaştırıldığında daha zordur ve çoğu kez daha az doğrudur. Örneğin, bir Ackerman yön belirleme aracı sadece yönlendirilebilir tekerleri kilitleyip tahrik tekerlerini sürmek suretiyle düz gidebilir. Diferansiyel sürüşlü bir araçta, iki tekerleğe bağlanan iki motor aynı hız profili boyunca sürülmelidir; tekerlekler, motorlar ve çevresel farklılıklar arasındaki varyasyonlar dikkate alınırca çetrefilli olabilir. Dört swedish tekerleği olan bir insansız kara aracı gibi çok yönlü tahrik sorun daha da zordur çünkü aracın dört tekerleğinin tamamen doğru bir çizgide ilerlemesi için aynı hızda sürülmelidir. Özetle, aynı anda stabilitesini, manevra kabiliyetini ve kontrol edilebilirliği en üst düzeye çıkaran

“ideal” sürüş konfigürasyonu yoktur. Her insansız kara aracı uygulaması, insansız kara aracı tasarımı probleminde benzersiz kısıtlamalar getirir. Önemli olan en uygun tahrik konfigürasyonunu seçmektir (Demir, 2017).

Denge genellikle tekerlekli insansız kara aracı tasarımlarında bir tasarım problemi değildir. Çünkü bütün tekerlekler zeminle temas halinde olduklarından tekerlekli insansız kara araçlarının tasarlanmasında sıkıntı yaşanmamaktadır. Dengeden ziyade, tekerlekli insansız kara aracı tasarımlarında çekiş ve stabilite, manevra kabiliyeti ve kontrol problemlerine odaklanmak gerekmektedir. İnsansız kara aracı tekerlekleri istenen arazinin tümünü kapsayacak şekilde araç için yeterli çekiş ve stabilite sağlaması araç için en önemli unsurlardır (Siegwart, Nourbakhsh ve Scaramuzza, 2011).

## SONUÇ

İnsansız kara araçları teknolojisinin gelişimiyle birlikte araca; hız, dayanıklılık, manevra kabiliyeti, denge, kontrol edilebilirlik, güvenilirlik, her türlü ortama uyum sağlayabilme ve kullanışlı olma özellikleri kazandırılmaktadır. Diğer bir yandan bu yeni nesil araca faydalı yüklerin kolaylıkla entegre edilebildiği, ayarlanabilir otonomi seviyelerine sahip, modüler kontrol konsolu ile birlikte uzaktan kumanda edilebilen ileri teknoloji ile donatılmış olması istenmektedir. İnsansız kara aracı tasarımlarında önemli olan olaylara ivedi bir şekilde müdahale etmek, insanların girmesinin riskli olabileceği bölgelerde, taarruz harekâtlarında, geri bölge emniyetinde, tesis güvenliğinde, zorlu arazilerde anti-terör operasyonlarında kullanılabilecek yeni nesil bir araç oluşturmak ve bu aracın karşılaştığı olumsuz bir durumda can kaybını önlemek insansız kara araçlarına olan ihtiyacı önemli bir şekilde göstermektedir.



İnsansız kara araçları hareket sistemleri olarak sınıflandırılmasında tekerlekli, paletli ve ayaklı olmak üzere üç temel yürüyüş sistemi görülmektedir. Tekerlekli insansız kara aracında; düşük derecede kompleks yapı, iyi derecede ivmelenme, iyi derecede çeşitli arazilerde hareket edebilme, kolay bakım-onarım, yüksek hıza çıkabilme, yüksek enerji ihtiyacı bulunmaktadır. Paletli insansız kara aracında; orta derecede kompleks yapı, zayıf ivmelenme, iyi derecede çeşitli arazilerde hareket edebilme, orta seviye bakım-onarım, yüksek hıza çıkabilme, yüksek enerji ihtiyacı vardır. Ayaklı insansız kara aracında ise; yüksek derecede kompleks yapı, zayıf derecede ivmelenme, mükemmel derecede çeşitli arazilerde hareket edebilme, zor bakım-onarım, düşük hızla hareket, az enerji ihtiyacı bulunmaktadır. İnsansız kara aracı hareket sistemlerinde sert zeminde ve engebeli arazide genel olarak tekerlek, yumuşak zemin ve daha engebeli arazilerde palet mekanizmaları kullanılmaktadır. Ayak mekanizması her alanda kullanıma açık görev amacına göre tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmektedir.

Bir insansız kara aracının tasarımı, aşağıdan yukarı doğrudur. İnsansız kara aracının ne amaçlı kullanılacağı hangi tip arazide görev verileceğine dair soruların cevabını aracın hareket mekanizması karşılar. Araca takılacak tekerlek tipi ve tekerlek geometrisi belirlenir. Ardından insansız kara aracı hareket yeteneğinin iyi olması için uygun şasi sistemi; stabilite, manevra kabiliyeti ve kontrol edilebilirliği olmak üzere üç temel esasa dayanarak tasarlanıp üretimi gerçekleştirilir.

## KAYNAKLAR

- Aksoy, R. ve Kurnaz S. (2009). İnsansız kara araçları ve muharebe gereksinimleri. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi 4(1): 1-10.
- BAST (Board on Army Science and Technology). (2002). Technology development for army unmanned ground vehicles. Technical Report ISBN: 0-309-50365-5, Committee on Army Unmanned Ground Vehicle Technology, National Research Council, Washington, USA, 1-135.
- Byun, K.S. and Song, J.B. (2003). Design and construction of continuous alternate wheels for an omnidirectional mobile robot, Journal of Robotic System, 20(9): 569-579.
- Çetinkaya S. (2015). Taşıt mekaniği. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Demir, C. (2017). İnsansız Kara Araçlarının Hareket Sistemlerinin Kavramsal Tasarımı. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Demir C. ve Bozdemir M. (2019). Swedish tekerlekli mobil robot tasarımı ve 3B yazıcıyla imalatı, 4. International Congress On 3D Printing Technologies And Digital Industry, 144-154.
- Kavak, D. (2008). İnsansız kara araçları navigasyonunda genişletilmiş kalman (GKF) ve sıkıştırılmış genişletilmiş kalman filtre (SGKF) tabanlı slam yöntemlerinin geliştirilmesi ve karşılaştırılması. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kurt, Z. (2007). Eş zamanlı konum belirleme ve haritalamaya yönelik akıllı algoritmaların geliştirilmesi. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Siegwart, R., Nourbakhsh I.R. and Scaramuzza D. (2011). Introduction to Autonomous Mobile Robots. Massachusetts Institute of Technology. London/England.

- Soygüder, S. ve Alli, H. (2006). Çok yönlü tekerleklerle sahip bir mobil robotun PLC ile denetimi. TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi 482-490.
- Soygüder, S. ve Alli, H. (2008). Çok yönlü tekerleklerle sahip bir mobil robotun tasarımı ve modelinin gerçekleştirilmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 4(1): 111-120.
- Tayfur, D. T. (2016). Design and comparasion of controller performance on four mecanum wheeled mobile robot (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yuqiao, Z. (2009). AM 17 Field Ruggedized UGV. (The Master Thesis). National University of Singapore, Singapore.
- Web 1. <https://www.muhendisbeyinler.net/ackerman-prensi-bi-nedir> (Erişim Tarihi: 21/07/2019).
- Web 2. <http://www.robotpark.com.tr>, (Erişim Tarihi: 04/08/2017).
- Web 3. <https://www.smashingrobotics.com/an-overview-of-w-heeled-mobile-platform-systems/> (Erişim Tarihi: 26/07/2019).
- Web 4. <https://www.elektrikport.com/universite/mecanum-tekerlekli-mobil-robotlar/17033#ad-image-0> (Erişim Tarihi: 25/07/2019).
- West, M. and Asada, H. (1997). Design of ball wheel mechanism for omnidirectional vehicles with full mobility and invariant kinematics. Journal of Mechanical Design, 119 (2): 153-161.





# TOKAT-NİKSAR KARAYOLU'NDA GEOMETRİK VE ÇEVRESEL ÖZELLİKLERİN SÜRÜCÜ HIZ SEÇİMİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI<sup>1</sup>

Ferit YAKAR



---

<sup>1</sup> Bu çalışma Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 2013 / 68).





# **TOKAT-NİKSAR KARAYOLU'NDA GEOMETRİK VE ÇEVRESEL ÖZELLİKLERİN SÜRÜCÜ HIZ SEÇİMİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI<sup>1</sup>**

**Ferit YAKAR**

## **1. GİRİŞ**

Türkiye ve dünyada araç sayısında son yıllarda meydana gelen hızlı artış, trafik kazalarında da hızlı bir artışı beraberinde getirmiştir. Ölüm, yaralanma ve mal hasarları ile sonuçlanan trafik kazaları, dünya çapında mücadele edilmesi gereken en önemli problemlerden birisidir. Dünya Sağlık Örgütü, her yıl dünya genelinde 1.24 milyon insanın yollarda öldüğünü, trafik kazalarının 15-29 yaş arasındaki genç nüfus için başta gelen ölüm sebebi olduğunu ve dünya genelinde Gayri Safi Milli Hasılların % 3'ü civarında bir ekonomik kayba sebep olduğunu rapor etmektedir (WHO, 2015).

Trafik kazaları ülkemizin de en önemli problemlerinden birisidir. Ülkemizde 2015 yılında meydana gelen trafik kazalarında 3831 kişi kaza yerinde ve 3699 kişi kaza sonrasında olmak üzere toplam 7530 kişi hayatını kaybetmiş, üçyüzbin civarında insanımız da yaralanmıştır (TÜİK, 2016). Ayrıca ülke ekonomisinde trafik kazaları sonucu milyarlarca liralık maddi zarar oluşmaktadır. Ülkemizde trafik kazaları sonucu oluşan maddi ve manevi kayıplar deprem, sel, doğal afet, terör vb. nedenlerle verilen kayıplardan daha fazladır (Kırmızıoğlu ve Tüdeş Yaman, 2011).

Trafik kazası sayısı üzerine doğrudan doğruya etki eden en önemli unsurlardan birisi, yüksek hızda araç kul-

---

<sup>1</sup> Bu çalışma Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 2013 / 68).



lanma davranışdır. Yüksek hız hem kazaların şiddetini, hem de kazaya karışma ihtimalini artırmaktadır (Aarts ve Schagen, 2005). Artan hızla birlikte durma mesafesi ve kazaya karışma riski artmaktadır. Ortalama hızın 1 km/saat artmasıyla ölüm oranında yaklaşık %3'lük bir artış olduğu görülmüştür (Elvik, 1999). Ortalama hızın saatte sadece 5 km azaltılması sonucunda Avrupa Birliğine üye ülkelerde yılda 11.000 kişinin ölmekten ve 180.000 kişinin yaralanmaktan kurtarılabileceği tahmin edilmektedir (TŞOF, 1997).

Türkiye'deki trafik kazalarındaki kusur oranları incelendiğinde sürücülerin tali kusurlarından olan yüksek hız ihlallerinin oldukça önemli bir kaza ve ölüm sebebi olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Yaklaşık olarak her 100 kazadan 10'unun doğrudan hız sınırlamalarına uyulmaması sonucu meydana geldiği tahmin edilmektedir. Arkadan çarpma, yüksek hız, park etmiş taşıtlara çarpma vb. gibi sürücülerin hız ihlallerinden kaynaklanan kazaların %30'lar civarında olduğu istatistiklerden tespit edilmiştir (Gökten, 1992).

2008'de Dünya Sağlık Örgütü tarafından hazırlanmış olan Hız Yönetimi başlıklı raporda, hız yapma davranışı için, "yasal hız sınırının üzerinde aşırı hızda ya da yasal hız sınırını aşmayan ancak içinde bulunulan koşullar için uygun olmayan yüksek hızda araç kullanmak" tanımı benimsenmiştir (Global Road Safety Partnership, 2008). Bir başka ifadeyle, bir aracın hızının yüksek olup olmadığına karar verirken, hem yasal hız sınırı hem de aracın içinde bulunduğu ortamın göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Yüksek hız sorununun çözülebilmesi için yüksek hızı ortaya çıkaran unsurların ortaya konulması ve sürücülerin hız seçimini etkileyen faktörlerin incelenmesi gerekmektedir.

Sürücü hız seçimi, yol ortamı, sürücü ve araç arasında etkileşimler tarafından belirlenen karmaşık bir süreçtir (Shinar, 2007). Yol ortamı bağlamında bakılırsa, sürücüler bulundukları yol için uygun olarak algıladıkları hız ile kendi hızları hakkındaki algılarını birlikte değerlendirerek hız seçimini yaparlar (Edquist vd., 2009). Belirlenen hız sınırları, sürücülerin, yol ve çevresel özelliklerin ışığında bu hızı uygun bulmaları durumunda güvenilirlilik kazanmaktadır (Goldenbeld ve van Schagen, 2007).

Karayollarında sürücülerin hız seçimlerini etkileyen pek çok faktör vardır. Bu faktörler; sürücüye ilişkin faktörler (yaş, cinsiyet, reaksiyon süresi, heyecan arayışı, alkol düzeyi, taşıt sahipliği, deneyim, kabiliyet, eğitim durumu, seyahat süresi, psikolojik durum, ekonomik güç ve kasko, vb.), karayoluna ilişkin faktörler (genişlik, eğim, yol çizgileri, yol çevresi, işaret levhaları, satuh kalitesi, kavşaklar, orta refüj, gürültü bantları, kasisler, dönemeçler, tepe üstleri, yaya ve okul geçitleri, tüneller, trafik lambaları, vb.), çevreye ilişkin faktörler (hava durumu, satuh durumu, ışık durumu, yol aydınlatması, işaretler, hız limiti, denetim, trafik yoğunluğu, trafiğin durumu, görüş açısı, vb.) ve taşıta ilişkin faktörler (motor gücü, maksimum hız, konfor, yük durumu, takograf cihazı, aktif güvenlik sistemleri, pasif güvenlik sistemleri, vb.) olarak 4 başlık altında toplanabilir (Çavdar vd., 2008).

Bu çalışma kapsamında, sürücülerin hız seçimini etkileyen faktörlerden, karayoluna ve çevreye ilişkin olanlar ele alınmış, bu başlıklar altındaki unsurların bir kısmının sürücü hız seçimine etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, Tokat-Niksar Karayolu'nun farklı noktalarında geometrik ve çevresel özellikler incelenmiş, bu noktadaki ortalama seyir hızı ölçümlerle belirlenmiş, noktaların geometrik-çevresel özellikleriyle noktadaki ortalama hızlar arasındaki ilişkiler tespit edilmiş ve bir hız tahmin modeli geliştirilmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatüre bakıldığında, sürücülerin hız seçimini etkileyen faktörlerden, karayoluna ve çevreye ilişkin olanları ele alan pek çok çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bazılarında, tek bir faktörün (örneğin, radar uygulamasının veya hız sınırı levhasının, vb.) hız seçimine etkisi ele alınmaktayken, bazılarında ise pek çok faktör birlikte ele alınarak bir hız tahmin modeli ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bazı çalışmalarda yolun geneline ilişkin bir model oluşturulmaya çalışılırken, bazı çalışmalarda ise sadece düzlük ya da yatay kurbalardaki hıza ilişkin model oluşturulmuştur. Kırsal yolları, şehir içi yolları ya da yüksek standartlı çok şeritli yolları ele alan çalışmalara da rastlamak mümkündür. Çalışmalarda kullanılan yöntemler de çeşitlilik göstermektedir. Çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Fitzpatrick vd. (2001), regresyon teknikleri kullanarak, caddelerde sürücü hızını etkileyen yol tasarım faktörlerini incelemişlerdir. Geometrik, yol kenarı ve trafik kontrol araçları değişkenlerinin dikkate alındığı çalışmada yoldaki aliyanlar ve kurplar için ayrı ayrı olmak üzere 2 adet hız tahmin modeli ortaya konulmuştur.

Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Hizmetleri Başkanlığı tarafından hazırlanan “Değişik Hız Denetim Yöntemlerinin Sürücü Hız Seçimine Etkileri” (2004) başlıklı araştırma raporunda; Sivrihisar- Polatlı yolunda uygulanan çeşitli hız denetim yöntemlerinin sürücülerin hız seçimine etkileri incelenmiş, her bir denetim yönteminin sağladığı faydanın farklı olduğu belirtilmiştir.

Gong (2007) hazırladığı doktora tezinde, basit lineer ve çoklu regresyon modelleri kullanarak, 4 şeritli kırsal yollardaki yatay kurplar için hız tahmin modeli geliştirmiştir.

Çavdar vd. (2008), trafik kaza analizleri, taşıt hız sınırlamaları, yüksek hızın trafik kazalarına ve çarpışma riskine olan etkileri, sürücülerin hız seçimini etkileyen faktörler ve hız denetim yöntemleri konularını incelemiş, trafik kazalarına sebep olan yüksek hız kusurlarının denetimi ve aktif güvenlik sistemleri ile kontrolünü analiz etmişlerdir. Hız kusurlarının yoğun gözlemlendiği kaza kara noktalarında kameralı ve plaka tanıma sistemleri ile otomatik denetim sistemlerinin kullanılması gerektiği, şehirler arası yollarda yol karakteristiklerine bağlı olarak fazlı hız sınırlamaları ve radar uygulamaları yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Cruzado ve Donnell (2010), iki şeritli kırsal karayolları üzerindeki, hız sınırının değiştiği geçiş bölgelerinde sürücülerin hız seçimini etkileyen yol ve trafik işletim faktörlerini ele almışlardır. Hem basit regresyon hem de çoklu regresyon kullanarak modeller oluşturmuş ve bunları karşılaştırmışlardır.

Edquist vd. (2009), hazırladıkları raporda yol tasarım faktörlerinin hız ve hız limitleriyle olan ilişkilerini ele almışlar, konuyla ilgili literatürü özetlemişler ve kendini açıklayan yol (self explaining road) kavramını açıklamışlardır.

Jongen vd. (2011), önceleri 90 km/h hız sınırı uygulanan bir yol kesiminde 70 km/h hız limiti uygulanmaya başladıktan sonra sürücülerin yeni hız sınırına uyumunda trafik işaret levhalarının aralıklarının etkisini “tekrarlanan ölçülerle varyans analizi (ANOVA)” ile incelemişlerdir.

Kim ve Choi (2013) çok şeritli yollarda geometrik koşullara bağlı olarak taşıt işletme hızlarını modellemişlerdir. Çalışmada, verilen yol kesimlerindeki geometrik tasarımın sürücü beklentilerine uyumunun incelenmesi için hız modellerine ihtiyaç duyulduğu tespiti yapılmış, ancak çok şeritli yollarda geometrik standartların çok yüksek

seviyelerde olmasından dolayı araç hızlarının geometrik koşullardan etkilenmediği ve bu yüzden de çok şeritli yollarda hız modellerinin mevcut olmadığı belirtilmiştir. Çalışmada kurplardaki geometrik koşullarla sürücü hızları arasındaki ilişkiler çoklu regresyon yöntemiyle ele alınmıştır.

Ben-Bassat ve Shinar (2011), banket genişliği, korkuluk mevcudiyeti ve kurp mevcudiyeti değişkenlerinin sürücü hızları ve yol üzerindeki konumlarına etkilerini simülasyon kullanılarak araştırmışlardır.

Camacho-Torregrosa vd. (2013) iki şeritli kırsal yollar için geometrik tasarım uyumluluğu (sürücü beklentilerine uygunluk) modeli geliştirmişlerdir.

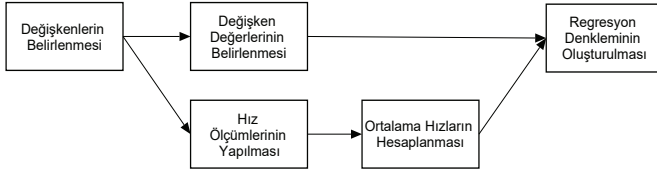
Fitzpatrick vd. (2000), hazırladıkları raporda iki şeritli kırsal yollarda değişik geometrik koşullar altında işletme hızlarını tahmin etmek üzere bir model oluşturmuşlardır.

Bassani vd. (2014), kentsel ana yollar ve toplama yollarındaki geometrik özelliklerin işletme hızına etkisini ölçmek için üç yöntemi (çoklu regresyon, regresyonla aynı değişkenleri kullanan kovaryans yöntemi ve yeni bir değişken seti kullanan kovaryans yöntemi) karşılaştırmış ve kullanılan yöntemle göre sonuçların oldukça farklılık arz ettiğini belirtmişlerdir.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Çalışmada, sürücülerin hız seçimini etkileyen faktörlerden karayoluna ve çevreye ilişkin olanlar ele alınmış, bu faktörlerin her birisinin sürücü hız seçimine etkileri tespit edilmeye çalışılmış ve bir regresyon denklemi oluşturulmuştur. Regresyon modeli oluşturabilmek için, çeşitli yol kesimleri için yol ve çevresine ait veriler ile bu kesimlerden geçen araçların ortalama hızlarının belirlenmesi

gerekmektedir. Çalışmadaki ana işlemler Şekil 1.'de özetlenmiş ve aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 1. Çalışmadaki ana işlem adımları

### 3.1. Değişkenlerin Belirlenmesi

Yapılacak ilk işlem, kullanılacak değişkenlerin belirlenmesidir. Çalışmada kullanılacak olan değişkenler tespit edilirken önce literatürdeki sürücü hız seçiminde etkili olan faktörlerle ilgili çalışmalar incelenerek geniş bir ön liste oluşturulabilir. Daha sonra, çalışma yapılan yolun özelliklerine göre başlangıçtaki geniş listede bulunan değişkenlerden uygun olmayanları veya kullanılmasına gerek duyulmayanlar elenerek nihai değişken listesi elde edilir. Bu değişkenlerin nasıl ve hangi birimlerle ölçüleceği de bu aşamada kararlaştırılmalıdır.

### 3.2. Veri Toplama Noktalarının ve Değişken Değerlerinin Belirlenmesi:

Kullanılacak değişkenler belirlendikten sonra veri toplanacak noktaların belirlenmesi gerekmektedir. Veri toplanacak noktalar belirlenirken hem harita üzerinde hem de yolda ön çalışmalar yapılmalı ve noktalar kabaca belirlenmelidir. Ancak, bazen haritadan tespit edilen noktada yol kenarında ölçüm yapılabilecek uygun bir alan bulunamamaktadır. Dolayısıyla asıl ölçüm noktaları sahaya gidildiğinde netleştirilebilmektedir.

Ölçüm noktaları belirlenirken farklı değişken kombinasyonlarını bir arada gözleme şansı oluşturan noktalar olmasına dikkat edilmelidir. Örneğin, seçilen bir noktada yatay güzergah düz, düşey güzergah eğimsiz iken, başka bir noktada yatay güzergahın düz, düşey güzergahın ise hafif eğimli olması sağlanmalı; bir nokta görüş kısıtlı olan ve geçme yasağı olan bir bölümden seçilirken diğer nokta görüş kısıtlı ancak geçiş yasağı bulunmayan bir bölümden seçilmelidir. Böylece her bir değişkenin hız seçimine etkileri daha iyi ayırt edilebilecektir.

Yolun kendisi ve çevresine ait özelliklerin toplanması için standart bir form oluşturulması, verilerin basit ve eksiksiz bir şekilde kaydedilmesi açısından oldukça faydalı olmaktadır.

### 3.3. Hız Ölçümlerinin Yapılması

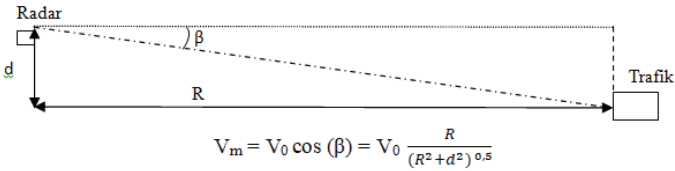
Veri toplama noktaları belirlenip kesimlerdeki değişken değerleri de belirlendikten sonra hız ölçümleri yapılmalıdır. Hız ölçümleri yapılırken dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır:

- Ölçümlerin, ölçüm ekibinin güvenliğini ve trafik güvenliğini tehlikeye atmayacak bir noktadan yapılması gereklidir. Özellikle yolun dar ve banketin dar veya eksik olduğu yollarda güvenli ölçüm noktası bulmaya özen gösterilmelidir.

- Ölçümler, sürücülerin ölçümleri fark ederek hızlarını değiştirmelerini engellemek için mümkün olduğu kadar uzaktan ve/veya gizli olarak yapılmalıdır. Ölçümlerin uzaktan yapılması, aşağıdaki paragrafta açıklanan “kosinüs etkisi” açısından da faydalı/gereklidir.

- Ölçümler, araçları mümkün olduğu kadar karşıdan gören bir noktadan yapılmalıdır. Araçların mümkün oldukça karşıdan görülmesi, “kosinüs etkisi (cosine effect)”

denilen etkiyi azaltmak için gereklidir. Kosinüs etkisi kısaca; radarın, seyreden aracı tam olarak karşıdan gören bir noktada değil de belli bir açıyla yoldan uzakta olduğu durumlarda, radar tarafından ölçülen hızın, aracın gerçek hızından farklı olmasıdır (Şekil 2.). Ölçülen hız her zaman gerçek hızdan daha düşük olmaktadır. Sapma açısının düşük olduğu durumlarda (ölçüm noktasının aracı tam karşıdan veya buna yakın bir yerden gördüğü ve/veya aracın ölçüm sırasında oldukça uzakta olduğu durumlarda) bu etki ihmal edilebilir düzeydeyken, sapma açısı arttıkça ya da ölçüm mesafesi azaldıkça bu etki önemli hale gelebilir. Dolayısıyla, ölçümlerin mümkün oldukça aracı tam karşıdan gören ve uzak bir noktadan yapılması gerekmektedir.



**Şekil 2.** Kosinüs etkisinin şematik gösterimi

- Hız ölçümleri, ölçümlerin trafik yoğunluğu, seyahat amacı, gün durumu gibi unsurlardan etkilenmemesi için günün aynı saatinde ve sabah veya akşam trafiğinden etkilenmeyecek bir saatte yapılmalıdır.

- Her bir ölçüm noktasında yeteri kadar aracın hızı ölçülmelidir. İstatistiksel açıdan bakıldığında mümkün olduğu kadar fazla sayıda aracın hız ölçümünün yapılması tercih edilecektir. Ancak, saha çalışmaları zor ve zaman alıcı çalışmalardır, dolayısıyla gereğinden fazla araç ölçümü de yapılmamalıdır. Yapılan çalışmalara bakıldığında, standart bir sayıya rastlanmamakta, bazı çalışmalarda belirli sayıda araç geçene kadar ölçüme devam edildiği, bazı çalışmalarda da belirli bir süre boyunca hız ölçümlerinin yapıldığı görülmektedir.



- Literatürdeki pek çok çalışmada da serbest hareket eden (yakından takip eden veya takip edilen araç bulunmayan) araçların incelemeye alındığı görülmektedir.

### **3.4. Karayolu Geometrik ve Çevresel Özellikleriyle Ortalama Hızlar Arasındaki İlişkinin Çoklu Regresyon Analiziyle Kurulması:**

Bu adımda ilk olarak her kesim için, yapılan hız ölçümlerinin aritmetik ortalaması hesaplanarak kesime ait ortalama hızlar elde edilir. Her kesim için tespit edilen değişken özellikleri ile elde edilen ortalama hızlar arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için literatürde çeşitli yöntemler mevcuttur. “2. Kaynak Özetleri” bölümünde verilen kaynaklar incelendiğinde, çalışmaların pek çoğunda regresyon (basit doğrusal veya çoklu) tekniklerinden faydalandığı görülmüştür. Bu tür bir regresyon denkleminde değişken özellikleri bağımsız değişkenler, kesimler için hesaplanan ortalama hızlar ise bağımlı değişken olmaktadır.

Birden fazla bağımsız değişken kullanılarak yapılan regresyon analizine “çoklu regresyon analizi (multiple regression analysis)” adı verilmektedir.  $X_i$ ’ler bağımsız değişkenleri (kullanılan değişkenler) ve  $Y$  de bağımlı değişkeni (tahmin edilecek değer) göstermek üzere en genel çoklu regresyon denklemi Eşitlik 1’deki gibi ifade edilebilir.

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k + e_i \dots\dots\dots \text{Eşitlik 1}$$

Regresyon katsayıları ( $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ ) hesaplanıp regresyon tahmin modeli kurulduktan sonra belirlilik katsayısı olan  $R^2$  hesaplanır. Bu sayede katsayıların anlamlılığı, modelin uygunluğu gözlemlenecektir.  $R^2$  belirlilik katsayısı çoklu modellerde genellikle yeterli değildir. Çünkü çoklu regresyon modelleri için denkleme yeni değişken ilave edilmesi durumunda  $R^2$  değeri genellikle artmaktadır. Bu yüzden an-

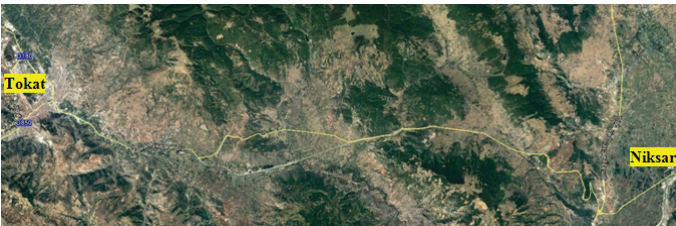
lamalı bir test yapabilmek için çoklu modellerde düzeltilmiş  $R^2$  hesaplanmalıdır. Belirlilik katsayısı 1'e ne kadar yakın ise mevcut olan model o kadar uygundur(anlamlıdır).

Regresyon modeli için hesaplamalar yapılarak tahmin değerleri bulunduktan sonra ANOVA tablosu adı verilen bir tablo hazırlanır. Modelin genel olarak anlamlılığını test etmede F Testi kullanılır. F Testi, Y ve X değişkenleri arasında ilişki olup olmadığını gösterir. Her bir değişkenin eğimlerinin anlamlılıklarını test etmede ise t testi kullanılır. Bu test, Y ve Xi değişkeni arasında ilişki olup olmadığını gösterir. Ayrıca belirlilik katsayısı da ANOVA tablosu kullanılarak hesaplanır.  $R^2$  değeri sayesinde Y bağımlı değişkeninin değerleri arasındaki varyasyonun model tarafından ne oranda açıklandığı gözlemlenebilir.

## 4. TOKAT - NİKSAR KARAYOLUNDA UYGULAMA

### 4.1. Çalışma Alanı ve Veriler

Bu çalışmada, çalışma alanı olarak, D850 Devlet Karayolunun Tokat ili ile Niksar ilçesini bağlayan 47 km uzunluğunda ve 2X1 (iki şeritli-iki yönlü) kesitinde olan kısmı kullanılmıştır (Şekil 3.). Tokat-Niksar karayolu olarak bilinen yolun çeşitli noktalarında hız ölçümleri yapılmış ve bu noktalardaki ortalama seyir hızları tespit edilmiştir. Ayrıca, bu noktalarda yol ve çevresine ait olan özellikler de saha çalışmaları sırasında tespit edilmiştir.



Şekil 3. Tokat-Niksar karayolu genel görünümü (Kaynak: Google Earth)

## 4.2. Ön hazırlık ve Saha Çalışmaları

Yapılan çalışmalar aşağıda adım adım (Materyal ve Yöntem kısmına paralel şekilde) açıklanmaktadır.

Çalışmada kullanılacak değişkenlerin belirlenmesi için **önce** literatürdeki çalışmalar incelenerek geniş bir ön liste oluşturulmuştur (Tablo 1.). Daha sonra Tokat- Niksar Karayolu'nda bir ön inceleme yapılmış, yolun her iki yönünde yol boyunca karayoluna ait özellikler (kaplama genişliği, banket genişliği, şerit sayısı, yol eğimi, yol çizgileri, işaret levhaları, yol yüzeyi kalitesi, kavşaklar, dönemeçler, tepe üstleri, yaya ve okul geçitleri, vb.) ve çevreye ilişkin özellikler (görüş durumu, yol kenar objeleri, yerleşim yerleri, vb.) tespit edilmiştir. Bu ön inceleme sonucu başlangıçtaki geniş listede bulunan değişkenlerden bazılarına bu çalışmada yer verilemeyeceği ya da yer verilmesine gerek olmadığına karar verilmiş, bu değişkenler elenmiştir. Elenen bu değişkenler ve elenme nedenleri Tablo 1.'in alt kısmında gösterilmiştir. Tablo 1.'in ilk bölümünde gösterilen değişkenlerle ilgili veriler ise saha çalışmalarıyla toplanmıştır. Bu tabloda, değişkenlerin ölçülmesinde kullanılan birim/sınıflar da gösterilmiştir

**Tablo 1.** Çalışmadaki kullanılan değişkenler listesi

|                        | Değişkenler                                                                                                                                                                                   | Değerlendirme birim/sınıfları                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kullanılan değişkenler | 1- Yerleşim durumu<br>2- Banket genişliği<br>3- Yatay güzergah<br>4- Düşey güzergah<br>5- Hız sınırı<br>6- Kavşağa olan mesafe<br>7- Görüş durumu<br>8- Kenar obje varlığı<br>9- Geçiş yasağı | 1- Yerleşim yeri, 2- Yerleşim yeri dışı<br>1- Banket var, 2- Banket yok<br>1- Düz yol, 2- Hafif viraj, 3- Sert viraj, 4- Sürekli virajlar<br>1- Eğimsiz, 2- Hafif eğimli, 3- Dik eğimli<br>km/saat (50 - 70 - 90)<br>1- Yakın, 2- orta, 3- Uzak<br>1- Açık, 2- Kısıtlı<br>1- Sık, 2- Seyrek, 3- Yok<br>1- Var, 2- Yok |
|                        | Değişkenler                                                                                                                                                                                   | Elenme nedeni                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Elenen değişkenler     | 10- Şerit genişliği<br>11- Yoğunluk<br>12- Yüzey kalitesi                                                                                                                                     | Yol boyunca şerit genişliğinin neredeyse hiç değişmediği görüldüğünden<br>Ölçümler serbest hareket etmekte olan araçlardan sağlandığından<br>Objektif bir değerlendirme ölçeği bulunamadığından                                                                                                                       |

Çalışma yapılan karayolunda (Tokat-Niksar Karayolu) yapılan ön incelemeden sonra harita üzerinde de incelemeler yapılmış ve hız ölçümlerinin yapılabilmesi noktalar kabaca belirlenmiştir. Asıl ölçüm noktaları ise, “Materyal ve Yöntem” bölümündeki prensipler (trafik güvenliği, sürücüler tarafından fark edilme, kosinüs etkisi, vb.) dikkate alınarak sahaya gidildiğinde netleştirilmiştir.

Ölçüm noktaları belirlenirken farklı değişken kombinasyonlarını bir arada gözleme şansı oluşturan noktalar olması da dikkate alınmış, böylece her bir değişkenin hız seçimine etkileri daha iyi ayırt edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma sırasında yolun kendisi ve çevresine ait özelliklerin basit ve eksiksiz bir şekilde toplanmasını sağlamak üzere “Kesim Bilgisi Toplama Formu” (Şekil 4.) adı verilen bir form oluşturulmuştur. Hız ölçümleri için sahaya gidildiğinde ölçümlere başlamadan hemen önce doldurulan bu formun ön yüzünde ölçüm noktasının konumunu tarif eden sütunlar (1, 2 ve 3 nolu sütunlar) ve değişkenlere ait değerlerin girileceği sütunlardan (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 ve 16 nolu sütunlar) oluşan bir tablo bulunmakta, arka yüzünde ise her bir değişkenin alabileceği değerler bulunmaktadır. Örneğin; 4 nolu sütunda bulunan «Yerleşim durumu» değişkeni için, eğer ölçüm yapılan nokta yerleşim yeri ise 1, yerleşim yeri değilse 2 rakamı kodlanacaktır.

| S.       | 1   | 2       | 3         | 4               | 5         | 6           | 7          | 8          | 9          | 10         | 11              | 12                | 13              | 14             | 15       | 16           | 17      |
|----------|-----|---------|-----------|-----------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------|----------|--------------|---------|
| Kesim No | Yin | Merkezi | Kesim km. | Yerleşim durumu | Şerh gen. | Basket gen. | Yatay güt. | Dişey güt. | Eğim uzun. | Hız sınırı | Kaynak mesafesi | Yöğünlük araç/dak | Yıneyi kalitesi | Görüş mesafesi | Km. obje | Geçiş yasağı | Foto no |
| 1        |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 2        |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 3        |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 4        |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 5        |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 6        |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 7        |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 8        |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 9        |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 10       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 11       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 12       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 13       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 14       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 15       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 16       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 17       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 18       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 19       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |
| 20       |     |         |           |                 |           |             |            |            |            |            |                 |                   |                 |                |          |              |         |

Şekil 4. Kesim Bilgisi Toplama Formu

Hız ölçümleri, proje kapsamında temin edilen, Laser Technology Inc. ürünü, TruSpeed LTI 20/20 modeli hız ölçüm cihazı (Şekil 5.) kullanılarak yapılmıştır.



**Şekil 5.** TruSpeed LTI 20/20 modeli hız ölçüm cihazı

Ölçümlerin trafik yoğunluğu, seyahat amacı, gün durumu gibi unsurlardan ve sabah/ akşam zirve trafiğinden etkilenmemesi için, ölçümler hafta içi günlerde saat 09:30- 11:30 saatleri arasında yapılmıştır. Sadece serbest şekilde seyreden, yani takip eden ve edilen araç bulunmayan otomobillerin hızları ölçülerek kaydedilmiştir. Çalışmaya başlarken her bir noktada yaklaşık olarak 50 aracın hız ölçümünün yapılması planlanmışsa da yoldaki trafik hacminin az olması nedeniyle ölçüm sayısının azaltılması gerekmiş, bazı kesimlerde 25-30 aracın hız ölçümüyle yetinilmiş, ancak mümkün olan yerlerde ölçüm sayısının yüksek tutulmasına çalışılmıştır.

Her bir ölçüm noktasında yapılan işlemler özetle şöyledir:

- Harita üzerinde tespit edilen noktaya gidiş: Harita üzerinde tespit edilen nokta civarına gidildiğinde araç trafiği tehlikeye düşürmeyecek ve/veya sürücülerin hızlarını etkilemeyecek uygun bir yere park edildi.

- Ölçümün yapılacağı noktanın belirlenmesi: Çalışma yapılan yol iki yönlü trafiğe hizmet eden, banket imkânı kısıtlı olan dar bir yol olduğundan, ölçüm yapılacak noktanın, yoldaki mevcut trafiği ve ölçüm ekibini tehlikeye düşürmeyecek bir yer olmasına dikkat edildi. Ölçümün yapılacağı noktanın araçları mümkün oldukça uzaktan ve karşıdan gören bir nokta olmasına dikkat edildi. Ayrıca, sürücülerin ölçümü fark ederek hızlarını değiştirmelerini engellemek için de mümkün olduğu kadar sürücülerin dikkatini çekmeyecek noktalar tercih edildi.

- Ölçüm yapılan noktanın tam konumunun belirlenmesi: Ölçüm yapılan noktanın tam konumu arazideki nesneler dikkate alınarak önceden çıktı alınmış harita üzerine işaretlendi.

- Kesim bilgisi toplama formunun doldurulması: Önceden hazırlanan bu formdaki her bir satır, bir ölçüm noktasına karşılık gelmektedir (Şekil 4.). Ölçümlere başlamadan önce söz konusu noktanın özellikleri bu forma işlendi.

- Fotoğraf çekimi: Mümkün olan yerlerde, ölçüm noktasının hem karşıdan (ölçüm yapılan noktadan) görünüşü, hem de sürücünün yaklaşım yönünden fotoğrafları çekildi. Bu sayede, daha sonra bir tereddüde düşülmesi halinde ölçüm noktasının incelenmesi ya da aynı noktanın tekrar bulunabilmesi amaçlanmıştır.

- Hız ölçümlerinin yapılması: Ölçümlerin yapılması sırasında iki farklı yöntem kullanılmıştır. Yol kenarının uygun olduğu (yeterli genişlikte bir banket bulunduğu) durumlarda araç yol kenarında uygun bir yere park edilerek ve araç camları güneşliklerle kapatılarak hız ölçümleri araç içerisinden, sürücülere fark ettirmeksizin yapılmıştır. Yol kenarının uygun olmadığı durumlarda araçtan inilerek ölçümler yapılmıştır. Ancak bu ölçümler sırasında sürücülerin ölçümü fark ederek hızlarını değiştirmelerini en-

gellemek için araçlar ölçüm noktasına yaklaşırken değil, uzaklaşırken arkadan hızları ölçülmüştür. Ayrıca, yapılan ölçümün hız ölçümü gibi değil de topoğrafik ölçüm gibi algılanması için bir tripod konularak arazi ölçümü yapılmışçasına hız ölçümleri yapılmıştır.

Her kesim için, yapılan hız ölçümlerinin aritmetik ortalaması hesaplanarak kesime ait ortalama hızlar elde edilmiştir. Her kesim için tespit edilen değişken özellikleri ve yapılan ölçümler sonucu her kesim için elde edilen ortalama hızlar Tablo 2.'de verilmiştir (Tablonun yalnızca bir bölümü verilmiştir).

**Tablo 2.** Kesimlere ait değişken özellikleri ve ortalama hızlar

| Kesim no | Yerleşim durumu | Banket gen. | Yatay güz. | Düşey güz. | Hız sınırı | Kavşak mes. | Görüş mes. | Kenar obje varlığı | Geçiş yasağı | Ort. Hız |
|----------|-----------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|--------------------|--------------|----------|
| 1        | 2               | 3           | 1          | 3          | 50         | 2           | 1          | 3                  | 1            | 74       |
| 2        | 2               | 1           | 1          | 3          | 50         | 2           | 1          | 3                  | 1            | 76       |
| 3        | 2               | 1           | 1          | 4          | 90         | 3           | 1          | 3                  | 2            | 81       |
| .        | .               | .           | .          | .          | .          | .           | .          | .                  | .            | .        |
| 78       | 1               | 2           | 1          | 4          | 70         | 2           | 1          | 3                  | 2            | 79       |
| 79       | 2               | 2           | 1          | 4          | 90         | 2           | 1          | 3                  | 2            | 101      |
| 80       | 2               | 2           | 2          | 4          | 90         | 1           | 2          | 2                  | 2            | 93       |

### 4.3. Çoklu Regresyon Modelinin Kurulması

Tespit edilen yol geometrik ve çevresel özelliklerinin hesaplanan ortalama hızlarla ilişkisini gösteren Çoklu Regresyon Modelinin oluşturulmasında, SPSS 20.0 yazılımındaki; Analyze → Regression → Linear komut zinciri kullanılmıştır (Şekil 6.).



verilen veri [DataEditor] - IBM SPSS Statistics Data Editor

File Edit View Data Transformation Window Help Add-ons Window Help

Regular

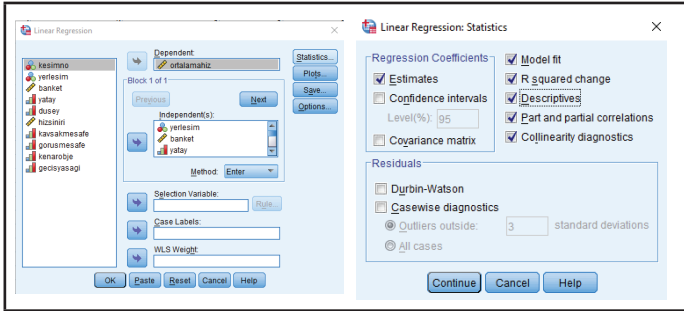
Diagnostic Statistics >  
 Descriptive Means >  
 General Linear Model >  
 Correlation >  
 Regression >  
 Classical >  
 Dimension Reduction >  
 Scale >  
 Discriminatory Tests >  
 Forecasting >  
 Multiple Response >  
 Quality Control >  
 ROC Curve

Automatic Linear Modeling >  
 Linear >  
 General Estimation >  
 Partial Least Squares >  
 Original

|    | kesimno | y  | yatay | dusey | hizsiniri | kavsakmesafe | gorusmesafe | kenarobje | gecisyasagi | ortalamahiz |
|----|---------|----|-------|-------|-----------|--------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| 1  | 1       | 1  | 3     | 1     | 3         | 50           | 2           | 1         | 3           | 1           |
| 2  | 2       | 2  | 4     | 2     | 3         | 60           | 2           | 1         | 3           | 1           |
| 3  | 3       | 3  | 4     | 3     | 3         | 90           | 3           | 1         | 3           | 2           |
| 4  | 4       | 4  | 5     | 4     | 2         | 90           | 3           | 1         | 3           | 2           |
| 5  | 5       | 5  | 3     | 5     | 3         | 90           | 2           | 1         | 2           | 2           |
| 6  | 6       | 6  | 3     | 6     | 3         | 90           | 2           | 1         | 1           | 1           |
| 7  | 7       | 7  | 5     | 5     | 5         | 50           | 1           | 2         | 2           | 1           |
| 8  | 8       | 8  | 0     | 3     | 1         | 50           | 1           | 2         | 1           | 1           |
| 9  | 9       | 9  | 0     | 2     | 4         | 90           | 2           | 2         | 1           | 1           |
| 10 | 10      | 10 | 0     | 1     | 2         | 90           | 3           | 1         | 1           | 1           |
| 11 | 11      | 11 | 0     | 1     | 4         | 90           | 1           | 1         | 3           | 2           |

Şekil 6. SPSS 20.0'da çoklu linear regresyon için komut zinciri

Açılan pencerede (Şekil 7.); “Dependent:” kutucuğuna ortalamahiz, “Independent(s):” kısmına ise 9 değişken (yerlesim, banket, yatay, dusey, hizsiniri, kavsakmesafe, gorusmesafe, kenarobje, gecisyasagi) girilmiştir. “Statistics...” düğmesine basılarak açılan kutucukta ise, Şekil 7.’deki kutular işaretlenmiş, “Continue” ve “OK” düğmelerine basılarak analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7. SPSS 20.0'da Çoklu Linear Regresyon penceresi

Çalışmada yer verilen 9 değişkene birden yer verilen bu ilk deneme sonucu oluşan istatistikler Tablo3.’de verilmiştir. Bu ilk deneme sonucu oluşan katsayılar (Coefficients) tablosu incelendiğinde, değişkenlerin çoğu için anlamlılığı ifade eden t testine ait “Sig.” (Significance) değerinin 0,05’ten büyük olduğu görülmektedir (Tablo 3.). t testine ait Sig. Değerinin 0,05’ten büyük olması, % 5 anlamlılık düzeyinde ilgili bağımsız değişkenin, bağımlı değişken üzerindeki etkisinin tesadüfi olması anlamına gelmektedir. Bu sebeple, her seferinde Sig. değeri 0,05’ten büyük ve en

büyük olan bağımsız değişken analizden çıkarılarak analiz çeşitli defalar tekrarlanmıştır.

**Tablo 3.** 9 bağımsız değişkenli ilk denemenin çıktıları

Model Summary

| Model | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Change Statistics |          |     |     |               |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------|-----|-----|---------------|
|       |                   |          |                   |                            | R Square Change   | F Change | df1 | df2 | Sig. F Change |
| 1     | ,685 <sup>a</sup> | ,469     | ,381              | 13,20803                   | ,469              | 5,307    | 9   | 54  | ,000          |

a. Predictors: (Constant), gecisyasagi, banket, yerlesim, kavsakmesafe, yatay, hizsiniri, dusey, kenarobje, gorusmesafe

ANOVA<sup>a</sup>

| Model |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F     | Sig.              |
|-------|------------|----------------|----|-------------|-------|-------------------|
| 1     | Regression | 8331,950       | 9  | 925,772     | 5,307 | ,000 <sup>b</sup> |
|       | Residual   | 9420,410       | 54 | 174,452     |       |                   |
|       | Total      | 17752,359      | 63 |             |       |                   |

a. Dependent Variable: ortalamahiz

b. Predictors: (Constant), gecisyasagi, banket, yerlesim, kavsakmesafe, yatay, hizsiniri, dusey, kenarobje, gorusmesafe

Coefficients<sup>a</sup>

| Model |              | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|-------|--------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
|       |              | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1     | (Constant)   | 68,976                      | 17,538     |                           | 3,933  | ,000 |
|       | yerlesim     | 7,853                       | 4,825      | ,178                      | 1,628  | ,109 |
|       | banket       | 3,410                       | 4,045      | ,102                      | ,843   | ,403 |
|       | yatay        | -5,495                      | 1,611      | -,409                     | -3,410 | ,001 |
|       | dusey        | -4,827                      | 3,702      | -,176                     | -1,304 | ,198 |
|       | hizsiniri    | ,163                        | ,136       | ,134                      | 1,202  | ,235 |
|       | kavsakmesafe | ,741                        | 2,431      | ,034                      | ,305   | ,762 |
|       | gorusmesafe  | -2,507                      | 5,181      | -,074                     | -,484  | ,630 |
|       | kenarobje    | -,663                       | 2,344      | -,032                     | -,283  | ,778 |
|       | gecisyasagi  | 5,354                       | 4,152      | ,151                      | 1,290  | ,203 |

a. Dependent Variable: ortalamahiz

Tablo 4.'de verilen 3 bağımsız değişkenli denemeye ait ANOVA tablosu incelendiğinde; modele ait F değerinin 14,375; Sig. değerinin (F testi için) ise 0 olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu durumda elde edilen modelin anlamlı olduğu söylenebilir.

**Tablo 4. 3 bağımsız değişkenli deneme sonuçları**

| Model Summary                                     |                             |            |                   |                            |                   |                   |     |     |               |
|---------------------------------------------------|-----------------------------|------------|-------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|-----|-----|---------------|
| Model                                             | R                           | R Square   | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Change Statistics |                   |     |     |               |
|                                                   |                             |            |                   |                            | R Square Change   | F Change          | df1 | df2 | Sig. F Change |
| 1                                                 | ,647 <sup>a</sup>           | ,418       | ,389              | 13,12039                   | ,418              | 14,375            | 3   | 60  | ,000          |
| a. Predictors: (Constant), dusey, yerlesim, yatay |                             |            |                   |                            |                   |                   |     |     |               |
| ANOVA <sup>a</sup>                                |                             |            |                   |                            |                   |                   |     |     |               |
| Model                                             | Sum of Squares              |            | df                | Mean Square                | F                 | Sig.              |     |     |               |
| 1                                                 | Regression                  | 7423,681   | 3                 | 2474,560                   | 14,375            | ,000 <sup>b</sup> |     |     |               |
|                                                   | Residual                    | 10328,678  | 60                | 172,145                    |                   |                   |     |     |               |
|                                                   | Total                       | 17752,359  | 63                |                            |                   |                   |     |     |               |
| a. Dependent Variable: ortalamahiz                |                             |            |                   |                            |                   |                   |     |     |               |
| b. Predictors: (Constant), dusey, yerlesim, yatay |                             |            |                   |                            |                   |                   |     |     |               |
| Coefficients <sup>a</sup>                         |                             |            |                   |                            |                   |                   |     |     |               |
| Model                                             | Unstandardized Coefficients |            |                   | Standardized Coefficients  | t                 | Sig.              |     |     |               |
|                                                   | B                           | Std. Error | Beta              |                            |                   |                   |     |     |               |
| 1                                                 | (Constant)                  | 95,136     | 9,527             |                            | 9,986             | ,000              |     |     |               |
|                                                   | Yerlesim                    | 9,522      | 4,496             | ,216                       | 2,118             | ,038              |     |     |               |
|                                                   | Yatay                       | -6,548     | 1,374             | -,487                      | -4,767            | ,000              |     |     |               |
|                                                   | Dusey                       | -7,314     | 2,815             | -,266                      | -2,599            | ,012              |     |     |               |
| a. Dependent Variable: ortalamahiz                |                             |            |                   |                            |                   |                   |     |     |               |

Tablo 4.'deki Coefficients tablosu incelendiğinde; yerlesim (yerleşim), yatay (yatay güzergah) ve dusey (düsey güzergah) değişkenlerinin Sig. değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmüş, dolayısıyla bu 3 değişkeninin anlamlı olduğu, yani bu 3 değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisinin tesadüfi olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu duruma göre, 1 sabit ve 3 bağımsız değişkenden oluşan toplam 4 terimli çoklu regresyon modeli Eşitlik 2.'deki gibi oluşmuştur.

Ortalamahiz = 95,136 + 9,522 (yerlesim) - 6,548 (yatay) - 7,314 (dusey) ... (Eşitlik 2)

## 5. TARTIŞMA

Tablo 4.'deki "Model Summary" tablosu incelendiğinde, ortaya konan modelde R değerinin 0,647;  $R^2$  değerinin ise 0,418; düzeltilmiş  $R^2$  değerinin ise 0,389 olarak oluştuğu görülmektedir. Yani, elde edilen model, "ortalama hız" bağımlı değişkenindeki değişikliklerin yaklaşık % 40'ını açıklayabilmektedir.

Model incelendiğinde, bir değişkenin katsayısının pozitif, iki değişkenin katsayısının ise negatif olduğu görülmektedir. Yerleşim değişkeni için 1 değeri yerleşim yerlerini, 2 değeri ise yerleşim yeri dışını göstermektedir ki bu durumda değişkenin değerinin artması demek yerleşim yeri dışındaki bir yol kesiminde olduğunu göstermektedir ve bu durum ortalama hızı da artırmaktadır. Diğer taraftan, yatay güzergah değişkeni için; 1 değeri düz yerleri, 2 değeri hafif virajları, 3 değeri sert virajları, 4 değeri ise sürekli virajlı kesimleri göstermektedir. Dolayısıyla, değişkenin değeri arttıkça, yol, sürüş açısından zorlaşmaktadır ki bu durumda ortalama hızın düşüyor olması da beklentilerle uyumludur. Modeldeki bir diğer değişken olan dusey değişkeni için ise 1 değeri düz yerleri, 2 değeri hafif eğimli yerleri, 2 değeri ise dik eğimli yerleri göstermektedir. Bu değişken için de değişken değeri arttıkça ortalama hızın artması beklentilerle uyumludur.

Modelde yer bulmayan, anlamsız bulunarak çıkarılan bağımsız değişkenler ise şunlardır: banket, hizsiniri, kavsakmesafe, gorusmesafe, kenarobje, gecisyasagi.

- "Banket" (banket genişliği) değişkeninin; banket genişliği düştükçe hızın da düşmesi şeklinde bir etki yapacağı beklenmekteydi. Ancak; yolun büyük kısmında banketin bulunmayışı veya çok dar olmasının, bu değişkenin etkisini sınırladığı düşünülmektedir.

- “hizsiniri” (hız sınırı) değişkeninin ortalama hızı düşürmesi beklenmekteydi. 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu ve Trafik Yönetmeliği’ne göre de olması gereken budur. Ancak, söz konusu değişkenin ortalama hıza anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Sürücülerin, levhalarla uyarılmalarına rağmen yol koşullarında bir farklılık hissetmedikleri için hızlarını düşürmeye gerek duymadıkları/ düşürmedikleri düşünülmektedir.
- “kavsakmesafe” (kavşağa olan mesafe) değişkeninin ortalama hız üzerinde anlamlı bir etkisi olmamıştır. Her ne kadar şehirler arası bir yol olsa da iki şeritli, iki yönlü ve büyük ölçüde kırsal alandan geçen bir yol olan Tokat-Niksar yolundaki kavşakların küçük köy yollarının sık aralıklarla ana yola katılmaları şeklinde olduğu, bunun da sürücülerin kavşaklara olan duyarlılığını düşürdüğü değerlendirilmektedir.
- “gorusmesafe” değişkeninin ortalama hız üzerinde anlamlı bir etkisi olmamıştır. Oysa görüş mesafesinin kısıtlı olduğu yerlerde ortalama hızın önemli derecede düşeceği öngörülmekteydi. Bu değişkenin anlamsız çıkmasının, değişkeni değerlendirmek için kullanılan ölçeğin (açık-kısıtlı) yetersizliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- “kenarobje” (yol kenarında trafiğe etkide bulunacak mesafede cisim bulunması) değişkeninin ortalama hız üzerinde anlamlı bir etkisi olmamıştır.
- “gecisyasagi” (yolda geçiş yasağı bulunması) değişkeninin de ortalama hız üzerinde anlamlı bir etkisi olmamıştır. Çalışma kapsamında hız ölçümü yapılan araçlar, serbest şekilde seyreden, yani bir aracı takip etmeyen ya da başka bir araç tarafından yakından takip edilmeyen otomobiller olarak seçilmiştir.

Bu nedenle, hız ölçümü yapılan araçlar herhangi bir geçme/geçilme aksiyonu içerisinde olmadıkları için, “gecisyasagi” değişkeninin ortalama hız üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir.

## 6. SONUÇLAR VE ÇIKARIMLAR

Çalışma sonucunda, yol geometrik ve çevresel özellikleriyle yoldaki ortalama hız arasındaki ilişkileri ortaya koyan bir model oluşturulmuştur. Hızı tahmin etmemizi sağlayacak bir model oluşturulmasının faydalarından birisi; ortalama hızın değiştirilmek istendiği yol kesimlerinde, yolun çevresel ve geometrik özelliklerinin hangileri değiştirilerek istenen ortalama hızın elde edilebileceğini bilmektir. Özellikle hızın sınırlandırılması gerektiği düşünülen kesimlerinde, örneğin yerleşim yeri geçişlerinde, çevresel ve geometrik özelliklerde yapılacak değişikliklerle ortalama hız azaltılabilir. Bu çalışmada ortaya konulan model bağlamında, hızın azaltılması istenen kesimde yatay kurp konulması, düşey kurp konulması ya da yolun etrafındaki yerleşimlerin daha açık biçimde vurgulanmasının ortalama hızı düşürebileceği söylenebilir. Tam tersi olarak, yoldaki hızın artırılması istenen kesimler de olabilir, zira hız mutlak olarak kötü değildir: Aşırı hız, mahal koşullarına uygun olmayan hız kötüdür. Uygun yol koşullarında yapılan, yasal limitleri de aşmayan, aşırı olmayan hız, seyahat süresini kısaltacağı için istenen bir şeydir. Bu çalışmada ortaya konulan model bağlamında, ortalama hızın artırılması istenen kesimlerde; sürekli yatay kurp olan kesimleri azaltmak, düşey kurbu ortadan kaldırmak veya yolu yerleşimin dışından geçirmek yoluyla ortalama hız artırılabilir.

Elde edilen model sadece üç bağımsız değişkene yer verdiğinden, istenen ortalama hızı sağlamaya yönelik olarak yapılabilecek değişiklikler için kısıtlı sayıda alternatif vardır. Modelde daha fazla değişken olabilseydi, söz gelimi, banket genişliği değişkeni de anlamlı olsaydı, bu değişken özellikleri de istenen ortalama hızın elde edilmesi için kullanılabilirdi.

## KAYNAKLAR

- Aarts, L., & Van Schagen, I., 2006. Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 215-224.
- Bassani, M., Dalmazzo, D., Marinelli, G., & Cirillo, C., 2014. The effects of road geometrics and traffic regulations on driver-preferred speeds in northern Italy. An exploratory analysis. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 25, 10-26.
- Ben-Bassat, T., & Shinar, D., 2011. Effect of shoulder width, guardrail and roadway geometry on driver perception and behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6), 2142-2152.
- Camacho-Torregrosa, F. J., Pérez-Zuriaga, A. M., Campoy-Ungria, J. M., & García-García, A., 2013. New geometric design consistency model based on operating speed profiles for road safety evaluation. *Accident Analysis & Prevention*, 61, 33-42.
- Cruzado, I. ve Donnell, E.T., 2010. Factors Affecting Driver Speed Choice Along Two-Lane Rural Highway Transition Zones, *Journal of Transportation Engineering*, Volume 136 Issue 8, 755-764.
- Çavdar, A., Uçar, M., ve Kılıçaslan, İ., 2008. Trafik Kazalarına Sebep Olan Yüksek Hız Kusurlarının Denetimi Ve Aktif Güvenlik Sistemler İle Kontrolü, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 1*.
- Edquist, J., Rudin-Brown, C.M., and Lenne, M.G., 2009. Road Design Factors and Their Interactions with Speed and Speed Limits, Monash University, Accident Research Center Report.
- EGM - Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Hizmetleri Başkanlığı, 2004. Değişik Hız Denetim Yöntemlerinin Sürücü Hız Seçimine Etkileri.
- Evlik, R., 1999. Cost-Benefit Analysis of Safety Measures for Vulnerable and Inexperienced Road Users, Institute of Transport Economics, TQI Report 435/1999, Oslo.

- Fitzpatrick, K., Elefteriadou, L., Harwood, D. W., Collins, J. M., McFadden, J., Anderson, I. B., ... & Pasetti, K., 2000. Speed prediction for two-lane rural highways (No. FHWA-RD-99-171,).
- Fitzpatrick, K., Carlson, P., Brewer, M., and Wooldridge, M., 2001. Design Factors That Affect Driver Speed on Suburban Streets, Transportation Research Record 1751, Paper No. 01-2163.
- Global Road Safety Partnership, 2008. Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners, Geneva.
- Goldenbeld, C., & van Schagen, I., 2007. The credibility of speed limits on 80km/h rural roads: The effects of road and person(ality) characteristics. Accident Analysis & Prevention, 39, 1121–1130.
- Gong, H., 2007. Operating Speed Prediction Models For Horizontal Curves On Rural Four-Lane Non-Freeway Highways, Doctoral Dissertations, Paper 562.
- Göktan, A. G., 1992. Taşıt Tasarımı Ders Notları, İTÜ Yayınları, İSTANBUL.
- Jongen, E. M., Brijs, K., Mollu, K., Brijs, T., & Wets, G., 2011. 70 km/h Speed Limits on Former 90 km/h Roads Effects of Sign Repetition and Distraction on Speed. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 53(6), 771-785.
- Kırmızıoğlu, E. ve Tüydeş Yaman, H., 2011. Trafik Levhalarının Bilinirliği (Ankara Pilot Bölge Çalışması), ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaşım Araştırma Merkezi.
- Kim, S., & Choi, J., 2013. Effects of preceding geometric conditions on operating speed consistency of multilane highways. Canadian Journal of Civil Engineering, 40(6), 528-536.
- Shinar, D., 2007. Traffic safety and human behavior. Bingley, UK: Emerald Group.



TŞOF (Türkiye Şoförler ve Otomobilciler Federasyonu), 1997. Ticari Taşıt Şoförleri-Trafik Polisi İlişkileri, Ankara.

TÜİK Haber Bülteni, 2016. Sayı 21611, 19 Temmuz 2016.

WHO (World Health Organization), 2015. Global status report on road safety, 2015.

# DRONE'LARA GENEL BİR BAKIŞ

Gökhan YALÇIN , Süleyman NEŞELİ







## DRONE'LARA GENEL BİR BAKIŞ

Gökhan YALÇIN , Süleyman NEŞELİ

### GİRİŞ

Son yüz yıl içinde boyut, kullanım alanları/amaçları ve şekilsel olarak çeşitli uçaklar üretilmiştir. Bu çeşitli uçaklar askeri alanda olduğu kadar sivil hayattaki kullanımları da oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Günümüzde uçağın farklı amaçlarda platform olarak kullanılması için düşük maliyette, esnek yapıda insanlı/insansız hava araçları kullanılmaktadır. Drone olarak da adlandırılan insansız hava araçları, son zamanlarda, maliyetleri, esneklikleri ve uygulama potansiyelleri nedeniyle, araştırmacılar ve sanayi toplulukları tarafından çeşitli alanlarda artan araştırma ilgisini kazanmaktadırlar. Drone uzaktan kumanda veya bilgisayarın bulunduğu insansı veya insansız bir uçak veya gemi olarak tanımlanabilir. Ayrıca bu tarz uçaklar insansız hava araçları (İHA/UAV), insansız hava sistemleri (UAS), insansız uçaklar (UA) veya askeriyede daha çok uzaktan yerden pilot tarafından kumanda edilen uçaklar (RPA) olarak da isimlendirilmektedirler.

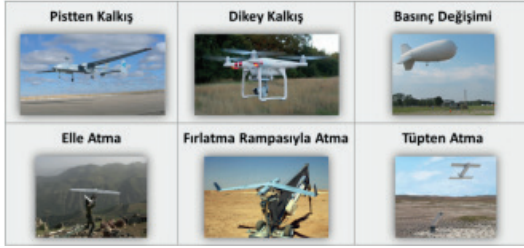
20. yüzyılın sonlarında “insansız hava aracı” anlamına gelen İHA’larla insanoğlu tanışmıştır. Uçan aracın içinde insan olmadan uzaktan kontrolle uçan ve görüntü, lokasyon bilgilerini iletebilmektedir. 21. yüzyılın başında ise karmaşık sistemlerin tanımı için “insansız uçak sistemi” UAS ile tanıştık. UAS’ler daha çok askeri amaçlı daha geniş bilgi komuta ve kontrol sistemlerinin bir parçası olarak tanımlanmaktadır. Daha sonra askeri amaçlı yerden bir operatör tarafından kontrol edilen bu insansız hava araçlarına RPA (uzaktan pilotlu uçak) kısaltması da kullanılmıştır. Karmaşık sistemler ile uzaktan pilotlu uçak kavramının birleşimi ile RPAS kısaltma terimi olan “uzaktan kumandalı uçak sistemi” ifadesi tanımlanmıştır. Son

terim ise uçakları da içine alan herhangi bir araç tipi için insansız (pilotsuz) uzaktan kontrol edilebilen karmaşık bileşenlerin oluşturduğu sistemli cihazlara drone tanımlanması yapılmıştır. Böylece hem sivil ve ticari alanda hemde askeri alanda en yaygın kullanılan terim haline gelmiştir. Drone terimi böcek kadar küçük ve taşıma kargo uçakları kadar büyük olan bütün uçan araçları kapsayan geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu yüzden drone'lar oldukça teknolojik askeri uçan araçlar olabilecekleri gibi tarımda kullanılan bir tarım cihazı, coğrafyada kullanılan bir haritalandırma cihazı güvenlik için kullanılan toplumsal olay önleyici bir cihaz veya özel şahıs kullanıcıların kullandığı eğlence amaçlı cihazlarda olabilir. Drone'lar sabit kanatlı (uçaklar) ve döner kanatlı (helikopter) olarak iki tipe ayrılabilir.



**Şekil 1:** Gövde/Motor Tasarımına Göre İHA Türleri

Sabit kanatlı drone'lar yatay kalkış ve iniş yaparken döner kanatlılar dikey kalkış ve iniş yapabilmektedirler. Sabit ve döner kanatlı uçaklar stabilite ve menzil açısından farklı performans gösterir. Sabit kanatlı drone'lar az bir deneyimle bile kullanılabilmeleri, uçuş menzili dolayısıyla alan kapsama alanı, hız ve denge konusunda daha avantajlı iken döner kanatlı drone'lar yüksekten haritalandırma, bir bölgeyi izleme ve ölçeklendirmek için daha uygun olabilir. Buna karşın sabit kanatlılar kalkış ve iniş için piste ihtiyacı vardır.



**Şekil 2:** Kalkış Yöntemine Göre İHA Türleri

Döner kanatlı drone'lar ise dar alanlarda rahatlıkla iniş ve kalkış yapabilmekte ve rotor kanatları artıkça dengeleri ve keskin hareket kontrolleri kolaylaşmaktadır.



**Şekil 3:** İniş/Kurtarma Yöntemine Göre İHA Türleri

Drone ekipmanlarından en önemli etkenlerden biride uçuş menziline sağlayan güç kaynağıdır. Bir çok çeşit drone'lar içten yanmalı motorlar kullanarak petrol türevi yakıtla güç kaynaklarını sağlarken artık günümüzde daha ekonomik daha az titreşimli ve uzaktan algılama uygulamalarında daha verimli olan elektrik motorları ve bunların ihtiyacı olan gücü ise çeşitli piller ve yakıt hücreleri ile sağlamaktadır. Piller ve yakıt hücrelerinin verimi özellikle döner kanatlı drone'ların uçuş menzili, uçuş dayanıklılığını ve ağırlığını etkileyen en önemli unsurdur. Günümüzde bu güç kaynaklarının oldukça ağır olması ve verimlerindeki düşüklük bu drone'ların menzillerini dolayısıyla gelişimini sınırlamaktadır. Gelecekte, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanarak bu güç kaynaklarının artı-

rılması planlanmaktadır. Örneğin yenilenebilir enerjiden güneş enerjisinden güneş panelleri yardımıyla faydalanılabilir, rüzgar enerjisinden bir pervane yardımıyla uçuş esnasındaki rüzgardan faydalanılabilir veya son zamanlarda yenilenebilir enerjide sıkça adını duyuran termoelektrik jeneratörler yardımıyla sıcak/soğuk farkından enerji üretilebilecektir (Ağaçayak et al., 2018). Yenilenebilir kaynakların üretimleri çok fazla olmamasından dolayı bir sistemde bunlardan biri yerine hibrit bir yapı oluşturarak birkaçını bir arada kullanmak gerektiği görülmektedir. Gelecekteki çalışmalar bu yönde olacağı kaçınılmazdır. Böylece bir drone'un uçuş dayanıklılığı dakikalardan, saatlerden günlere ve hatta yıllara artırılarak pillerin veya yakıt hücresinin kullanım ömürleri boyunca uçuş sürebilecektir. Tabi sadece enerji sürekliliği değil onun yanında drone'lar için ağırlık çok önemli olduğu için piller ve yakıt hücrelerinin teknolojisinde de ilerleme sağlanmalıdır.

Drone'lar sadece tek başına değil toplu bir şekilde birbirlerine göre hareket edebilirler. Gelişmiş görüntü sistemleri ile bölgesel alanları görüntüleyebilir. Yazılım ile güçlendirilerek belirli bölgelerdeki belirli nesnelerin tespiti ve farklı drone'ların görüntülediği görüntüler birleştirilerek görüntü işleme yapılmasını sağlarlar. Teknolojiyle çeşitli uygulamalarda kullanılabilen ve kullanım amaçlarına göre yeteneklere sahip drone'larda vardır. Oldukça fazla drone çeşidi ve bunlardan bahseden literatür olması rağmen hepsine bu çalışmada değinmemiz mümkün değildir.

## **DRONE DİZAYNI İLE İLGİLİ BİLİMSEL ÇALIŞMALAR**

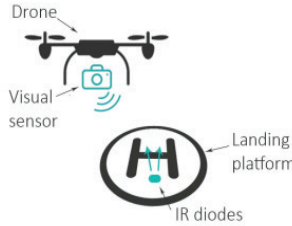
Bu çalışma literatürde drone dizaynı ile ilgili insansız uçan makinelerin dizaynları üzerine yapılan çalışmalarla ilgilidir. Yüksek verimli sistemlerde çalışma sağlanması için laboratuvar otomasyon drone'u tasarlanmıştır. Tasarım, mikro plaka konumlandırmayı ve yönlendirmeyi





su, kısmen sıra dışı bir drone'un uzaysal oryantasyondan dolayı öngörülemeyen bir şekilde davrandığı durumları; diğer insansız hava araçlarına, altyapıya veya insanlara karşı tehlikeli, öngörülemeyen, uygunsuz veya güvensiz bir şekilde hareket eden herhangi bir drone, bir hava trafik kanunu ihlali olarak kabul edilir. Kent senaryosunun drone-free bölgelerine yakın bir yerden fırlatılabilecek amatör drone'ların (ADr) hızlı tespitine odaklanılmaktadır. Özellikle, ADr'nin herhangi bir kuruluşa (yasadışı, sertifikalı olmayan ve terörist dâhil) veya herhangi bir özel operatöre ait olabileceğini kimyasal ve patlayıcı maddeler de dâhil olmak üzere çeşitli araç üstü donanımlar da keyfi yük taşıyabileceği varsayılmaktadır (Solomitckii, Gapeyenko, Semkin, Andreev, & Koucheryavy, 2018; Kaleem and Rehmani 2018). Gizlilik, güvenlik ve güvenlik uğruna istenmeyen uçağın yerini belirleyebilmek birçok durumda önemlidir. Yapılan çalışmada, kontrolörle iletişim için iletilen kablosuz sinyali kullanarak dış mekân görüş hattında (LOS) istenmeyen bir drone'un yerini belirlemek için bir yerleştirme sistemi tasarlanmıştır. Sistem baz istasyonundan (alıcılardan), her bir alıcıdan drone'un mesafelerini belirleyen bir ampirik kanal modeli ve bu mesafeleri kullanarak drone konumunu belirleyen bir algoritmadan oluşur. RLS ve geliştirilmiş MLE algoritmaları kullanılır. Deneysel sonuçlar, iyileştirilmiş MLE'nin konumlandırma hassasiyeti açısından RLS'den daha iyi performans gösterdiğini ve 4 veya 6 yerine 8 baz istasyonu kullanarak en iyi performansın elde edildiğini göstermiştir. Sonuç olarak, drone'un yüksekliğinin yerleştirme sistemindeki konumlandırma doğruluğu üzerinde bir etkisi var. (Li, Li, Tian, Weekes, & Pahlavan, 2018; Cheon et al., 2018) Drone'larla ilgili gizlilik konusunda bahsedilen diğer bir yöntemde; Alibi Kanıtı (PoA) protokollerinin drone mahremiyete uyumu sağlamak için temel teşkil etmesi gerektiği önerilmektedir. AliDrone, güvenli bir yerleşim bölgesi içinde kriptografik olarak imzalanmış GPS okumaları

üretmek için güvenilir donanımdan yararlanır ve kötü niyetli drone operatörlerinin coğrafi konum bilgileri oluşturmalarını önler. Tasarım, drone'ların Alibi Kanıtlarını (PoA) üretmeleri için güvenilir bir yürütme ortamı sağlamak için mevcut güvenli donanıma güvenmektedir. PoA, güvenli donanım tarafından korunan bir güvenlik anahtarıyla imzalanan, drone'un GPS izinin anahtar şifresidir. Dolayısıyla, Drone Operatörü özel imzalama anahtarına erişemez. Drone Operatörünün bu kanıtla birlikte Alibi'yi (yani GPS izi) denetçiye teslim etmesi istenir. Denetçi her bir drone'un ortak anahtarını bilir ve bu nedenle imzaları doğrulayabilir. Bu şekilde, Drone Operatörü Denetçiye gönderilen Alibi ile tahrif edemez. Sonuç olarak, sistem drone gizliliğinin uygunluğunun güvenilir bir şekilde denetlenmesini kolaylaştırır(Liu, Hojjati, Bates, & Nahrstedt, 2018). Drone'lar bugünlerde o kadar ilerideki, yüksek kaliteli videolar çekmek için yüksek çözünürlüklü kameralarla ve nesnelerin tıkanmasını önlemek için görüntü tanıma algoritmasıyla birleşti.



**Şekil 6:** Paylaşım Yürütme Süreci ve Bileşenleri(Shin & Teh, 2018).

Uçaktaki elektronik cihazlar nedeniyle, drone'lar her zaman fazla güce ihtiyacı var ve bu nedenle pil şarjı başına uçuş süresileri sınırlanmaktadır. Uzun uçuş süresi platformu ile istikrarlı bir batarya ömrüne sahip olmak, kilit unsurlardan biridir. Literatür, güç elektroniği tasarımına, özellikle de bir drone üzerindeki elektronik güç kontrol ünitesine, yani elektronik hız kontrol cihazına (ESC) odaklanmaktadır. Uçağın en güç elektrik bileşeni,

motoru süren güç elektroniği olacaktır. Quadcopter uçağı, uçuş kontrol komutlarını (genellikle Darbe Genişliğı Modülasyonu (PWM) verilerinde modüle edilmiştir), motoru kontrol etmek için dört DC-AC 6 transistörlü motor sürücüsünün uygun anahtarlama işlemlerine çeviren Elektronik Hız Kontrol Cihazı (ESC) adlı bir cihaz kullanarak hareket eder. En iyi uçuş süresi optimizasyonunu sağlamak amacıyla çoklu güç transistör teknolojisi uygulamaları (Si IGBT, SiC ve GaN) ele alınmıştır. Maliyet göz önüne alındığında, GaN ve SiC, ana tüketici uygulamasında kullanılmaya halen erkendir. Bununla birlikte, iniş için mutlak performans gerekiyorsa, özel amaçlı özel tasarım drone'lar, GaN cihazı piyasadaki en iyi seçenek olarak görülmektedir (Shin & Teh, 2018). Orantılı-İntegral-Türev (PID) parametrelerin bulunması konusunda literatürde bir çok çalışma yapılmaktadır (Terzioğlu et al. 2013; Terzioğlu et al. 2015; Kazan et al. 2015; Coşkun & Terzioğlu, 2007; Coşkun & Terzioğlu, 2009; Coşkun & Terzioğlu, 2011). Drone'larda PID parametrelerin bulunması ile ilgili yapılan çalışmada ise; AR Drone quadrotor için Orantılı-İntegral-Türev (PID) kontrolör parametrelerini ayarlamak için gradyanlı bir terbiyeli tabanlı metodoloji kullanılmıştır. Uç PID kontrol cihazı parametresi, oransal kazanç ( $K_p$ ), integral kazanç ( $K_i$ ) ve türev kazanç ( $K_d$ ), uçarken çevrimiçi olarak ayarlanır. Önerilen teknik iki test durumu ile gösterilmiştir. Bunlardan biri yol noktası navigasyonu, diğeri ise lider takipçisi oluşum kontrolüdür. Her iki durumda da deney sonuçlarının yanı sıra simülasyon sonuçları da gösterilmiştir (Babu, Das et al. 2017). Sürü robotik, çok sayıda basit fiziksel robot içeren çok sayıda robot sisteminin koordinasyonunda yeni bir yaklaşımdır. Literatürde önerilen sistem, birkaç uygun maliyetli yer robotu (bot) ve İHA'dan oluşmaktadır. Bu tasarımın temel bir bileşeni, sürekli geri bildirim sistemi oluşturan küme üyeleri arasındaki iletişimidir. Burada sürü zekâsı, bir dizi iş için amaçlanan bir drone ve bot sistemi tasarlamak için

kullanılmıştır. Afet sırasında, kurtarma operasyonları için insan yaşamları tehlikeye atılmaktadır. Ancak önerilen program, toplam kurtarma çalışmasını zemin seviyesinde otomatik botlarla ve gökyüzü seviyesinden drone kullanarak kontrol ederek bu riski ortadan kaldırmaktadır. Yangın, sel ve toprak kayması gibi yaygın afetler bu otomatik kontrol sistemi kullanılarak ele alınabilir. Robotlar kablo-suz teknolojiyle birbirine bağlanır ve geliştirilecek sürüler gibi zekâyı kullanır. Engellerden kaçınmanın yolunu keşfedebilirler ve çevrelerinden kendilerine bağlı sensörleriyle ortamdaki bilgi toplamak için birlikte hareket edebilirler. Bu bilgi buluta yüklenir ve özel bir işin yürütülmesi için gerekli komutları vermeden önce, talep üzerine Usta Drone tarafından alınır. Benzer şekilde, gökteki drone'lar grubu, GPS'li İHA'lardan ve farklı açılardan fotoğraf çekme veya sıkışmış canlı vücut aramak gibi farklı işlevlere sahip diğer sensörlerden oluşur. Bilgi toplayabilir ve verileri bulutta da yükleyebilecek olan Master Drone'a gönderebilirler. Bu nedenle önerilen program hem yerdeki hem de gökteki sürüler sistemini koordine edebilir. Bu sistem aynı zamanda tarımsal amaçlı olduğu gibi savunma amaçlı da çeşitli şekillerde kullanılabilir. Gelecekteki çalışma, önerilen sistemimizin tüm normlarını karşılayan eksiksiz bir uygulama oluşturulması ve böylece sistemin verimliliği konusunda titiz bir çalışma yürütülmesi yönündedir(Saha et al., 2018). Tüm drone çalışmaları, insan müdahalesinin gerekliliğini ortadan kaldırmak için oldukça özerk bir uçak kullanma arzusunu paylaşmaktadır. Bu vizyon, çoğu durumda, cihazların özerkliğinin, güç tükendiğinde sonlandırıldığı mevcut dezavantajdan kaynaklanmaktadır; O anda, drone'un inmesi ve yeniden şarj edilmesi gerekiyor. Önerilen çözüm, drone'un çalışmasını basitleştirmek ve muhtemelen tekrarlanan uçuşlar yapabilen tamamen özerk bir aracın oluşumunu desteklemek için tasarlanmıştır. İnsansız hava araçları (İHA) için hassas bir iniş sistemi için çok hassas bir uçuş kontrolörü ve nesne tespiti için gör-

sel bir sensör içerir. Platform, çeşitli insansız hava aracı türlerine entegre olacak şekilde inşa edilmelidir. İniş platformunun optik kamera ile görsel olarak izlenmesi için yöntem, iniş güvenilirliğini artırılmasını sağlıyor. İnsansız hava aracının iniş sırasındaki kesin konumu, özel olarak tasarlanmış iniş platformunun tespit edildiği bir görüntü analizi ile sağlanmaktadır. İniş sisteminin merkezinde, kesin olarak tanımlanmış bir iniş noktasında akıllı gezinmeyi kolaylaştırmak için modüle edilmiş IR ışını tarayan görsel bir kamera bulunmaktadır. Çözüm, insan müdahalesinin gerekliliğini ortadan kaldıran tekrarlanan hassas inişler için özerk bir sisteme bir insansız hava aracı eklememizi sağlar(Janousek & Marcon, 2018). Ticari drone kullanımlarında ihtiyaç olarak depodan iş istasyonlarına kadar birden çok nakliye gerektiren bir imalat fabrikasında drone kullanmanın uygulanabilirliği analiz edilmektedir.

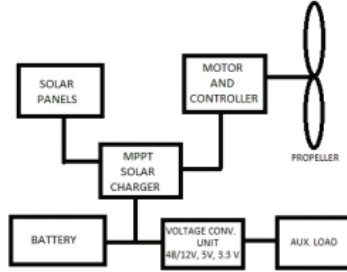


**Şekil 7:** Malzemelerin taşınması için bir drone modeli(Derpich et al., 2018).

Düşük maliyetli drone'lar göz önüne alındığında, düşük özerkliğe ve düşük yük kapasitesine sahip oldukları anlaşılmaktadır. Enerji tüketimini en aza indirmek için, problemin yapısına dayanan sezgisel bir yöntem kullanılarak çözülen üç boyutta matematiksel bir araç yönlendirme tipi modeli kullanılır. Drone'u yönlendirebilmek için tipik modellerden biri VRP (Araç Routing Problemi) ile yapılır. Ele alınan fikir, işleri her bir mesleğe iki turda göndermek için ortalamaları 2 saatten 30 dakikaya düşüren bir grup drone kullanmaktır. Prensip, her birinin bağımsız bir

araç olarak alınmasıyla farklı uçakların dağıtılması için araç yönlendirme VRP'si kullanılmıştır. Bununla birlikte, bu modelin burada nesnel fonksiyonun iki düzeye ayrılması, biri yatay düzlemdeki hareketlerin maliyetini temsil eden ve diğeri dikey hareketliliği temsil eden maliyetler ve bu modelle harcanan enerji maliyetleri yüksek olduğu için, VRP modelinin yeni bir formülasyonu uygulanmıştır (Derpich et al., 2018). Bir İHA platformu için düzen, mekanik ve yapısal tasarım optimizasyonunu tek bir iş akışında birleştirerek değişen sistem bileşenlerine, yük karakteristiğine ve karşılaşılan alana yanıt olarak platform özelliklerinin hızlı bir şekilde değişmesine olanak sağlayan, uyarlamalı bir tasarım ve optimizasyon stratejisinin koşullarını araştırmasına bakacak olursak; İHA, kompakt, yerden fırlatılan veya havaya yayılan bir mermiden çok rotorlu bir drone'a şekil değiştirebilir ve hedeflenen ortama hızlı bir şekilde enjekte edilmesini sağlar. İHA'nın tasarımının her yönünün, tüm çerçevenin amacı 3B baskısı ile birlikte optimizasyonunu sağlayan bir iş akışı oluşturarak, göreve özel uzaktan algılama platformları oluşturmaktır. Genel olarak, optimizasyon süreci tasarımların yaratılmasında başarılı olmuştur, ancak programın üretici bir tasarım oluşturabildiği için tasarım deneyiminin sorunsuz çalışmasını ve kullanıcı dostu olmasını sağlamak için birçok alanın hala üstünde durulması gerekmektedir (Henderson & Kuester, 2018). Drone'ların performanslarını arttırmanın ve daha hızlı bir drone tasarımı ve geliştirilmesine dayalı çok yönlülük pervaneleri performanslarını arttırmaktan geçmektedir. Çalışmalarda 3D baskıya dayalı bir pervane prototipinin tasarımı ve üretimi için hızlı bir işlem gösterilmektedir. Gerçekleştirilen pervane, performanslarını incelemek ve analiz etmek ve hangi alanların iyileştirilebileceğini anlamak için bir test tezgahında bir motora monte edilmiştir. İşlem, boyutsal spesifikasyonları karşılamak için gereken kanatların ve pervanenin göbeğinin modellenmesi ile başlar. Daha sonra sıvı ile bir değerlendirme

yapılır. Tek bir pervanenin kalıplama enjeksiyonuyla üretilmesi, kalıbın hazırlanmasından dolayı artan zaman ve maliyet gerektirecektir. Daha iyi bir pervane yapmak için geliştirilebilecek bazı ve değiştirilebilecek şeyler vardır. Xfoil simülasyonları, pervanede itmeyi en çok etkileyen kısmının ucuna yakın olan kısım olduğunu göstermiştir. Rüzgara karşı duruş açısını ve akorunu değiştirerek, daha büyük bir itme elde edilebilir ve bu, yazılım aracılığıyla kolayca gözlenir. Uygulanabilecek bir diğer önemli değişiklik, baskı için kullanılan malzemedir: aslında, pervane karbon (naylon ve karbon fiber karışımı) yapılmış olsaydı, daha kompakt ve daha hafif olurdu ve özellikle daha ince olurdu. Aşırı derecede bıçak pürüzlülüğü önemli ölçüde bir itme kaybına neden olabileceğinden, bu küçümsenmemelidir(Andria et al., 2018). Aero-Drone'lar, tüm dünyadaki Askeri organizasyonlar tarafından gözetim amacıyla kullanılmaktadır. Bunlar otomatik pilot özelliğine sahiptir ve sürekli uçmak için tasarlanmıştır. Bu uçuş veya uçaklara HALE İHA'ları (Yüksek İrtifa Uzun Dayanıklılık İnsansız Hava Araçları) denir. Bu makale, Güneş Enerjili HALE İHA'ları için tasarım, hesaplamalar ve elektrik sistemi seçimi için yinelemeli bir model önermektedir.



**Şekil 8:** Solar HALE İHA'da Elektrik Sisteminin Şematik Blok Şeması(Sairam & Balakannan, 2018).

Temel olarak, böyle bir drone'un tasarımı için iki farklı yaklaşım vardır. Ayrık ve Yinelemeli yaklaşım, gereken toplam güce dayalı olarak ilk bileşen grubunun (motor, pa-

neller, aküler vb.) seçilmesinden oluşur. Bu makale, ideal güneş ışınımı ve hava koşullarını göz önünde bulundurarak Güneş Enerjili İHA'lar için bir elektrik sistemi tasarlamak bu iki yöntemin özelliklerini birleştiren bir yöntem önermeyi amaçlamaktadır. Sürekli bir uçuş için, enerji dengesi önemli bir gerekliliktir. HALE İHA'nın tasarımında pek çok yaklaşım var, ancak mevcut teknolojinin üzerinde durduğu Güneş Enerjisi HALE İHA'ları için çok az şey var. Solar HALE İHA'ları çok yüksek dayanıklılık sağlar. Bunlar tamamen çevre dostudur ve gelecekte büyük bir kapsamı vardır. Bu makale, Solar HALE İHA tasarım konuları için bir teknik önermektedir. Makalenin temel amacı, Çok Disiplinli Optimizasyon tekniğini uygulayan yineleme sürecine ince ayar yapmaktır. Bu nedenle, önerilen teknik, HALE İHA'da Elektrik alt sistemi, Aerodinamik Alt Sistem vb. Gibi çeşitli disiplinlere odaklanır ve yinelemelerin ince ayarlarının yapılmasına ve varsayımların tahmin edilmesine yardımcı olan diğer disiplinlerde yer alan çeşitli kısıtlamaları dikkate alır(Sairam & Balakannan, 2018). Yüksek irtifa baz istasyonlarının yapımını tamamlamak için iletişim yükü taşıyan insansız hava araçları (UAV) olan drone küçük hücrelerin (DSC'ler) uygulanması, farklı senaryolarda ortaya çıkan kablosuz hizmetlerin sağlanmasında giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Parazitleri koordine etmek ve alçak irtifa platformundaki statik ultra-yoğun DSC'ler arasındaki genel ana yükü azaltmak için, çoklu giriş-çoklu çıkışlı (mMIMO) bir DSC küme ön kodlama ağı incelenmiştir. Enerji kısıtlı insansız hava üs istasyonunun (UABS) dezavantajı göz önüne alındığında, UABS'lerin iletim gücünü en aza indirmek için küme DSC'lerinde ön kodlama tasarlama problemi araştırılmıştır. Çok yoğun DSC'ler arasında yükü üst üste taşımayı azaltmak için Öklid mesafesini temel alan değiştirilmiş bir küme şeması önerilmiştir. Sistemdeki küme içi paraziti modifiye edilmiş sıfır zorlama yöntemiyle ortadan kaldırılır. Her küme için ön kodlama problemini çözmek



için dağıtılmış bir yinelemeli algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın yakınsaklığı doğrulanır ve çeşitli sayılar için farklı antenler için toplam güç tüketimi tartışılmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen algoritmanın mükemmel yakınsaklığını doğrular ve çeşitli sayıdaki antenlerin altındaki performans da tartışılır (Xu et al., 2018). Bir yük uçağı tarafından bir yük taşımak, uçuş sırasında da değiştirilebilen farklı konfigürasyonlarda yapılabilir. Uygulanan konfigürasyonu planlarken birçok husus vardır; en önemlisi, drone sayısının yükün ağırlığına uyması gerekir. Enerji, uçuş menzili üzerindeki etkisinden dolayı kritik bir faktördür. Literatürde sunulan önceki konfigürasyonlar arasında enerji verimliliğini azaltan taşıma kuvvetleri bulunmaktadır. Bunu önlemek için, bir dizi drone'u temel alan yenilikçi bir taşıma yapılandırması öneriyoruz. Her drone, aşağıdaki drone'a bir kablo ile, en düşük drone ise yüke bağlı. Çalışma, bir drone dizisi tarafından taşınan bir nokta yükü ile ilgilidir. Grubun hareket denklemlerinin gelişimini gösterir, Bir yük uçağı tarafından bir yük taşımak, uçuş sırasında da değiştirilebilen farklı konfigürasyonlarda yapılabilir. Drone'lardan oluşan grubun ortak bir yük taşıırken enerji verimliliği önemli bir konudur. Yükün ağırlığına göre drone sayısı ayarlanmalıdır. Enerji drone'ların menzili konusunda önemli bir etkidir. Bu yüzden yönünde bir veya daha fazla bileşeni olan, kuvvetler karşı koyar ve enerji israf edilir. Yükü daha verimli taşımak, uçuş menzilini uzatabilir veya daha küçük piller isteyebilir. Bu alandaki literatürde, enerji düşünceleri tarafından motive edilen yeni bir taşıma konsepti sunulmaktadır. Genel bir dizgenin ( $n$  uçağı ve bir yük) durumunun uzamsal hareketini tanımlayan hareket denklemlerini geliştirdikten sonra, kontrol konsepti tartışılmıştır. Yük tek bir uçağın taşıma çözümünü genişlettiğinden, kontrol konsepti ilk önce tek uçlu uçak modeli kullanılarak açıklanmaktadır. Her ne kadar aynı prensipler olsa da, drone dizisi çözümü göreceli olarak küçük drone'lar tarafından ağır bir yük taşınması-

na izin verir. Gelecekteki araştırmalar, enerji avantajının nicel bir incelemesi ile genel bir drone yükün mekânsal kontrolüne ayrılacaktır. İlgili diğer uzantılar, yükün ağırlığını, yüke etkiyen sürtünme kuvvetini ve yükün drone'lara bağlı olmadıklarını kütle merkezi göz önünde bulundurulmalıdır (Arogeti & Yehezkel, 2018). Drone oto pilotlarındaki ana bileşenlerden biri, gerçek zamanlı olarak drone durumlarını (açısal konum, açısal hız, doğrusal konum ve doğrusal hız) tahmin etmek için MEMS (Mikro Elektro Mekanik Sistemler) sensörünün ham çıktısını kullanan hava navigasyon sistemidir. Ancak, drone'un titreşimlerinin sensörlerden gelen ölçümler üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu yüzden oto pilot elektronik kartı için yeni bir yalıtım sistemi sunulan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda uçaktan otopilot elektronik kartına aktarılan titreşimi azaltmak için bir izolasyon sisteminin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Oto pilotlara iletilen titreşim seviyesini azaltmak için, titreşimleri hafifletebilecek bir emici eklenmiştir. Üç yönde verimli olacak şekilde yeni bir izolatör prototipi tasarlanmıştır. Titreşim kaynağına göre, izolatörün hedef performansları tanımlanır ve bu gereksinimi karşılayan geometri tasarımı önerilir. Yapılan simülasyonlara dayanarak, yeni prototipin otopilot elektronik panosuna iletilen titreşimleri etkili bir şekilde azaltabildiğini göstermiştir. Yeni prototipi deneysel olarak test etmek için, önerilene benzer bir süspansiyon tasarlandı. Sonuçlar, silikon desteklerinin titreşim seviyesini azaltmak için etkinliğini göstermiştir. Önerilen süspansiyon, drone'dan askıya alınan kameralar gibi diğer uygulamalara da geliştirilebilir ve genişletilebilir (Kedadouche et al., 2018). Açık havada uçan İHA'ların çoğu şu anda GPS tarafından yönlendirilmektedir. İç mekân İHA'larının özerk oluşum uçuşu sahnesine dayanarak, literatürde UWB iç mekân konumlandırma teknolojisine dayanan bir nano-quadcopter oluşum uçuş sistemi tasarlanarak uygulanmıştır. Sistem, Ultra geniş bant teknolojisine sahip iç ve dış mekan küçük alanlar

için üç boyutlu bir konumlandırma sistemi oluşturur. Ultra geniş bant ile iç mekân konumlandırmanın bazı önemli avantajları vardır: Doğruluk 10-30 cm'dir; bu, işaret lambaları (1-3 metre) veya Wi-Fi (5-15 metre) ile çalışmaktan çok daha iyidir. Güç tüketimi düşüktür, bu da pil değiştirme gereksinimini azaltır ve sistemin kullanım ömrünü azaltır. Ayrıca, iç mekân oluşum uçuşları için, daha küçük dörtgenler daha uygun ve çekicidir. Nano-quadcopters, çevikliği, basitliği, ucuzluğu ve geniş uygulama yelpazesi nedeniyle popüler bir robot platformdur. Bu nedenle, uçuş elde etmek için bir platform olarak bir nano savaş uçağı tasarlar. Nano- quadcopter, UWB iç mekân konumlandırma sisteminden konum bilgilerini alabilir ve oluşum uçuş kontrol komut dosyasının kontrolü altında özerk olarak uçabilir. Abartı olmadan sistemin büyük referans önemine sahip olduğu söylenebilir(Shi, Li, Lin, & Huang, 2018). Drone'lardaki enerji sorununa bir çare olarak, radyasyon dışı kablosuz güç aktarımı için hafif ve enerji açısından verimli çözümler sunan multi-MHz endüktif güç aktarma (IPT) sisteminin tasarımı önerilebilir.



(a) Drone'un bobinle (b)Trans. bobin (c)Alıcı Bobin kaplanması

**Şekil 9:** Hazır bir drone'un çerçevesi bakır bobinle kaplanması, bataryası, düzeltici kart ve dc-dc dönüştürücü(Arteaga et al., 2018).

Bir IPT vericisinin yakınında serbestçe gezebilen bir drone'un pille çalıştırılmasıyla bir konsept kanıtı geliştirilmiştir. Ele alınan en zorlu unsur, değişken güç talebine ve çok değişken birleştirme faktörüne izin verirken kesintisiz bir güç akışı sağlayan komple sistem seviyesi tasarımıdır. Önerilen çözüm, drone'un aerodinamiklerini bozmadan yeterli kaplin sağlayabilen hafif hava çekirdekli bobinlerin

tasarımını ve sistemin her iki ucunda da yeni geliştirilen rezonans güç dönüştürücülerini tasarlamayı içerir. Transmitterde, sabit akım genliğine sahip bir transmisyon bobini çalıştırabilen ve tüm çalışma aralığı için sıfır voltaj anahartlama (ZVS) elde edebilen yükten bağımsız bir Sınıf EF invertör geliştirilmiştir; alıcı uçta, bağlantı ve güç talebinde büyük değişiklikler için ayarlamaya izin veren melez bir Sınıf E düzeltici kullanılmıştır. Demon için drone'un hareket aralığı, verici bobininin merkezi ile drone'un dibi arasına bağlanmış 7,5 cm'lik bir naylon ip ipi ile sınırlandırılır. Güç yeteneğindeki, uçtan uca verimlilik ve değişken kuplaj toleransındaki gelişmeler, örneğin, İHA'lar için kablosuz şarj olan çeşitli uygulamalarda kablosuz şarj için multi-MHz IPT sistemlerinin uygulanmasının uygulanabilirliğini önemli ölçüde artırmıştır. İHA'lar için geniş bir uygulama yelpazesi göz önüne alındığında, bir drone'u batarya olmadan kablosuz olarak çalıştırabilen bir demo geliştirilmiştir. Pilsiz kablosuz bir drone'u kablosuz olarak çalıştırabilen bir IPT sisteminin geliştirilmesi, büyük ölçüde hareket serbestliği ile çalışırken etkin endüktif güç aktarımı olduğunu göstermektedir. İnsanların maruz kaldığı manyetik alan maruziyetinin maksimum değerden bin kat daha da düşük olduğunu göstermektedir(Arteaga et al., 2018).

## ARAŞTIRMA GÜNDEMİNİN ÖNEMİ

Yukarıda ana hatları drone tarihçesi ve son yıllarda yapılan drone dizaynı hakkında bilgi verilmiştir. Bu araştırma drone'larla ilgili ve drone dizaynında karşılaşılan sorunlar ile ilgili literatür hakkında bilgi vermek ve sorunların bazılarını belirlemeye yönelik ilk girişim olarak görülmelidir. Gelecekteki araştırmaların daha önce gözden geçirilmiş literatürü önemli şekillerde ilerletebileceğine inanıyoruz. Bu araştırmayla drone ile ilgili problemlerin başında güvenlik ve kontrolsüz kullanımın yaygınlaşması gelmektedir. İki türden güvenlikten bahsedebiliriz. Bun-

lardan birincisi yetkin olmayan kişilerce yasaklı bölgelerde uçurulabilmeleri veya teröristlerin eline geçerek bombalama gibi terörist eylemlerde kullanılabilmeleri olarak düşünülebilir.

Bir diğer güvenlik probleminde ise drone'lar üzerinde veri aktarımında verilerin özel bir kodla şifrelenmez ise kontrol veya verilerin üçüncü kişilerin eline geçebileceğidir. Bir diğer problem olarak ağır yüklerin taşınabilmesi ve dengeli yük taşınması olarak görülebilir. Bu konudaki literatürde birden fazla drone'un beraber hareketle daha ağır yükleri taşıması önerilmektedir. Aynı zamanda drone uçuş esnasında uçuşuna zıt birçok kuvvet bileşenlerini gibi azaltarak uçuş menzilini artırmak veya daha az enerjiyle daha fazla yük taşınması sağlanmak üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Drone'larla ilgili bir diğer önemli araştırma konusu ise hiç şüphesiz enerjidir. Enerji drone'ların yük taşımalarını ve uçuş dayanımını direk etkileyen bir faktör olduğu için drone dizaynı üzerindeki etkisi oldukça fazladır. Bu problem üzerine yapılan araştırmaları da birkaç farklı yönden değinebiliriz. İlk olarak drone'larda kullanılan pillerin teknolojisinin geliştirilerek daha hafif ve daha çok enerji depolayabilen verimli piller üretmektir. Tabiki bu tek başına yeterli olmadığı için bu pilleri drone'un uçuşu esnasında mutlaka bir başka enerji dönüşümüyle desteklenmesi gerekmektedir. Bu da günümüzde en uygun olan yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili günümüzde drone'larda kullanım dışında da bir çok araştırma ve gelişmeler kaydeden literatür çalışmaları mevcuttur (Ağaçayak et al., 2018; Ağaçayak et al., 2017). Bunların drone'lara uygulanması literatürde tartışılmaktadır. Özellikle drone'larda güneş enerjisiyle ilgili çalışmalar varken tek bir kaynak yerine hibrit sistemle güneş, rüzgar, termoelektrik vs. drone'u besleyen pillere enerji kaynağı sağlanabileceği düşünül-

mektedir. Bir diğer enerjiyle ilgili literatür konusu radyasyon dışı kablosuz güç aktarımı için hafif ve enerji açısından verimli çözümler sunan yüksek MHz'li endüktif güç aktarma sistem tasarımlarıdır. Böylece pillerden tamamen kurtulabilir ve drone yükünü azaltabiliriz. Tabi bunda günümüzde drone uçuş alanını sınırlayan bir dezavantajı bulunmaktadır.

Bu, araştırma gündemi ile droen dizayn hakkında literatürün güncelliğini ve önemini güçlü bir şekilde yinelemektedir. Daha genel olarak söylemek gerekirse, drone'ların yapımı, işleyişi ve etkilerini göz önüne sunarken gelecekte yapılacak çalışmalara da drone problemlerinin yeniden kavramsallaştırılmasına büyük ölçüde katkıda bulunabilir.

## KAYNAKÇA

- [1] Ağaçayak, A.C., Terzioğlu, 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., Terzio lu, H., Ne eli, S., Yalçın G., (2018). "Small Power Wind Turbine Design," *Acad. Studies in Eng., Gece Publishing*, pp. 121-130.
- [3] Ağaçayak, A.C., Terzio lu, H.,  imen, H., Ne eli, S., Yalçın 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., Terzio lu, H., Ne eli, S., Yalçın G., (2018). "Mathematical Modelling of Thermoelectric Generator by Regression Analysis ," *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'18)*. Selçuk University, Vol:3, pp.523-527.
- [5] Ağaçayak, A.C.,  imen, H., Ne eli, S., Yalçın G., (2017). "Termoelektrik Jenerat r ile Elektrik  retimi", *In UMYOS 6th International Vocational School Symp.*, Vol:2, pp.541-49. Saray Bosna.
- [6] Ağaçayak, A.C., Terzio lu, H., Ne eli, S., Yalçın G., (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] Andria, G., Di Nisio, A., Lanzolla, A., Spadevecchia, M., Pascazio, G., Antonacci, F., & Sorrentino, G. (2018). *Design and Performance Evaluation of Drone Propellers*. Paper presented at the 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace).
- [8] Arogeti, S., & Yehezkel, D. (2018). *String of Drones for Load Carrying*. Paper presented at the 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS).

- [9] Arteaga, J. M., Aldhafer, S., Kkelis, G., Kwan, C., Yates, D. C., & Mitcheson, P. D. (2018). Dynamic capabilities of multi-MHz inductive power transfer systems demonstrated with batteryless drones. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(6), 5093-5104.
- [10] Chang, X., et al. (2018). A surveillance system for drone localization and tracking using acoustic arrays. 2018 IEEE 10th Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop (SAM), IEEE.
- [11] Cheon, J. H., Han, K., Hong, S.-M., Kim, H. J., Kim, J., Kim, S., . . . Song, Y. (2018). Toward a secure drone system: Flying with real-time homomorphic authenticated encryption. *IEEE Access*, 6, 24325-24339.
- [12] Churyumov, G., Tokarev, V., Tkachov, V., & Partyka, S. (2018). *Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful Electromagnetic Field*. Paper presented at the 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP).
- [13] Coşkun İsmail, Terzioğlu Hakan (2007), "Hız Performans Eğrisi Kullanılarak Kazanç PID Parametrelerinin Belirlenmesi", *Journal of Technical-Online*, 6(3), 180-205.
- [14] Coşkun İsmail, Terzioğlu Hakan (2011), "Hız Performans Eğrisi Kullanılarak PID Parametrelerinin Gerçek Zamanda Belirlenmesi", *Journal of Technical-Online*, 10(2), 169-183.
- [15] Coşkun İsmail, Terzioğlu Hakan (2009), "Gerçek Zamanda Değişken Parametrelili PID Hız Kontrol", IV. International Advanced Technologies Symposium (IATS'xx09) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- [16] Çimen, H., Ağaçyaka, A. C., Neşeli, S., Yalçın, 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.



- [17] de Quevedo, Á. D., et al. (2018). Drone Detection With X-Band Ubiquitous Radar. 2018 19th International Radar Symposium (IRS), IEEE.
- [18] Derpich, I., Miranda, D., & Sepulveda, J. (2018). *Using drones in a warehouse with minimum energy consumption*. Paper presented at the 2018 7th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC).
- [19] Devos, A., et al. (2018). Development of autonomous drones for adaptive obstacle avoidance in real world environments. 2018 21st Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), IEEE.
- [20] Dey, V., et al. (2018). Security vulnerabilities of unmanned aerial vehicles and countermeasures: An experimental study. 2018 31st International Conference on VLSI Design and 2018 17th International Conference on Embedded Systems (VLSID), IEEE.  
  
Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8477309>
- [21] Glick, T. and S. Arogeti (2018). Control of Tethered Drones with state and input Constraints-a Unified Model Approach. 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), IEEE.
- [22] Hell, M., Bolam, R. C., Vagapov, Y., & Anuchin, A. *Design of a portable drone for educational purposes*. Paper presented at the 2018 25th International Workshop on Electric Drives: Optimization in Control of Electric Drives (IWED).
- [23] Henderson, L., & Kuester, F. (2018). *Adaptive design and optimization of a shape-changing drone*. Paper presented at the 2018 IEEE Aerospace Conference.
- [24] Hu, J., & Lanzon, A. (2018). *Cooperative Control of Innovative Tri-Rotor Drones Using Robust Feedback Linearization*. Paper presented at the 2018 UKACC 12th International Conference on Control (CONTROL).
- [25] Huang, C., Gao, F., Pan, J., Yang, Z., Qiu, W., Chen, P., . . . Cheng, K.-T. T. (2018). *Act: An autonomous drone cine-*

- matography system for action scenes*. Paper presented at the 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA).
- [26] Janousek, J., & Marcon, P. (2018). *Precision landing options in unmanned aerial vehicles*. Paper presented at the 2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIP-hDW).
- [27] Kaleem, Z. and M. H. Rehmani (2018). "Amateur drone monitoring: State-of-the-art architectures, key enabling technologies, and future research directions." *IEEE Wireless Communications* 25(2): 150-159.
- [28] Kazan Fatih Alpaslan, Sungur Cemil, Terzioğlu Hakan (2015), "The Extension of Battery Lives Used in a Solar Irrigation System with Regards to Charge Discharge Numbers", *Applied Mechanics and Materials*, 752753, 988-994.
- [29] Kedadouche, M., Yulan, S., Liu, Z., Thomas, M., Charland-Arcand, G., & Beck, A. (2018). *Design of a vibration isolator for the inertial navigation system of an autopilot dedicated to the operation of light drones*. Paper presented at the 2018 9th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE).
- [30] Khan, M., Heurtefeux, K., Mohamed, A., Harras, K. A., & Hassan, M. M. (2017). Mobile target coverage and tracking on drone-be-gone uav cyber-physical testbed. *IEEE Systems Journal*, 12(4), 3485-3496.
- [31] Klauser, F., & Pedrozo, S. (2015). Power and space in the drone age: a literature review and politico-geographical research agenda. *Geographica Helvetica*, 70(4), 285-293.
- [32] Kim, D., & Oh, P. Y. (2018). *Lab automation drones for mobile manipulation in high throughput systems*. Paper presented at the 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE).
- [33] Kim, D. and P. Y. Oh (2018). Towards Micro-Plate Delivery using a re-sized Lab Automation Drone in High Throu-

- ghput Systems. 2018 15th International Conference on Ubiquitous Robots (UR), IEEE.
- [34] Li, C., Li, Y., Tian, Z., Weekes, S. L., & Pahlavan, K. (2018). *Design and performance evaluation of a localization system to locate unwanted drones by using wireless signals*. Paper presented at the 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE).
- [35] Liu, T., Hojjati, A., Bates, A., & Nahrstedt, K. (2018). *Alidrone: Enabling trustworthy proof-of-alibi for commercial drone compliance*. Paper presented at the 2018 IEEE 38th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS).
- [36] Meng, L., et al. (2018). "Underwater-drone with panoramic camera for automatic fish recognition based on deep learning." *IEEE Access* 6: 17880-17886.
- [37] Misra, P., et al. (2018). "Aerial drones with location-sensitive ears." *IEEE Communications Magazine* 56(7): 154-160.
- [38] Mogili, U. R., & Deepak, B. B. V. L. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia computer science*, 133, 502-509.
- [39] Neşeli, S., Terzioğlu, H., Ağaçayak, A.C., Yalçın, G., (2018). "Düşük Hızlı Hava Araçları için Ön Kanatçık Tasarımı ve Akış Analizi", *International Science and Academic Congress '18 (INSAC'18)*. Selçuk University, Vol:3, pp.709-721
- [40] Neşeli, S., Terzioğlu, H., Ağaçayak, A.C., Yalçın, G., (2018). "İnsansız Hava Taşıtları için Rüzgar Tüneli Tasarımı ve Hava Akış Analizi", *International Science and Academic Congress '18 (INSAC'18)*. Selçuk University, Vol:3, pp.689-708
- [41] Neşeli, S., Terzioğlu, H., Ağaçayak, A.C., Yalçın, G., (2017). "Electrical Power Generation by Thermoelectric Generator Using Geothermal energy and The Low-Power Dc-Dc Buck\_Boost Converter Application", *In Grad. Sch. of Natur. and App. Scien.*, Selçuk University.

- [42] Nguyen, H.-N., Park, S., Park, J., & Lee, D. (2018). A novel robotic platform for aerial manipulation using quadrotors as rotating thrust generators. *IEEE Transactions on Robotics*, 34(2), 353-369.
- [43] Park, S., et al. (2018). "ODAR: Aerial Manipulation Platform Enabling Omnidirectional Wrench Generation." *IEEE/ASME Transactions on mechatronics* 23(4): 1907-1918.
- [44] Pokorny, J., et al. (2018). "Concept design and performance evaluation of UAV-based backhaul link with antenna steering." *Journal of Communications and Networks* 20(5): 473-483.
- [45] Rzewuski, S., et al. (2018). Drone RCS estimation using simple experimental measurement in the WIFI bands. 2018 22nd International Microwave and Radar Conference (MIKON), IEEE.
- [46] Saha, H. N., Das, N. K., Pal, S. K., Basu, S., Auddy, S., Dey, R., . . . Mitra, D. (2018). *A cloud based autonomous multipurpose system with self-communicating bots and swarm of drones*. Paper presented at the 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC).
- [47] Sacco, G., et al. (2018). A MISO radar system for drone localization. 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), IEEE.
- [48] Sairam, S., & Balakannan, S. (2018). *Design Considerations, Optimization and Selection of Electrical System for Solar Electric High Altitude Long Endurance Unmanned Aerial Vehicles (HALE UAVs) with Proposed 'Approximated Iterative Method', a Multidisciplinary Optimization Technique*. Paper presented at the 2018 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS).
- [49] Shi, W., Li, J., Xu, W., Zhou, H., Zhang, N., Zhang, S., & Shen, X. (2018). Multiple drone-cell deployment analyses and optimization in drone assisted radio access networks. *IEEE Access*, 6, 12518-12529.

- [50] Shi, Y., et al. (2018). Building UAV-based Testbeds for Autonomous Mobility and Beamforming Experimentation. 2018 IEEE International Conference on Sensing, Communication and Networking (SECON Workshops), IEEE.
- [51] Shi, Z., Li, H., Lin, H., & Huang, L. (2018). *A Nano-Quadcopter Formation Flight System Based on UWB Indoor Positioning Technology*. Paper presented at the 2018 13th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE).
- [52] Shin, Y. T., & Teh, Y.-K. (2018). *Design analysis and considerations of power efficient electronic speed controller for small-scale quadcopter unmanned aerial vehicle*. Paper presented at the 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC).
- [53] Solomitckii, D., Gapeyenko, M., Semkin, V., Andreev, S., & Koucheryavy, Y. (2018). Technologies for efficient amateur drone detection in 5G millimeter-wave cellular infrastructure. *IEEE Communications Magazine*, 56(1), 43-50.
- [54] Tang, L., & Shao, G. (2015). Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, 26(4), 791-797.
- [55] Terzioğlu, H., Neşeli, S., Yalçın G., (2018). “Termoelektrik Jeneratörler ve Kullanım Alanlarına Genel Bir Bakış”, *Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar, Gece Kitaplığı*, pp. 149-160.
- [56] Terzioğlu Hakan, Kazan Fatih Alpaslan, Selek Murat (2013), ”The Use of dsPIC in the Identification of Inertia Moment and Friction Coefficient of PMS and DC Motors”, *Applied Mechanics and Materials*, 446447, 1197-1201.
- [57] Terzioğlu Hakan, Herdem Saadetdin, Bal Güngör (2015), ”The Designing of Data Acquisition Card through PIC18F4550 and an Interface Study”, *Applied Mechanics and Materials*, 752753, 1191-1197.

- [58] Xu, Z., Li, L., Xu, H., Gao, A., Li, X., Chen, W., & Han, Z. (2018). *Precoding Design for Drone Small Cells Cluster Network with Massive MIMO: A Game Theoretical Approach*. Paper presented at the 2018 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC).
- [59] Yamaguchi, T., & Takaba, K. (2018). *Remote Tracking Control of a Quadrotor-Type Drone Subject to Uncertain Time Delays*. Paper presented at the 2018 57th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE).



# ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ İLE AŞINMAYA DİRENÇLİ YÜZEYLERİN OLUŞTURULMASI

Hülya DURMUŞ<sup>1</sup>, Canser GÜL<sup>2</sup>, Nilay ÇÖMEZ<sup>3</sup>



- 
- 1 Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa/TÜRKİYE.,  
hulya.durmus@cbu.edu.tr
  - 2 Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa/TÜRKİYE.  
canser.gul@cbu.edu.tr
  - 3 Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa/TÜRKİYE.  
nilay.comez@cbu.edu.tr





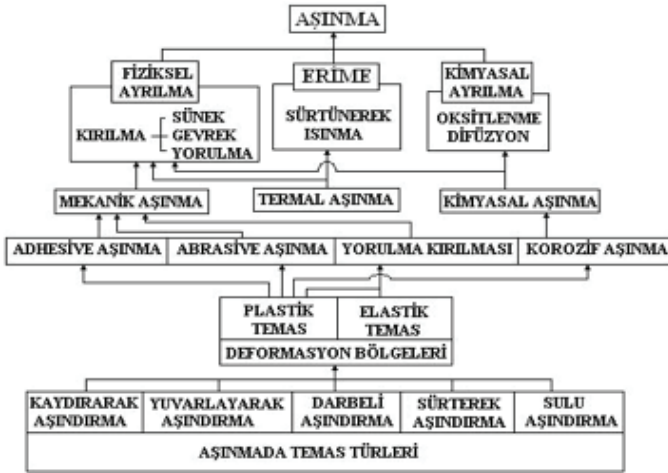


# ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ İLE AŞINMAYA DİRENÇLİ YÜZEYLERİN OLUŞTURULMASI

Hülya DURMUŞ<sup>1</sup>, Canser GÜL<sup>2</sup>, Nilay ÇÖMEZ<sup>3</sup>

## 1. Aşınma

Aşınma, bir yüzey ile sürtünmeye bağlı olarak başka bir yüzeyden malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Çoğu makine, farklı tiplerdeki aşınma nedeniyle dayanımlarını ve çalışma sırasındaki güvenilirliklerini kaybederler (Şekil 1). Bu nedenle, aşınma kontrolü geleceğin ileri ve güvenilir teknolojisi için güçlü bir ihtiyaç haline gelmiştir [1].

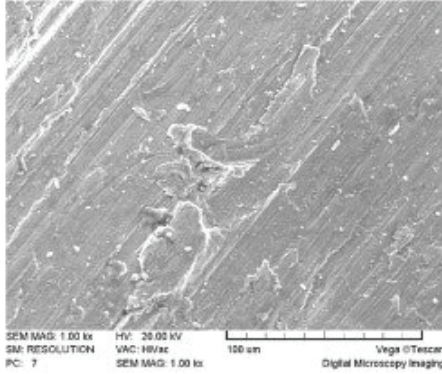


Şekil 1. Aşınmayı oluşturan anahtar kelimeler ve tanımlanmaları [1].

- 1 Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa/TÜRKİYE., hulya.durmus@cbu.edu.tr
- 2 Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa/TÜRKİYE. canser.gul@cbu.edu.tr
- 3 Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa/TÜRKİYE. nilay.comez@cbu.edu.tr

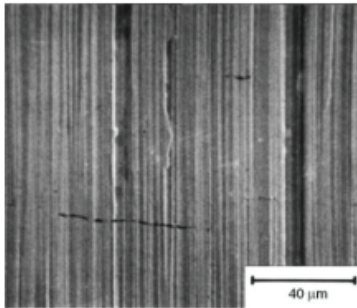
Şekil 1’ de görüldüğü gibi aşınma tipleri kısaca açıklanırsa;

Adhesiv aşınma, plastik temas altındaki iki yüzeyin temas ara yüzeyinde nispi kayma direnci için yeterli yapışkan gücüne sahip olmasıyla, geniş plastik deformasyonunun sıkıştırma ve kırılma altında temas bölgesi içinde ortaya çıkması sonucu aşınma meydana gelmektedir [2].



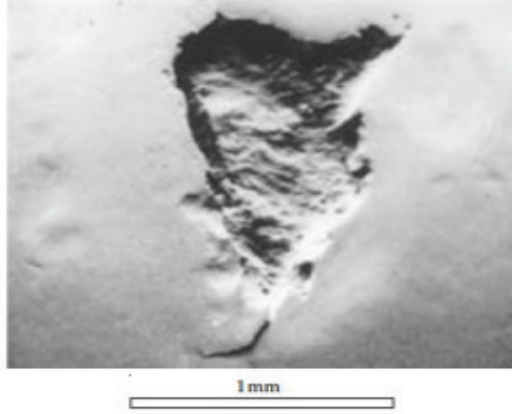
Şekil 2. Adhesiv aşınma SEM görüntüsü [3]

Abrasiv aşınma; iki yüzey arasındaki temas ara yüzeyi, meyilli veya eğri bir temasa sahipse, aşınma bu kayma içersinde yer alarak meydana gelmektedir (Şekil 3) [2].



Şekil 3. Abrasiv aşınma görüntüsü [4]

Yorulma Aşınması, aşınan parçalarda meydana gelen tekrarlı temasların belirli bir miktarının olduğu yerlerinde meydana gelen bir aşınma tipidir (Şekil 4) [2].



**Şekil 4.** Yorulma aşınma görüntüsü [4]

Korozif aşınma; iki metalik malzemede kayma olayı oksidatif bir ortamda gerçekleştiğinde meydana gelir (Şekil 5). Kuru kayma sırasında, normal ortamdaki oksijen veya ortamda bulunan diğer gazlar katı yüzeyle reaksiyona girmektedir. Aşınma önleyici katkı maddelerinin veya diğer kimyasal ajanların aşırı varlığı da korozif aşınmaya neden olabilmektedir. Yüksek sıcaklıkta, oksijen kayan yüzeyle etkileşime girebilir ve bunun sonucunda da oksit oluşturabilir [5].



**Şekil 5.** Korozif aşınma görüntüsü [4]

Bu tip aşınmaların, makine parçalarının çalışma sırasında oluşumunu engellemek ve parçanın aşınmadan uzun süre çalışmasını sağlamak amacıyla kaynak teknolojisi kullanılarak kaplamalar yapılmaktadır.

## 2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ

Kaynak, metalik ya da metalik olmayan iki veya daha fazla parçanın ısı ya da basınç veya her iki etkinin aynı anda kullanıldığı, böylece parçalar arasında bölgesel birleşme ile malzeme sürekliliğinin sağlandığı önemli bir uygulamadır. Kaynak; plazma fiziği, ısı akışı, sıvı akışı, ısı ve metal transferi gibi farklı durumları içeren bir enerji işlemidir. Kaynakta, ana malzemeye aynı ya da o malzemeye yakın bir ergime sıcaklığına sahip dolgu metali kullanılabilmektedir. Bazı durumlarda dolgu metalinin kullanımına ihtiyaç duyulmaz [6].

Aşınan parçalar fonksiyonlarını gerçekleştiremediğinden dolayı kaynakla yüzey dolgu yapılmalı ya da parça değiştirilmelidir. Parçaları orijinal ölçülerine getirirken dikkat edilmesi gereken en önemli konu aşınmanın neden kaynaklandığını bilmektir. Metaller sadece bir yolla aşınırsa sert dolgu malzemelerini seçmek daha kolaydır. Ancak metal malzemeler genel olarak aynı sırada iki veya daha fazla aşınma faktörünün etkisinde kalırlar. Bu da sert dolgu alaşımının tercihini daha karışık hale getirir. Sert dolgu alaşımının çalışma şartlarında görülen her türlü aşınma etkisine dayanım belirtecek şekilde oluşturulmalıdır. Dikkat edilmesi gereken ilk husus birincil aşınma sebebidir. Daha sonra ise ikincil aşınma sebebi üzerinde durulmalıdır [7].

Teknolojik olarak kaynak, basınç ve ergitme kaynağı olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Basınç kaynağında malzemelerin birleştirme yüzeylerine ısı ile birlikte basınç uygulanır. Gereken ısı, ocak, elektrik direnci veya sürtünme ile sağlanmaktadır. Ergitme kaynağında ise, birleştirme

bölgelerinin ve ilave metalin ısı etkisi ile ergitilmesi suretiyle malzemeler birleştirilmektedir. Ergitme kaynağı ile birleştirilen malzemelerin kaynak bölgesi, kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) den oluşur [8].

Bu kitap bölümünde, ergitme kaynak yöntemlerinden biri olan ark kaynak yöntemleri kullanılarak aşınmaya dayanıklı yüzey oluşturma ile ilgili bilgiler verilmiştir.

## **2.1. Ark Kaynak Yöntemleri**

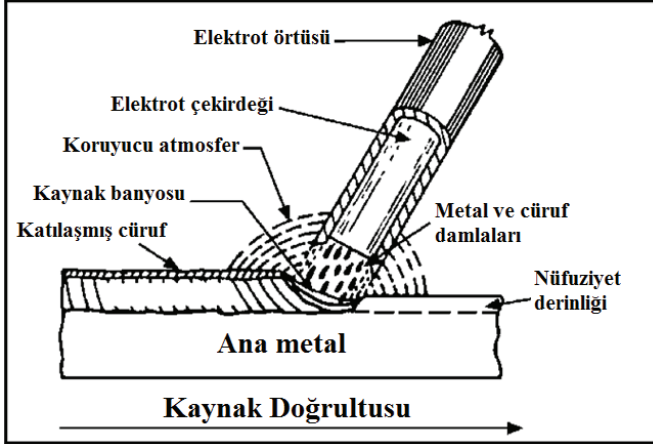
Ark kaynağıyla sert dolgu işlemi, korumalı metal ark, gaz metal ark, gaz tungsten ark, tozaltı ark, plazma ark ve diğer işlemlerle yapılabilir [6].

Bu işlemlerin herhangi biri için kullanılan teknikler, birleştirme için kaynakla aynıdır. Seyrelme faktörü dikkatle değerlendirilmelidir çünkü ilave metalin bileşimi ana metalle farklılık göstermektedir. Özellikle iki metal arasında büyük farklılıklar olması durumunda, dolgu metalinin ana metalle en az miktarda seyrelmesi önemli bir hedeftir. Az seyrelme, kaplanan metalin istenen karakteristiklerini sağladığı anlamına gelmektedir. Yüksek ergime noktasına sahip alaşımlar kullanıldığında, kaynak metalinin seyrelmesi genellikle %15'in oldukça altında tutulur. Ark kaynağıyla sert dolgu kaplamanın yüksek hızla kaplamayı, işlem esnekliğini ve mekanizasyon kolaylığını içeren pek çok avantajı mevcuttur [6].

### **2.1.1. Elektrik ark kaynağı**

Korumalı metal ark kaynağı, metallerin birleşmesinin elektrik arkından gelen ısıyla sağlandığı bir tür ark kaynağı işlemidir. Elektrik arkı, örtülü elektrot ucu ile kaplanacak olan ana malzemenin yüzeyi arasında gerçekleşir (Şekil 6). Ark doğru akım ya da alternatif akımdan sağlanabilir. Ark ve kaynak banyosu elektrot örtüsünden oluşan cüruflla ve

örtü malzemelerinin ayrışmasından yayılan gazlarla korunur. Seyrelme kaynak koşullarına bağlı olarak %15 ila %30 arasında olabilir. Bu yöntemle düşük ve yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar gibi geniş yelpazedeki alaşımların kaplaması yapılabilir [6].



Şekil 6. Elektrik ark kaynağının şematik gösterimi [6]

Nagentrau ve arkadaşları (2019), digester bıçağının üzerine örtülü tel elektrod kullanılarak tungsten karbid (WC) içeren elektrik ark kaynağı ile sert dolgu oluşturulmuştur. Daha sonra kaplamalı çelikte ön ısıtma işleminin mikroyapısı üzerindeki etkilerini incelemiştirler. Karbonlu çelik bıçak, üretim prosesinde sülfürik asidi ilmenit cevherini karıştırmak için bir tankın içinde bulunur. Karbon çelik bıçak aşındırıcı asidik bir ortama maruz kaldığından aşınma direncini arttırmak için karbon çelik bıçağın yüzeyinde WC sert dolgu yapılıdır. Ana malzemeye uygulanan ön ısıtma işleminin mikroyapı, kaplama sertliği ve temel bileşim üzerindeki etkisinin araştırılması bu çalışmanın odak noktasıdır. Ana malzeme ön ısıtması sayesinde, tüm kaplama bölgesinde daha büyük karbür büyümesini ve yeterli ısı enerjisinin neden olduğu karbür olmayan bölgede daha küçük karbür büyümesini başlatmaktadır. Böylece,

kaplama bölgesinde karbürlerin düzgün dağılımı sayesinde kaplamanın sertliği artırılmış olur [9].

Oo ve arkadaşları (2018), farklı akımlar (500 ve 600 A) ve kutuplar (AC ve DC) kullanılarak sert dolgu kaplanmış numunelerin aşınma kütle kaybı ile sertlik, mikroyapı ve seyreltme arasındaki korelasyonu incelemiştir. Örtülü elektrot kaynağı için martensitik sert dolgu elektrotu ve östenitik tampon elektrot kullanılarak dört farklı kaynak koşulu gerçekleştirilmiştir. Tek katmanlı tampon üzerine tek katmanlı sert dolgu uygulanmıştır. Mikroyapı ve sertlik testleri uygulanmıştır. Numunelerin aşınma sırasındaki kütle kaybını kaydetmek için ASTM G65 prosedür A'ya göre bir kuru-kum-lastik tekerlek aşınma testi yapılmıştır. Bu çalışmadaki, Daha yüksek akım ve DC + polaritesinin kullanılması, en derin seyreltme ve en düşük sertlik nedeniyle en yüksek kütle kaybına neden olmuştur. Seyrelme durumu, sertliği ve sert dolgunun mikro yapısını etkilemektedir. Aşınma testi sonucunda en düşük kütle kaybı, en sık seyreltme ve en yüksek sertlik, daha düşük akım ve AC ile kaynaklı numunede elde edilmiştir [10].

Falat ve arkadaşları (2019), 16MnCr5 düşük karbonlu ferritik-perlitik çelik üzerinde beş farklı alaşım kullanılarak sertliği yüksek kaplamaların laboratuvar test koşullarında aşındırıcı aşınma direnci açısından incelenmiştir. “E520 RB”, “RD 571”, “LNM 420FM”, “E DUR 600” ve “Weartrode 62” olarak seçilen sert dolgu malzemeleri, 10 mm kalınlığındaki çelik plaka numunelerinin yüzeylerine ayrı ayrı yapılmıştır. Çalışılan sert yüzeyler, birkaç farklı kaynak yöntemi ve endüstriyel üreticileri tarafından önerilen işlem parametreleri kullanılarak üretildi. Bu karşılaştırmalı çalışmada, incelenen sert yüzeylerin aşınma testlerinden elde edilen sonuçlar, mikroyapıları, sertlikleri ve aşınma mekanizması özellikleriyle ilişkili olarak analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Tek tek sert dolgu malzemelerinin mikro yapıdaki ve kimyasal bileşimindeki büyük çeşitlili-



ğe bakılmaksızın, sonuçlar, aşınma direncinin iyileştirilmesi için geçerli faktörün kullanılan sert dolgu malzemesinin toplam karbon içeriği olduğunu açıkça göstermiştir. Böylece, “E520 RB” sert yüzeyinin, uygun sertliği ve faydalı “ledeburit tipi” ötektik mikroyapısı sayesinde en yüksek aşınma direncini gösterdiği gösterilmiştir [11].

Srisuwan ve arkadaşlarının çalışmasında (2019), A572 bazlı yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı çeliklerin elektrik ark kaynağı ile sert dolgu uygulamışlardır. Ark kaynak işleminde, tampon ve sert kaplama tabakaları sırasıyla nikel-krom elektrot ve krom karbür elektrot ile A572 bazlı bir malzemeye kaynak ile kaplanmıştır. Ana metal ve elektrot malzemeleri, kaynakta aşırı gerilimi azaltmak için kaynaklama sırasında ısıtma / soğutma işlemi kontrol edilmiştir. Kaynaklanmış numunelerin sertliği, darbe direnci ve aşınma özelliklerinin değerlendirilmesi için test edilmiştir. Sonuç olarak tampon kullanılarak sert dolgu yapılmış numunelerde gerginlik azaltılmış olduğu ve aşınmaya karşı dirençli numuneler olduğu vurgulanmıştır [12].

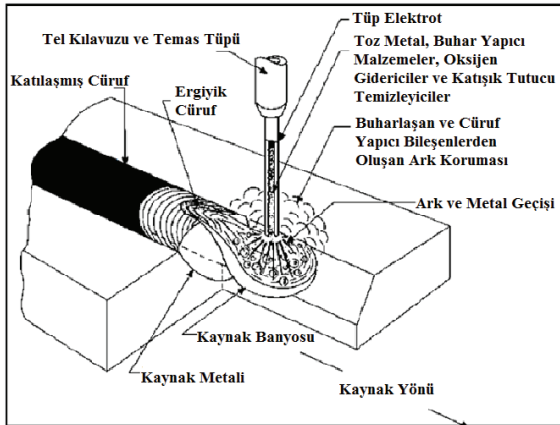
Gençer ve arkadaşları, çimento ham maddesi farinin ve çimento ara maddesi klinkerin çimento üretimi esnasında kullanılan öğütme değirmenlerinde bulunan sert dolgu ile kaplanmış aşınma plakalarının, abrasif aşınma davranışlarına olan etkisini incelemiştir. Kaplamaların mikrovickers sertlik ölçümleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. EU355JO çelik numunelerin yüzeyleri örtülü elektrot kaynak yöntemi ile 5 farklı sert dolgu elektrotu kullanılarak kaplanmıştır. Malzemelerin yüksek sertliğe sahip olması, aşınma dirençlerinin de yüksek olacağını göstereceğini vurgulamışlardır. Mikroyapı farklılıkları durumu değiştirebileceği de unutulmamalıdır. Bu nedenle sert dolgu alaşımlarının abrasif aşınma dirençlerini belirlerken hem matrisin hem de matris içindeki sert partiküllerin sertliğiyle, bu sert partiküllerin matris içindeki boyutları, morfolojileri ve kimyasal kompozisyonları birlikte ilişkilen-

dirilmelidir. Mikroyapı incelemeleri de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sert dolguların aşınma dirençleri ve sahip oldukları sertlikleri arasında doğru orantılı bir ilişki görülmüş, yüksek sertlikteki sert dolguların aşınma dirençleri de yüksek çıkmıştır [13].

### 2.1.2. Özlü tel ile ark kaynağı

Özlü tel ile ark kaynağı, MIG-MAG kaynak yöntemine çok benzeyen bir yöntemdir. Her iki işlemde de sürekli tel beslemesi ve benzer donanımlar mevcuttur. Bu iki yöntem arasındaki temel fark elektrodun havadan korunma yollarındadır. Özlü tel ile ark kaynağı, adından da anlaşılacağı gibi içi boş bir telin merkezinde öz olan bir teldir. Özlü tel ile ark kaynağının şematik gösterimi Şekil 7’de mevcuttur.

Özlü tel ile kaynak uygulamalarında kaynak için gerekli olan ısı elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark tarafından sağlanır. İyonize olmuş gaz ortamını dolaşan elektrik akımı, arkı oluşturur. Kaynak bölgesinin korunması ya dışarıdan transfer edilen koruyucu gazla ya da kaynak esnasında özün kompozisyonu sonucu ortaya çıkan koruyucu gaz atmosferi tarafından gerçekleştirilir [6].

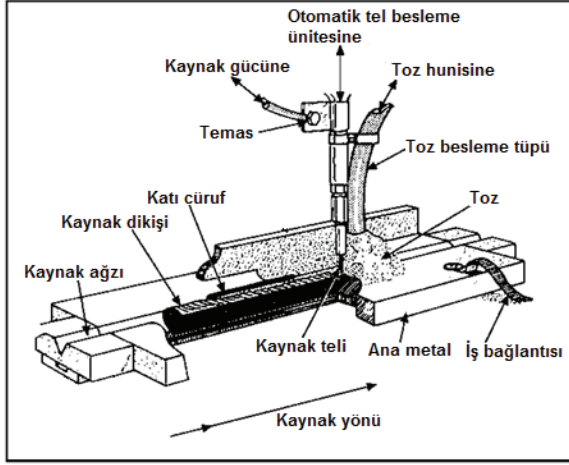


Şekil 7. Özlü telle ark kaynağının şematik görünüşü [6]

Ban ve arkadaşları (2012), özlü tel kullanarak gerçekleştirdikleri sert dolgu kaplamaların aşınma dayanımını, G65-04 standardına göre kuru kum / lastik tekerlek testi kullanılarak değerlendirmişlerdir. XRD analizinin sonuçları, optik ve SEM görüntüleri kaynak kaplamalarının mikro yapılarının, yüksek kromlu beyaz dökme demirlere kıyasla Fe-Cr-C sistem matrisinde yoğun bir şekilde ince dağılmış ve daha sert karbürlerin bulunduğunu ortaya koymuştur. Aşınma direnci için, ince karbürlerin yoğun bir şekilde dağılmasıyla kaplamanın aşınmasına karşı baskı yapmak için mekanik destek sağladığı vurgulanmıştır. Bu nedenle, matris içinde yoğun bir şekilde dağılmış ince ve daha sert karbürlere sahip kaynak kaplamaları daha yüksek aşınma direnci göstermiştir [14].

### 2.1.3. Tozaltı kaynağı

Toz altı kaynağında ark, otomatik olarak kaynak bölgesine sürülen çıplak elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir ve ayrı bir kanaldan kaynak yerine dökülen toz yığını altında işlevine devam eder (Şekil 8). Kaynak arkı toz yığını altında meydana geldiğinden yönteme tozaltı kaynak yöntemi ismi verilmiştir. Elektrot sürekli tel ya da masif şerit şeklinde olabilir. Günümüzde, yüksek kaplama hızından ötürü tozaltı ark kaynağı tercih sebebidir. Fakat tozaltı ark kaynağı yüksek ısı gerilmeler sebebiyle oluşabilecek çatlamaları önlemek için ön tavlama ve bunu takiben temperlemeye ihtiyaç duyar [6].



Şekil 8. Tozaltı ark kaynağının şematik görünüşü [6].

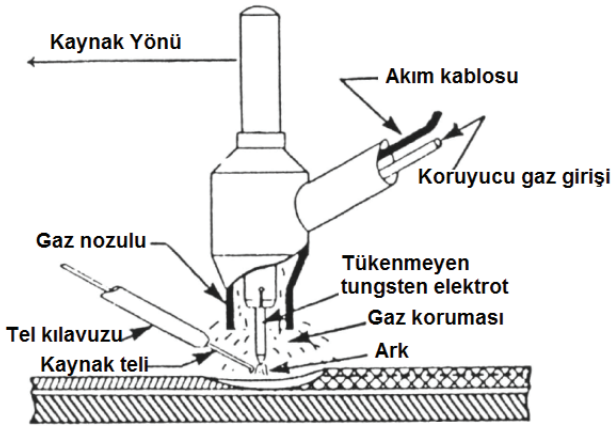
Kaptanoğlu ve Eroğlu'nun çalışmasında (2017), SAE 1020 çeliklerine sert dolgu kaplama oluşturmak amacıyla, dört farklı oranda ferrobör ve ferroniyobyum içeren tozaltı kaynak tozları, S1 kaynak telleri ile karıştırılarak oluşturulmuştur. Daha sonra bu parçalardan numuneler oluşturularak sertlik, mikroyapı ve aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Artan miktarlardaki ferroniyobyum ve ferrobörün toz bünyesinde kullanılmasıyla hem elde edilen kaplama mikroyapılarında yer alan borür yüzdesi artmış, hem de sertlik değerleri artmıştır. Bu nedenle, kaplamaların aşınma kayıp değerlerinde azalma gözlemlenmiştir [15].

#### 2.1.4. TIG Kaynağı

Tükenmeyen bir elektrotun kullanıldığı tungsten inert gaz kaynağında (TIG), tungsten elektrot ve ana metal arasında bir elektrik arkı oluşur. Ark bölgesi bir tür inert gaz ya da inert gazların karışımıyla korunur (Şekil 9). Tungsten elektrot, arkın faaliyete geçmesi için gerekli elektronların salınımı için yeterli yükseklikteki sıcaklıklara ısıtılır. Elektronlar tungsten elektrottan yayınır ve ark boyunca

hareket ederken ivmelenirler. Elektron iş parçasına girdiğinde, iş fonksiyonuna eşdeğer bir miktardaki enerji dolgu malzemesini ve ana metali eritmek için açığa çıkar.

Dolgu metali beslemesi, hamlaç salınımı ve ilerleme hızı kontrol altında tutularak otomatik TIG kaynağıyla yüksek kalitede kaplamalar elde edilmektedir. Bu yöntemle yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel ve alaşımları, bakır ve alaşımları, kobalt ve alaşımları gibi pek çok farklı kaplama malzemeleri başarıyla altlık metale kaynatılabilir. TIG kaynağı temelde yüksek kalitede kaplamaları minimum seyrelme ve düşük derecede çarpılmayla meydana getiren düşük kaplama hızına sahip bir işlemdir [6].



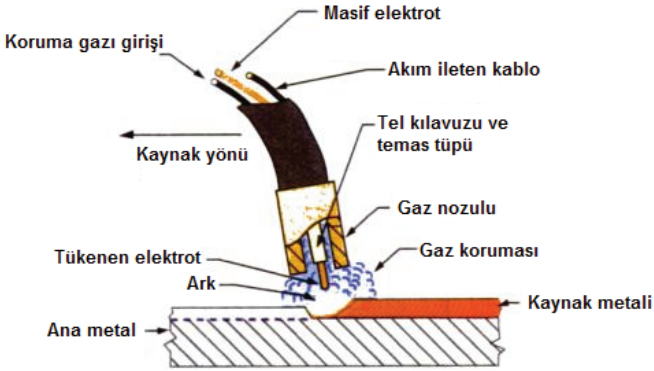
Şekil 9. TIG kaynağının şematik görüntüsü [8]

Singh ve arkadaşları (2019), çalışmalarında TIG kaynağı ile altlık malzemelere WC-CoCr kaplama uygulayarak abrasive aşınma direncinin artırılmasını amaçlamışlardır. Argon gazının akış oranı ve soğutma mesafesinin etkilerinin incelemişlerdir. Bu parametrelerin en yüksek olduğu değerlerde aşınma direnci en yüksek elde edilmiştir [16].

### 2.1.5. Gaz metal ark kaynağı

Gaz metal ark kaynağı, metalleri sürekli bir dolgu elektrodu ile iş parçası arasındaki elektrik arkı ile birleştirilen bir ergitme kaynak uygulamasıdır. Koruma, dıştan tedarik edilen gaz ya da gaz karışımı tarafından sağlanır (Şekil 10).

Gaz metal ark kaynağında, geçiş bölgesi boyunca sertliğin derece derece azalmasıyla tabaka kalınlığında derinlik boyunca mikrosertlik gradyanının elde edilmesinin mekanik özellikler için bazı durumlarda dikkate değer bir üstünlük olabileceği söylenmektedir. Keskin ara yüzeye sahip kaplamaların, altlık ve kaplama arasında büyük gerilmeler yaratılması durumunda, çalışma koşulları altında başarısız olabileceği ileri sürülmektedir [6].



Şekil 10. Gaz metal ark kaynağının şematik görüntüsü [6]

Kang ve arkadaşlarının çalışmasında (2003), farklı oranlarda geri dönüşümlü sert metallerin, FeMnC ve alaşım elementlerinin takviye olarak kullanıldığı MAG kaynağı ile sert dolgu yüzeyi oluşturulmuştur. Aşınma dayanımı tespiti için pendulum tipi aşınma test cihazı kullanılmıştır. En iyi aşınma direncinin beklenildiği %40 geri dönüşüm sert metallerin kullanıldığı numune yerine %6

FeMnC ve %35 geri dönüşüm sert metallerin kullanıldığı numunede elde edilmiştir [17].

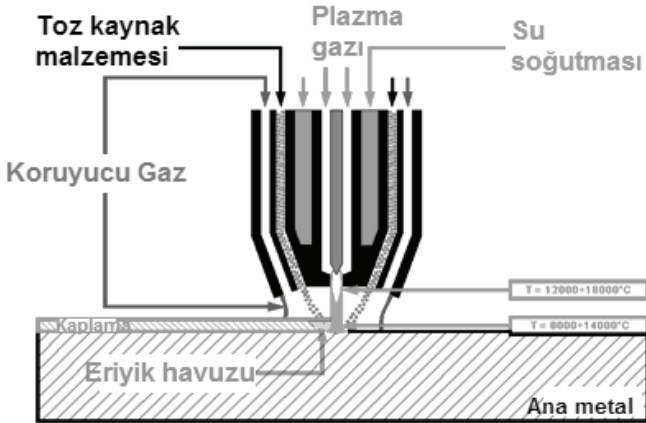
Saklakoğlu ve arkadaşları (2016), Fe esaslı sert dolgu alaşımının mikroyapısını ve aşınma davranışını incelemişlerdir. Çalışmalarında, Fe-Cr-Mo sert kaplama alaşımını gazaltı ark kaynak yöntemi kullanarak kalıp çeliğinden olan altlık malzemesi üzerine dolgu yapılmıştır. Kaplamada bulunan Cr ve Mo miktarının fazla olması nedeniyle krom karbür ve molibden karbür gibi çökeltilerin oluşabileceği ve bunun sonucunda aşınma direncinin artmasının sebebi olabileceği düşünülmektedir. Kompleks karbür çökeltilerinin iyi bir abrasif aşınma direnci gösterdiği bilinmektedir. Sertlik ve abrasif aşınma direnci arasında her zaman bir ilişki bulunmamaktadır. Matris ve karbürlerin mikroyapısının abraziv aşınma direncinde sertlikten daha önemli olduğunu ortaya koyulmuştur. Bu durum aynı zamanda pim-disk aşınma cihazında karşı eleman olan alümina bilyada daha fazla aşınma meydana gelmesinin nedenini de açıklamaktadır. Kaplama malzemesi kalıp çeliğine göre yaklaşık % 6 daha yüksek sertliğe sahipken, aşınma miktarı değerlendirildiğinde kalıp çeliğine göre 10 kat daha az aşınma göstermiştir. Aşınma testleri sonrası adheziv ve boşluklarda biriken aşınma partikülleri dolaşısıyla ağırlıkça azalma yerine artış meydana gelmiştir. Altlık olarak kullanılan çelikte abraziv ve adhesiv aşınma tipleri görülürken, kaplamada abraziv aşınma ve porozitelerin etkisiyle delaminasyon oluşumu gözlemlenmiştir [18].

### 2.1.6. Plazma ark kaynağı

Plazma, çok yüksek bir sıcaklığa ısıtılan ve iyonlaştırılan, böylece elektriksel olarak iletken hale gelen bir tür gazdır. Plazma ark kaynağı işlemi, oluşan bu plazmayı iş parçası üzerine elektrik arkı aktarmak için kullanır. Kaynatılacak metal ilk olarak arkın güçlü ısısı tarafından ergitilir ve sonra eriyik halde birleşir. Plazma kaynak hamlacında,

uç kısmında küçük bir açıklığa sahip bakır nozul içerisine bir tungsten elektrot yerleştirilmiştir. Kaynatılmak istenen metale aktarılan öncü ark, hamlaç elektrodu ve nozul ucu arasında başlatılır. Plazma gazı ve arkın daralmış bir orifis boyunca zorlanmasıyla, hamlaç nüfuziyette güçlü bir kapasiteye sahip olur ve belirli bir bölgeye yüksek yoğunlukta ısı gönderir. Plazma tabancası ve iş parçası arasında bağlantı kuran ark vasıtasıyla, plazma ark kaynağı sert dolgu işlemi esnasında dolgu metalini ergitmede rol oynayan plazma alevini oluşturur. Plazma ark kaynağında kullanılan düşük güçte kaynak hamlacı ve koruma yüzünden, argon gazı daha düşük hızda plazma arkı ve daralan ark bölgesi boyunca gaz ilavesiyle toz haline getirilmiş dolgu metali meydana getirir; karmaşık bir eriyik sert dolgu yüzeyi yaratır.

Plazma ark kaynağının temel donanımı, ark için güç kaynağı, merkezde tükenmeyen tungsten elektrot, plazma gaz besleme ünitesi, koruyucu gaz ünitesi, hamlaç için su soğutmalı sistem ve tüm bunları bir araya getiren düzeneği içerir (Şekil 11) [6].



Şekil 11. Plazma ark kaynağının şematik görünüşü [6]



Simson ve arkadaşları (2018), Plazma transferli ark kaynağı ve tozaltı ark kaynağı ile üretilen kompozit sert yüzeyler, iyi bir sertlik, aşınma direnci ve kırılma tokluğu kombinasyonuna sahiptir, bu nedenle yüksek aşınma direnci sağladığını vurgulamışlardır. Konvansiyonel WC-Co bazlı sert metallerin yerini alamaz ve bunlarla karşılaştırmamasına rağmen, yine de yüksek aşınma direnci, sertlik ve tokluğun yüksek talep gördüğü birçok uygulamada kullanılabilir. Bu çalışmada çeşitli aşınma koşulları için sert yüzeyler üretmek üzere iki farklı sert yüzey üretim teknolojisi plazma ve tozaltı ark kaynak yöntemleri kullanılmıştır. Her iki durumda da, WC-Co tozu kullanılarak düşük alaşımlı çeliğin üstüne kaynak yapılmıştır. Rockwell ve Vickers sertliği, aşınma davranışı ve mikroyapısal analizler açısından analiz edilmiştir. Tozaltı kaynağı ile yapılan sert kaplamalar işlemden sonra ve iki döngü tavlama işleminden sonra Rockwell sertlik testine tabi tutulmuş; ikincil sertlik etkisi, ilk temperleme döngüsünden sonra sertlik değerlerinin 39 HRC'den 58 HRC'ye artması olarak tespit edilmiştir. Her iki tür sert yüzey sert kullanım koşullarında ümit verici sonuçlar göstermiştir [19].

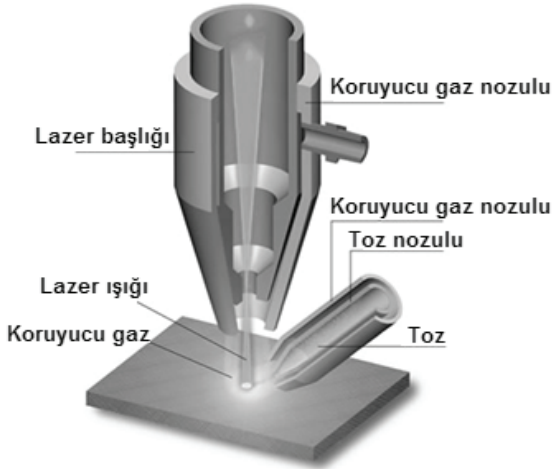
Deng ve arkadaşları (2015), 304 östenitik paslanmaz çelik altlık üzerine farklı partikül tipindeki nikel bazlı tungsten karbür tozları ile oluşturdukları kaplamanın aşınma direncini incelemişlerdir. Oluşturulan kompozit kaplamada tungsten karbürün küresel partikül şekli kullanılarak oluşturulan kaplamanın aşınma direncini arttığı gözlemlenmiştir [20].

### 2.1.7. Lazer Kaynağı

Lazer, tek renkli, yoğun, oldukça düz ve aynı fazlı paralel dalgalar halinde genliği yüksek bir ışık demeti olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile yapay radyasyon tektiklemesiyle gerçekleştirilen ışık kuvvetlendirilmesi şeklinde de ifade edilebilir. Yüksek işlem hızlarından, bağ-

lantıdaki yüksek dayanımından, çarpılmaları yok etmek için sınırlandırılmış enerji girişinden dolayı lazer kaynak işlemi, uygun bir birleştirme ve kaplama teknolojisidir [8].

Toz ergitmeyle lazer kaplama işlemi esasen ısı transfer kontrollü bir işlemdir. Toz haldeki malzeme doğrudan lazer-altlık etkileşim bölgesine gönderilir. Lazer ışını tozu ısıtıp ergitir ve ergiyik toz altlık malzemesini ıslatana ve onunla bağ kurana kadar ana metale ısı geçer. Toz malzemenin Şekil 12’de şematik olarak gösterildiği gibi doğrudan lazer-altlık etkileşim bölgesine gönderilmesi üretim esnasında esneklik ve değiştirilebilme imkanı sağlamaktadır. Lazer kaplamada uygulanan başka bir yöntem ise macun hale getirmek için bağlayıcılarla karıştırılmış tozun önceden yüzeye yayılması şeklindedir. Fakat bu yöntemde homojen katman elde etmek güçtür [6].



Şekil 12. Lazer işleminin şematik görünüşü [6]

Lazer üretim tekniği, hızla sertleşme sağladığı kadar metal bir yüzeyi bölgesel ısıtabilen ve anında ergitebilen yüksek enerji yoğunluğuna ( $10^5.10^7 \text{ W.cm}^2$ ) sahip olmasından dolayı malzeme yüzey işlemleri alanındaki uygu-

lamalarını genişletmiştir. Yüksek enerji yoğunluğu seyrelmeyi düşürebilir, ısı tesiri altındaki bölgeyi daraltabilir, ısıl distorsiyonlarını azaltabilir ve daha iyi mikroyapı sağlayabilir; dolayısıyla kaplama özelliklerini geliştirebilir. Bu gibi karakteristikler, özellikle aşınma ve korozyonun önemli olduğu ortamlarda malzemenin kullanılabilirliğini yaygın hale getirmektedir. Lazerle üretilen kaplamanın yüzeyinde çok az meydana gelen ısıl gerilme, ön ve son ısıtma işlemlerini de gereksiz kılar.

Lazer kaplama bir hızlı ısıtma ve katılaşma işlemidir. Kaplama katmanının mikroyapıları farklı işlem parametreleri altında büyük ölçüde değişime uğrar. Uygun aşırı soğutma katılaşma biçimini etkiler. Aşırı soğumanın daha büyük derecesi belirli bir malzeme için hücresel katılaşma biçiminden dendritik katılaşma biçimine dönüşme eğilimini tetikler. Diğer taraftan soğutma hızı katılaşan yapının ölçeğini de yönlendirir; daha fazla soğuma hızı daha iyi yapı ortaya çıkarır. Yüksek katılaşma hızına bağlı olarak iyi bir mikroyapı ve daha düşük seyrelme derecesi elde etmek için sert dolgu işleminin enerji girdisi mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Yüksek enerji girdisi tane irileşmesine, kaplama tabakasının seyrelmesine ve distorsiyona sebebiyet verir. Lazer uygulamasının düşük enerji girdisi bu işlemi diğer alternatif yöntemlere kıyasla daha ekonomik bir hale getirmektedir [6].

Lazer uygulaması özellikle yüksek ergime noktasına sahip kaplama alaşımlarının düşük ergime noktasına sahip iş parçalarına kaplanmasında yüksek uygulama potansiyeline sahiptir.

Lazer kaynağı ve lazer kaplama yönteminin gelişmesinin ve gelişmeye açık olmasının en büyük nedeni, diğer kaynak yöntemlerine göre daha mukavemetli ve düşük geometrik toleranslı kaynak dikişlerine sahip olmasıdır. Karmaşık yapıda parçaların üzerine kaplama yapılmasında

kullanılabilen lazer kaynağı; elektronik, havacılık, otomotiv endüstrisinde sıkça kullanılmaktadır. Sanayide dolgu kaynağı ile üretilen tüm parça ve ekipmanlar lazer kaynağı ile üretilmeye elverişlidir (Şekil 13)[8].



**Şekil 13.** Lazer kaplama örnekleri [21]

Lazer kaplama, iş parçasının yüzeyinde kaplamalar oluşturularak aşınma direnci, korozyon dayanımı, malzemenin darbeye dayanımı gibi özelliklerini iyileştirir. Korozyona dirençli borular, motor parçaları, ekstrüzyon parçaları, valf ve silindir parçaları, sondaj vidaları, türbin kanatçıkları gibi malzemeleri lazer kaplama ile tamir ve onarım yapılabilmektedir. Isıdan etkilenen bölge çok dar olduğundan dolayı, istenilen kalınlıkta ve özellikte kaplamalar elde edilebilmektedir.

Shengfeng ve arkadaşları (2007)'nın çalışmasında, lazer kaynağı esnasında farklı oranlarda toz besleme yapılarak oluşturulmuş numunelerin aşınma ve korozyona dayanımı incelemiştir. Çalışmaların sonucu hazırladığı kompozit kaplamaların sonucunda parçaların aşınma direncinin arttığını gözlemlemiştir [22].

Simone ve arkadaşlarının çalışmasında (2015), düşük karbonlu çelik altlık üzerine, lazer kaynak yöntemini kullanarak tungsten karbür (WC) tozlarının aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Tungsten karbürün ve hazırlanan tozun içerisindeki karbürlerin çözülmesi sonucu sertliğe etkisi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. İncelemeler sonucunda tungsten karbür (WC) oranının azalması sonucu sertlik değerlerinde düşüşe neden olduğunu gözlemlemiştir [23].

Huang ve arkadaşları (2004), H13 takım çeliği yüzeyine hazırlamış oldukları tungsten karbür (WC) ve nikel (Ni) tozlarını lazer kaynağı yöntemini kullanarak yapmış oldukları kaplamanın aşınma davranışını incelemişlerdir. Hazırlanan tungsten karbürün (WC) partikül şeklinin, mikroyapısını ve aşınmayı etkilediğini gözlemlemişlerdir. Tungsten karbürün küresel ve ezilmiş olarak iki partikül şekli ile hazırlanan numunelerde aşınma dirençleri incelenmişlerdir. Aşınma direnci düşük olan tungsten karbür ile nikel kompozit kaplamanın, tungsten karbürün parçacık şeklini değiştirerek aşınma direnci arttırılabileceği sonucuna varmışlardır [24].

Zhang ve arkadaşları (2005), lazer kaynağı ile kaplama yapılmış martenzitik paslanmaz çelik altlık üzerine nikel bazlı tungsten karbür tozlarının aşınma ve korozyon direnci ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Kaplama yapılan tozun içeriğinin nikel oranı arttırılarak aşınma direncinin arttığını gözlemlemişlerdir [25].

## KAYNAKLAR

1. [http://home.ufam.edu.br/berti/nanomaterialais/8403\\_pdf\\_ch07.pdf](http://home.ufam.edu.br/berti/nanomaterialais/8403_pdf_ch07.pdf)
2. Yıldız, T., Gür, A. K. (2006). Aşınma sistemleri. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 86-91.
3. Yunxia, C., Wenjun, G., & Rui, K. (2016). Coupling behavior between adhesive and abrasive wear mechanism of aero-hydraulic spool valves. *Chinese Journal of Aeronautics*, 29(4), 1119-1131.
4. Eugenio Cantú Gómez, D. (2017). Master of Science Thesis, MMK 2017:193 MKN 202.
5. Devaraju, A. (2015). A Critical Review on Different Types of Wear of Materials. *Int. J. Mech. Eng. Technol*, 6(11), 77-83.
6. Yüksel, N. (2012). Farklı Kompozisyonlarda Üretilen Aşınma Plakalarının Karakterizasyonu ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
7. Cavcar, M. (1996). Demir bazlı sert dolgu malzemelerin metalurjik seçimi. *Oerlikon Yayınları, İstanbul*, 3-16.
8. Durmuş, H. (2006) CO<sub>2</sub> Lazer Kaynağıyla Birleştirilmiş Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
9. Nagentrau, M., Tobi, A. M., Omar, A. S., & Ismail, M. I. (2019, May). Preheat Treatment on the Tungsten Carbide Hardfacing: Microstructure Analysis. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 505, No. 1, p. 012150). IOP Publishing.
10. Oo, H. Z., Srikarun, B., & Muangjunburee, P. (2018). Correlating Hardness and Welding Dilution with the Abrasion Mass Loss of Hardfacings Welded with Different Currents and Polarities. *Metallurgist*, 61(11-12), 1033-1037.
11. Falat, L., Džupon, M., Ľavodová, M., Hnilica, R., Lupáčiková, V., Čiripová, L., ... & Ľurišinová, K. (2019).

Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Various Alloy Hardfacings for Application on Heavy-Duty Chipper Tools in Forestry Shredding and Mulching Operations. *Materials*, 12(13), 2212.

12. Srisuwan, N., Kumsri, N., Yingsamphancharoen, T., & Kawvilai, A. (2019). Hardfacing Welded ASTM A572-Based, High-Strength, Low-Alloy Steel: Welding, Characterization, and Surface Properties Related to the Wear Resistance. *Metals*, 9(2), 244.
13. Gençer, G. M., Owsalou, R. G., & Karadeniz, S. (2016). Klinker ve farinin aşındırıcı olduğu koşullarda çimento üretiminde öğütücü olarak kullanılan demir esaslı sert dolgu ile kaplanmış aşınma plakalarının abrasif aşınma dirençlerinin belirlenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 31(3).
14. Ban, M., Hasegawa, N., Ueno, Y., Shinozaki, H., Aoki, T., & Fukumoto, H. (2012). Wear Resistance Property of Hardfacing Weld Overlays Containing Metal Carbides. *Triology Online*, 7(4), 207-212.
15. Kaptanoğlu, M., & Eroğlu, M. (2017). Ferroniyobyum Ve Ferrobör İçeren Tozaltı Kaynak Tozları İle Elde Edilen Kaplamaların Mikroyapı Ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 64-75.
16. Singh, J., Thakur, L., & Angra, S. (2019, July). Effect of argon flow rate and standoff distance on the microstructure and wear behaviour of WC-CoCr TIG cladding. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1240, No. 1, p. 012162). IOP Publishing.
17. Kang, N. H., Chae, H. B., Kim, J. K., Choi, J. H., & Kim, J. H. (2003). Effects of Mn and C Addition on the Wear Resistance for the Recycled WC Dispersed Fe-base Hardfacing Weld. *Korean Journal of Materials Research*, 13(12), 839-845.
18. Saklakoglu, N., Gencalp Irizalp, S., İldaş, G., & Demirok, S. (2016). Fe-Esaslı Sert Kaplama Alaşımının Mikroyapı

ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. *CBÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 12(3), 517-523.

19. Simson, T., Priit, K. U. L. U., Surženkov, A., Ciuplys, A., Viljus, M., & Zaldarys, G. (2018). Comparison of plasma transferred arc and submerged arc welded abrasive wear resistant composite hardfacings. *Materials Science*, 24(2), 172-176.
20. Deng, D., Zhang, L., Niu, T., Liu, H., & Zhang, H. (2015). Microstructures and wear performance of PTAW deposited Ni-based coatings with spherical tungsten carbide. *Metals*, 5(4), 1984-1996.
21. <https://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/coating-services/coating-services-laser-cladding/component-manufacturing-and-repair/> 24.12.2018
22. Shengfeng, S., Jun, L., Bing, Z., & Xiaoxiang, W. (2007). Microstructure and corrosion resistance of medical cobalt-based alloys. *Rare Metal Materials and Engineering*, 36(1), 37.
23. Zanzarin, S., Bengtsson, S., & Molinari, A. (2015). Study of carbide dissolution into the matrix during laser cladding of carbon steel plate with tungsten carbides-stellite powders. *Journal of Laser Applications*, 27(S2), S29209.
24. Huang, S. W., Samandi, M., & Brandt, M. (2004). Abrasive wear performance and microstructure of laser clad WC/Ni layers. *Wear*, 256(11-12), 1095-1105.
25. Zhang, D., & Zhang, X. (2005). Laser cladding of stainless steel with Ni-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> and Ni-WC for improving erosive-corrosive wear performance. *Surface and Coatings Technology*, 190(2-3), 212-217.





# 20 MW GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULUMUNUN TÜRKİYE’NİN İÇANADOLU BÖLGESİ İÇİN TEKNİK ANALİZİ

İbrahim GÜNEŞ<sup>1</sup>



---

1 (Doç. Dr.); İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,  
Elektrik, Elektronik Mühendisliği Bölümü , B Blok, Avcılar Kampüsü  
34320 Avcılar, İstanbul Türkiye., [gunesi@istanbul.edu.tr](mailto:gunesi@istanbul.edu.tr)





# 20 MW GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULUMUNUN TÜRKİYE’NİN İÇANADOLU BÖLGESİ İÇİN TEKNİK ANALİZİ

İbrahim GÜNEŞ<sup>1</sup>

## GİRİŞ

20 MW güneş enerji santrali kurulumu için seçilen bölge Türkiye’nin İç Anadolu Bölgesi ortalama güneş ışınma değerleri referans alınarak, Sivas ili seçilmiştir. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, Sivas güneş enerji potansiyeli Türkiye ortalamasının üstünde seyretmektedir. Ortalama güneşlenme süresi günlük toplam 7,6 saat, ışınlam şiddeti ise günlük toplam 4,4 kWh/m<sup>2</sup> ile Türkiye ortalamasının üstündedir. Bu veriler, 20 MW güneş enerji santrali yatırımı için uygun altyapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Sivas ili güneş enerjisine dayalı 20 MW santral kurulması planlanmaktadır. Yapılması planlanan yatırım ise her biri 1 MW lisanssız güneş enerji santrali olmak üzere toplam 20 MW güneş enerji santrali yatırımdır. 20 MW güneş enerjisi yatırımı için belirlenen arazinin güneş enerjisi yatırımlarına uygunluğu, araziye ait yerleşme alanının özellikleri , bölge için fiziki planlama esasları ,yapılacak olan yatırımın yaklaşık maliyeti ve avantajları incelenmiştir.

GES kurulum yeri olarak uygun konum için kesin kurallar olmamasına rağmen, geçmişte ve şimdiki projelerde edinilen deneyim bu alanda temel kriterleri belirlemiştir. Yer belirleme kriterleri, kurulum seviyesinden santrallerin

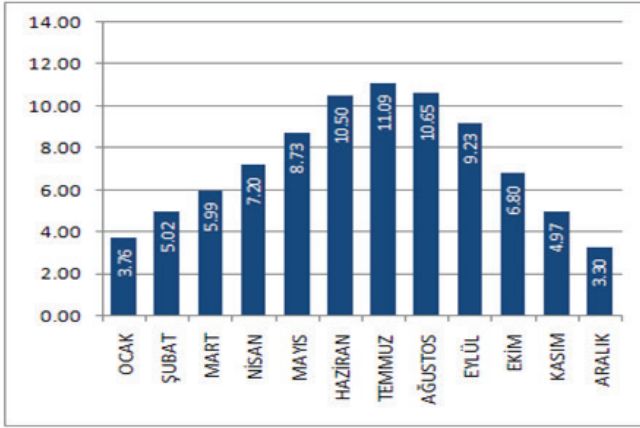
---

1 (Doç. Dr.); İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Elektrik, Elektronik Mühendisliği Bölümü , B Blok, Avcılar Kampüsü 34320 Avcılar, İstanbul Türkiye., gunesi@istanbul.edu.tr

işletilmesine ve elektrik üretim maliyetlerine kadar yaşam döngüsünün aşamalarını doğrudan etkiler.

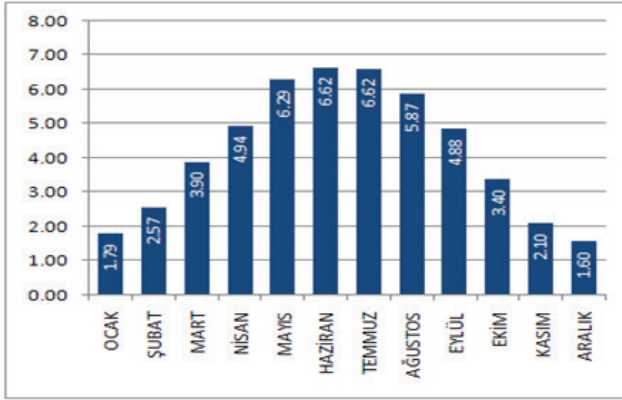
## 1. Bölgenin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'nin iç Anadolu bölgesinde ortalama güneşlenme süresi günlük toplam 7,3 saat, ısınım şiddeti ise günlük toplam 4,2 kWh/m<sup>2</sup> ile Türkiye ortalaması civarındadır[1].



**Kaynak:** GEPA

**Şekil 1.** Sivas Güneşlenme Süreleri (Saat) [2]



**Kaynak:** GEPA

**Şekil 2.** Sivas Global Radyasyon Değerleri (KWh/m2-gün) [2]

Verilerden de görüldüğü üzere Sivasın güneş enerji potansiyeli Türkiye ortalamasının üstünde seyretmekte olup, ortalama güneşlenme süresi günlük toplam 7,6 saat, ışınım şiddeti ise günlük toplam 4,4 kWh/m<sup>2</sup> dir.

### ***Yerleşme Alanının Güneş Enerji Santrali Yatırımına Uygunluğu***

Güneş enerji santrallerinin kurulacağı arazilerde, güneş kaynaklı enerji üretiminin verimliliği bakımından değerlendirilen, kurulum yeri olarak uygun konum için kesin kurallar olmamasına rağmen, geçmişte ve şimdiki projelerde edinilen deneyim bu alanda temel kriterleri belirlemiştir. Yer belirleme kriterleri, kurulum seviyesinden santrallerin işletilmesine ve elektrik üretim maliyetlerine kadar yaşam döngüsünün aşamalarını doğrudan etkiler[3-5].

### **Güneş enerjisi potansiyeli,**

İç Anadolu bölgesi güneş enerji potansiyeli Türkiye ortalamasının üstünde seyretmektedir. Ortalama güneşlen-

me süresi günlük toplam 7,6 saat , ışınlam şiddeti günlük toplam 4,4 kWh/m<sup>2</sup> ile Türkiye ortalamasının üstündendir. Güneş enerjisinin yüksek potansiyelde olduğu alanlarda güneş ışınlamını düşürecek gölgelenme ve iklim koşulları verimliliği düşüren faktörler olup, Sivas ta yatırım yapılması öngörülen arazi yeryüzü engebelerine sahip olduğundan, yüksek binalar ve ağaçlar gibi gölgelenme oluşturan faktörler bulunmamaktadır. Bu açıklamalar dikkate alındığında, belirlenen arazinin güneş enerjisi potansiyeli anlamında yatırıma uygun olduğu görülmektedir[6].

### **Yerel iklim durumu,**

Belirlenen arazinin bölgedeki yoğun kar yağışına rağmen kar tutmuyor oluşu, sel riskinin ve kum fırtınasının olmaması nedeniyle yatırıma uygun olduğu görülmektedir.

### **Topoğrafik yapısı,**

GES yatırımı yapılacak bölgenin topoğrafik yapısı Güneş enerji santrallerinin verimliliğini etkileyen temel koşullardan biridir. Santrallerin yer seçiminde genellikle düz ve güney cephe yönlü yerler tercih edilmektedir. Bu açıklamalar dikkate alındığında belirlenen arazinin güney cephe yönünde olması nedeniyle yatırıma uygun olduğu görülmektedir.

### **Arazi kullanım durumu (Marjinal Tarım Uygunluğu),**

GES yatırımlarında yer seçiminde, doğal bitki örtüsü formasyonu yer seçimi yapılacak alandaki gölgelenmeyi arttırmakta ve verimliliği düşürmektedir. Bu bakımdan ağaç örtüsünün bulunduğu alanlar ile doğal bitki örtüsünün engel oluşturabileceği makilik, fundalık, sazlık, vb. alanlar yer seçiminde öncelikli olarak tercih edilmemektedir.

Alternatif alan bulunmaması durumunda bu alanların temizlenmesi ek maliyetlere neden olmaktadır. Diğer taraftan toprak zeminin çakmalı montaj sistemlerine uygun olması gerekmektedir. Kayalık- taşlık arazi kullanımlarında zeminin sert yapısı kurulum maliyetini arttırdığından tercih edilmemektedir. Belirlenen arazi hafif engebeli ve hafif eğimli dağ yamacı olması sebebi ile tarla olarak kullanılmamaktadır, güneş enerji santrali için yatırıma uygun olduğu görülmektedir[7,8].

### **Şebeke bağlantısı,**

Belirlenen arazinin yerleşim alanlarına uygun bir oranda uzak oluşu , yapılması planlanan her birinin kurulu gücü 1 MW olacak olan toplam 20 MW'lık güneş enerji santrali yatırımının kurulması için gerekli en az 20 MW kurulu gücü destekleyecek trafo merkezinin yapılması için de uygundur.

### **Enerji tüketim bölgelerine yakınlığı,**

Sivas ili ve ilçelerinin belirlenen araziye uzaklığı düşünüldüğünde uygun mesafe kapsamında kaldığı görülmektedir.

### **Jeolojik yapısı,**

Belirlenen arazi aktif deprem kuşağında değildir. Zemin yapısı, toprak direnci, yeraltı su seviyesi ve zemin mukavemetine ilişkin koşullar yatırım için uygundur.

### **Göçmen Kuşların Göç Yollarına Uygunluğu,**

Belirlenen arazi göç yolları üzerinde değildir. Bu nedenle de belirlenen yatırım için uygundur.



## **Mülkiyet yapısı gibi incelenmesi gereken belli temel kriterler bulunmaktadır.**

GES kurulum faaliyetlerinde yer seçiminde kurulum maliyetleri enerji üretim maliyetlerini etkilemektedir, bu nedenle, arazi değeri düşük alanlar tercih edilmektedir. Çok tapulu ve parçalı yapıdaki araziler büyük ölçekli güneş enerji santralleri için tercih edilmemektedir. Belirlenen arazinin yatırıma uygunluğu açısından en önemli kriterlerden biridir. Belirlenen arazinin devlet hazinesine ait olması , satın alma maliyetini ortadan kaldıracığı için yatırıma uygundur [9-11].

## **2. 20 MW Güneş Enerji Santrali Yatırımı**

### **2.1. Yatırım Maliyeti**

Belirlenen arazi üzerinde her birinin kurulu gücü 1 MW olacak olan 20 adet güneş enerji santrali planlanmaktadır. Arazi büyüklüğünün durumuna göre en az 20 MW iletim kapasiteli trafo merkezi de bu arazide yapılacaktır. Belirlenen arazinin planlanmasında ;

\*Arazi formasyonunun optimum güneş paneli açısı için genel değerlendirilmesi ve tesviye altlıklarının oluşturulması

\*İç Yolların Kotlarının Planlaması

\*GES Kotlu Yerleşim Planlarının oluşturulması ve arazi deformasyon projelerinin hazırlanması

\*GES arazi yolları drenaj hesaplamaları

\*GES parsel içi drenaj yapıları hesaplamaları

\*GES içi sanat yapılarının planlaması (istinat duvarı, menfez, drenaj hattı vs.) yapılmalıdır[12,13].

Bu aşamaları yapılabilmesi için de belirlenen arazi üzerinde oluşturulacak adalardaki parsellerin büyüklüklerinin ne kadar olacağı belirlenmelidir. Parsel büyüklüğü, yatırımcıların kurmayı planladıkları PV santrallerinin kapasitesine bağlı olmalıdır. Planlanan yatırım 1 ‘er megavatlık 20 adet güneş santrali olacak şekildedir. Her bir güneş enerji santralı yatırımı için 1,1 MW gücünde , şebeke çıkışı 1 MW olan bir tesis planlanmıştır. Yatırımın her biri 20.000 m<sup>2</sup> büyüklüğündeki arsa üzerinde gerçekleştirilecektir. Bu durumda planlanan yatırım için ;

20 Adet X 20.000 m<sup>2</sup>/Adet =400.000 m<sup>2</sup> arazi gerekmektedir.

## **2.2. Etüd Proje**

Belirlenen arazinin yatırıma uygun ve yasal olarak düzenlenmesi için yapılacak olan ;

- Planlama Sınırı,
- Halihazır Harita Yapımı,
- Jeolojik ve Jeoteknik Etüd
- İmar Planı Ölçeği,
- İmar Planı Yapımı, Onayı,
- Parselasyon Planı Düzenleme Sınırının Geçirilmesi,
- Tapu Kayıtlarının ve Haritalarının Elde Edilmesi,
- İmar Uygulama Yapım Yöntemleri,
- Parselasyon Planının Onayı ,
- Kontrol ve Tescil İşlemleri,

- Atıksu Arıtma, , İçme ve Kullanma Suyu, Yağmur suyu gibi Altyapı Projeleri,
- Yol Projeleri,

Etüt proje yatırımlarının piyasa değeri yaklaşık olarak hesaplanır[14,15].

### **2.3. İnşaat**

İnşaat yatırımı aşağıdaki kalemlerden oluşmaktadır;

- Hafriyat,
- Parsel tesviye işleri,
- Yol işleri,
- Taş istinat duvarı yapım işleri,
- Yağmur suyu hattı yapım işleri,
- Yeraltı suyu drenaj hattı yapım işleri,
- Derivasyon kanalı yapım işleri,
- Temiz su hattı yapım işleri,
- Yangın suyu hattı yapım işleri,
- Betonarme yeraltı galeri yapım işleri,
- Elektrik dağıtım şebeke hattı yapım işleri,
- Elektrik temin hattı yapım işleri,
- Sınır tel çit yapım işleri,
- Ağaçlandırma ve çevre düzenleme işleri

inşaat harcamaları kapsamında yer almaktadır.

Ayrıca trafo merkezi binası ve güvenlik, teknisyen ve temizlik için görevlendirilecek personelin kalacağı idari binanın inşaat harcamaları da bu kalemde yer almaktadır. Yağmursuyu hatlarında beton boru veya korige boru kullanılması durumu, muayene bacalarının beton baca veya polietilen baca olması durumu, yol üstyapı kaplama malzemelerinin mukayesesi, elektrik hatlarının yeraltı veya havai olması durumu, elektrik dağıtım merkezlerinin ve idari bina tiplerinin mukayesesi, galeri-klasik (açık) sistem mukayesesi yapılacak inşaat harcamalarını doğrudan etkileyecektir.

Tahmini inşaat harcaması tutarı belirlenirken aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır.

- Yağmursuyu hatlarında Korige boru kullanılması,
- Muayene bacalarında (mecra, parsel, cadde ağızlığı) polietilen bacaların kullanılması,
- Yol üstyapı kaplamasında sıcak karışım asfalt kullanılması,
- Elektrik hatlarının yerin altına döşenmesi,
- Elektrik dağıtım merkezi binasının ve idari binanın yapılması,
- Temiz su, Elektrik Ring Hattı, Elektrik Müşteri Hattı ve İletişim Hatlarının tümünün, klasik (açık) sistem ile uygulanması öngörülmüştür.

## ***2.4. Makine-Teçhizat***

Bu kapsamda sadece 20 MW trafo merkezi harcaması bulunmaktadır. Mevcut durumda planlanan Bölgede yapılması planlanan her biri 1 MW'tan oluşan 20 Adet GES için 20 MW trafo merkezi yeterli olacaktır. Trafo merkezi-

ne bağlantı aşamasına kadar oluşacak tüm maliyet her bir yatırıma ait olacaktır bu nedenle fizibilite konusu yatırım içerisine dahil edilmemiştir.

### **3. Enerji Santralinin Ekipman İçerikleri**

#### ***3.1. 1 MW Güneş Enerji Santrali Yatırımı***

Yapılması planlanan güneş enerji santralinde her biri 1 MW kurulu gücü olacak olan 20 adet GES yatırımı yapılacaktır. Üretime Esas Toplam Kurulu Güç 20 MW olacaktır. Yatırımcılara rehber olması açısından toplam yatırım tutarı hesaplarında kurulu gücü 1,1 MW gücünde, şebeke çıkışı 1 MW olan bir GES yatırımı detaylandırılmıştır.

#### ***3.2. Ekipman Teknoloji Seçimi ve Üretim Tekniği***

Güneş Enerji Santrali (GES) yatırımında şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri kullanılacaktır. Şebekeye bağlı bir GES’de başlıca cihaz ve ekipmanlar, panel, evirici (invertör), trafo ve diğer santral elemanları olarak nitelendirilmektedir.

**İnvertör (Evirici):** PV panellerin ürettiği doğru akım (DC) elektriği, alternatif akıma (şebeke elektriği) çevirir.

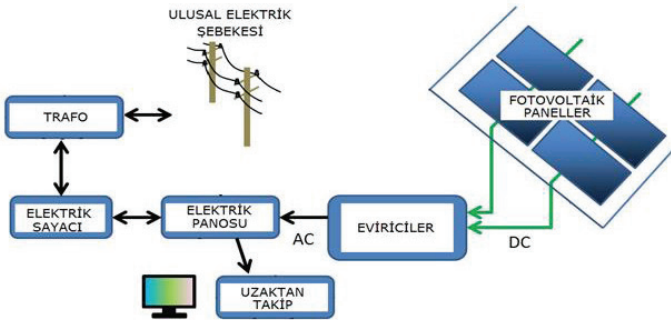
**Fotovoltaik (PV) Panel:** Yüzeylerine gelen güneş ışığını sayesinde doğru akım (DC) elektrik üreten yarı iletken (genellikle silisyum) PV hücrelerin bir panel üzerinde birleştirilmesinden oluşur.

**Panel Taşıyıcı Sistemi:** Arazi ve çatı tipi olarak ayrılmakla birlikte, genel olarak galvanizli çelik veya alüminyumdan mamul panel taşıyıcı sistemleri ve montaj aparatlarından oluşur.

**Trafo:** Eviriciden gelen AG (400 Volt) şebekesini ulusal şebeke (ilgili dağıtım hattına) uygun OG gerilim seviyesine (31,5 kV- 15,8 kV gibi) çıkarmaya yarar.

**Elektrik Panosu:** Kısa devre, şebeke dalgalanmaları, aşırı gerilim gibi durumların olumsuz etkilerini en aza indirerek, GES'in güvenli bir şekilde şebekeye (trafoya) bağlanmasını sağlar.

**Fotovoltaik süreç;** Güneş ışınlarında, şebeke enerjisine aşağıdaki diyagramda verilmiştir. Fotonlar- Güneş ışınları fotovoltaik hücreler tarafından tutulur ve elektrik akımına dönüştürülür. Elektrik, evirici devre yardımıyla, şebekeye bağlanır.



**Şekil 3.** GES Şematik Üretim Tekniği

20 MW güneş enerji santralinde kullanılan güneş paneli özellikleri, GES kurulumunda güneş paneli üretimlerinde teknolojik ekipmanlar kullanılmaktadır. GES kurulumunda anahtar teslim olmak üzere konut, fabrika ve güneş tarlası olarak kurulumlar da yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılacak panel gücü , her birinin gücü 265 watt'tır. AS-6P 265 watt polikristal güneş panelinden 20 MW kurulu güç için 76.000 adet kullanılmalıdır.

$$76.000 \times 265 \text{ W} = 20 \text{ MW}$$

20 MW güneş enerji santralinde kullanılan invertör bir Ongrid inverter çeşididir. Kalite, teknik servis, garanti özellikleri dikkate alınarak en iyi en kaliteli invertör çeşidinin ongrid olduğuna karar verilmiştir, Ve her birinin gücü 7 kW'tır. 2858 tane invertör ihtiyacı öngörülmektedir.

$$2858 \times 7 \text{ kW} = 20 \text{ MW tır.}$$

#### 4. Güneş Enerji Santral Yapım Maliyeti

Yapılan GES yatırımından elde edilen getirilerin toplamının kurulum ve işletim maliyetlerinin toplamını geçmesi için gereken süre yatırımın geri dönüş süresidir. Bu süre yapılan yatırımın toplam tutarının bir yıllık elektrik enerjisi satışından elde edilen üretim fiyatına bölünmesiyle elde edilir.

**Tablo1: GES Toplam Yatırım Tutarı**

| Tanım                                         | TL                 |
|-----------------------------------------------|--------------------|
| PROJELER - İZİNLER - ONAYLAR                  | 1.000.000          |
| 3/0 İLETKENLİ ENHATTINI YAPIMI 1 KM           | 1.500.000          |
| GES PANELLER ARASI KABLOLAR VE KANAL KAZILARI | 5.500.000          |
| AC DC ÜNİTELER                                | 3.500.000          |
| PANEL VE INVERTÖRLER VE AKSAMLARI             | 102.748.000        |
| TRAFO VE BAĞLANTILARI                         | 5.000.000          |
| BİNA İŞLERİ                                   | -                  |
| YOL İŞLERİ                                    | -                  |
| SAHA HAZIRLANMASI                             | 200.000            |
| KONSTRUKSIYON TEMELLERİ YAPIMI                | 300.000            |
| <b>Toplam</b>                                 | <b>119.748.000</b> |

#### 4.1. İşletme Maliyetleri

##### İşçilik -Personel

1 adet müdür, muhasebe ve yönetim idari işlerinden sorumlu 1 adet büro elemanı, tüm bakım onarım ve teknik hizmetlerden sorumlu 1 adet mühendis ve 1 adet teknis-

yen, güvenlikten sorumlu üç vardiya çalışacak olan 3 adet bekçi ve saha temizliğinden sorumlu 2 adet saha elemanı öngörülmüştür. Yıllık harcama tutarı olarak da 344.000 TL öngörülmüştür.

### **Bakım Onarım**

Bakım ve onarım giderleri kapsamında yıllık olarak ortalama 100.000 TL civarı harcama öngörülmüştür.

### **Genel Giderler**

Genel gider harcama kalemi olarak yıllık toplam 50.000 TL civarı harcama öngörülmektedir.

### **Tam Kapasitede İşletme Gelirleri**

1 MW Güneş Enerji Santralinin satışa esas kWh/yıl olarak öngörülen elektrik üretim miktarı devletin alım garanti fiyatı ile çarpılarak gelir oluşturulur. 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'a göre gelir hesabında üretilecek elektriğin 1 kwh'nin 13,3 USD/cent (0,133 USD) satılacağı dikkate alınmıştır. Güneş enerji santralinden elektrik üretimi konusunda üretilen elektriği 0,13 dolardan almaktadır. Ancak yerli ekipman kullanım oranına göre yerli ürün kullanımının oranını güneş enerji sistemlerinde artırmak amacı ile ek fiyatlama verilmiştir.

Bu fiyatlama da:

· Panel montajı için alt çelik konstrüksiyon kullanımına 0,8 cent

· Yerli güneş panellerine 1,3 cent

· Güneş paneli oluşturan hücreler için 3,5 cent

· İnvertör 0,6 cent



PV modülü üzerine güneş ışını odaklayan malzeme 0,5 cent olarak teşvik verilmiştir.

Ancak ülkemizde üretilen paneller % 100 yerli olmayıp sadece burada montajı yapıldığı için güneş enerji panellerine verilen teşviklerden yatırımcı yararlanamamaktadır. Bununla birlikte diğer ekipmanlardan faydalansa da fiyat ve fayda oranına bakılırsa da pek tercih edilmediği görülmektedir. Yerli ekipman kullanımından ödenen ek fiyatlar 5 yıl geçerlidir.

### **Tam Kapasitede İşletme Giderleri**

GES projesinin gider unsurlarından olan, TEİAŞ'ın uyguladığı sistem kullanım ve sistem işletim bedelleri, EPDK kurul kararı ile yayınlanmış olan bölgesel bazda iletim tarifi esas alınarak ilgili bölge için hesaplanır.

### **Sürdürülebilirlik**

Orta Anadolu bölgesinin büyüyen sanayi potansiyeli, artan ticaret hacmi, turizmin öneminin anlaşılması ve şehir oteli sayısının artmasından kaynaklanan enerji talebindeki artış, düşünülen yatırımın ulusal boyutta öne çıkan hedeflerle uyumluluğu da tartışılmaz hale gelmektedir.. Yatırımın Sivaslı civarında yapılması güneşlenme süreleri ve radyasyon değerleri, lokasyonun mevcutta tarım arazisi, mera veya başka şekilde kullanılmayan bir hazine arazisi olması, çevrede başka elektrik santrallerinin olmaması nedeniyle temel kuruluş kriterleri anlamında anlamlı bulunmuştur. Fakat eşik analizi çalışmalarında habitat, iklim, tektonik hareketler açısından da bölge ilgili kurumlar tarafından incelenecektir. Toplam yatırım tutarının kamu yatırım büyüklükleri açısından avantajlı olduğu ve bu durumun projenin kabulü açısından bir fırsat olabileceği , enerji talebinin yenilenebilir kaynaklarla karşılanmasının çevresel faydaları ile ön plana çıkmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] BERDİBEK, M., Güneş Pilleri ve Teknolojik Uygulamaları, <http://320volt.com/gunes-pilleri-ve-teknolojik-uygulamaları/>
- [2] ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI ,2017, Elektrik , Ankara , <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>
- [3] Ava Mühendislik , 2017 , Güneş Enerjisi, Kayseri, <http://avamuh.com/gunes-enerjisi/>
- [4] EİE , 2017 , Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası , İstanbul , <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
- [5] Enerji Ve Tabii Kaynakları Bakanlığı , 2012, Güneş Enerjisi ve Güneş Teknolojileri, Ankara , [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx)
- [6] ÖZTÜRK, H.H., 2012, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 978-975-511-502-3.
- [7] TUĞYAN MUHTAROĞLU, K., 2012, Güneş Enerjisini Elektrik Enerjisine Çeviren Çevre Dostu Sistemin Tasarlanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] GÜÇLÜ, S.,2009, Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Çevre Aydınlatma Elektrik Enerjisinin; Güneş Enerjisi ile Sağlanması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] AKOVA, İ., 2008, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara,605-395-090-5
- [10] AKMEŞE, D.,2006, Güneş Panelinden Beslenen Bir DA Motorun Çalıştırılması , Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] SLIDEPLAYER,2008, Türkiye’de Güneş Pilleri, Eskişehir, <http://slideplayer.biz.tr/slide/2712502/>
- [12] KEÇEL, S., 2007, Türkiye’nin Değişik Bölgelerinde Eysel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri ile Karşılanmasına

Yönelik Model Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

- [13] KUTLU, S., 2002, Güneş Tarlası ile Elektrik Enerjisi Üretimi ve SDÜ Kampüs Alanında Bir Uygulama Analizi, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ.
- [14] KAHRAMAN, D., 2010, Güneş Enerjisi Kaynaklı Elektrik Üretiminin Teknik - Ekonomik Analizi ve Yöresel Uygulaması
- [15] ŞENPINAR, A., 2005, Bağımsız Güneş Pili Sistemlerinin Bilgisayar İle Kontrolü, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

**FE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İLAVELİ RİJİT POLİÜRETAN İLE  
KAPLANMIŞ AHŞAP KOMPOZİTLERİN YÜZEY  
SERTLİĞİNİN VE YANMA DAVRANIŞLARININ  
ARAŞTIRILMASI VE ELEKTROMANYETİK  
KALKANLAMA MALZEMESİ OLARAK  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**İbrahim KIRBAŞ<sup>1</sup>, Ali İhsan KAYA<sup>2</sup>, Ahmet ÇİFCİ<sup>3</sup>**



- 
- 1 Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü
  - 2 Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü
  - 3 Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü





# FE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İLAVELİ RİJİT POLİÜRETAN İLE KAPLANMIŞ AHŞAP KOMPOZİTLERİN YÜZEY SERTLİĞİNİN VE YANMA DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI VE ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA MALZEMESİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

İbrahim KIRBAŞ<sup>1</sup>, Ali İhsan KAYA<sup>2</sup>, Ahmet ÇİFCİ<sup>3</sup>

## 1. GİRİŞ

Birçok üstün özelliklerinden dolayı farklı endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan rijit poliüretan malzemelerin en zayıf özellikleri ise kolay tutuşma ve yanma şeklindedir. Bu yüzden, rijit poliüretan malzemelerin yanma direncinin artırılması amacı ile farklı alev geciktiriciler ve dolgu maddeleri ilave edilmektedir.

Demir (III) Oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) lastik, boya, kâğıt, linolyum, seramik ve cam yapımında pigment olarak; camların değerli metallerin ve elmasların parlatılmasında aşındırıcı olarak; elektrik dirençleri ve yarı iletkenlerde; miknatıslarda ve manyetik bantlarda kullanılır (Mishra ve Chun, 2015). Yüksek bir erime sıcaklığına (1538 °C) sahip olan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, poliüretan malzemelerinin yanıcı özelliklerini iyileştirmek için uygun bir malzeme olarak değerlendirilebilir.

Orta yoğunlukta lif levha (Medium Density Fiberboard – MDF) genellikle odun veya diğer selülozik hammaddelerin liflerinden elde edilir. Liflerin içerisindeki nemin be-

1 Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü

2 Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü

3 Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

lirli oranlara indirilmesinden sonra sıcakta sertleşme özelliği olan bir yapıştırıcı ile karıştırılır. Daha sonra yüksek sıcaklıkta preslenerek levha halini alır.  $0,55-0,80 \text{ g/cm}^3$  yoğunluklarda 1.80-60.0 mm kalınlıklarda üretilmektedir (Göker ve diğ., 2004). Fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyi olması MDF'nin tercih edilme sebeplerini artırmaktadır. Pürüzsüz yüzeyli, homojen yapıda olması ve masif ağaç malzeme gibi işlenebilme özelliği ile mobilya sektöründe değişik uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Mantar, bakteri, böcek gibi zararlılar tarafından bozulması gibi bazı dezavantajları vardır (Özdemir, 2016). Fakat kolay yanabilmesi ve tutuşabilmesi gibi olumsuz özelliklere sahip olması başlıca dezavantajıdır (Özkaya ve diğ., 2007; Yıldız, 2002).

Kontrplak, ağaçların soyulmasıyla elde edilen ince katmanların üst üste konularak yüksek sıcaklıkta preslenmesiyle oluşan büyük boyutlu levha malzemelerdir. Bir kontrplak panel 1.5-3.2 mm kalınlığındaki en az üç ve/veya daha fazla katmanın tek sayı oluşturacak şekilde birleştirilmesiyle oluşur (Bal ve diğ., 2015). Katmanların dizilmesinde lif yönleri bir birine dik gelecek şekilde sıralanmalıdır. Tek sayıda katmandan oluşması her iki yüzeyinde lif yönlerinin paralel olmasını sağlar. Kalınlıkları 3-70 mm arasında olup, genellikle 130 x 220 cm ya da 170 x 220 cm boyutlarında üretilmektedir. En çok üretilen kalınlıklar 3-30 mm arasında değişmektedir (Yıldız ve Özgan, 2009). Kontrplağın yaygın olarak kullanılmasının nedeni yüksek düzeyde sağlamlığı, çekme ve şişme olasılığı olmaması, yüksek mekanik özellikleri ile çivi ve vida tutma yeteneği (Bal ve diğ., 2015), kolay işlenebilmesi ve dekoratif olmasıdır. Belli kullanım alanlarına yönelik özel yapılar da üretilebilir. Örneğin suya veya rutubete dayanıklı kontrplaklar üretilebilir. Kontrplak paneller değişik film, boya, papel gibi malzemeler ile kaplanabilir. Ahşap malzemelerin genelinde olduğu gibi kontrplakta yanma direnci düşük olan bir kompozit malzemedir.

Ahşap kompozit malzeme olarak MDF ve kontrplak seçildiği bu çalışmada; ahşap kompozit malzemelerin yanma özelliklerini ve yüzey dayanımını iyileştirmek, elektromanyetik kalkanlama özelliklerini artırmak amaçlanmıştır. Bunun için ahşap kompozit malzemelerin yüzeyi, rijit poliüretan malzeme ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ilaveli poliüretan malzeme ile kaplanmıştır. Uygun standartlarda yanma, sertlik, elektromanyetik alan, kütle kaybı ve ısıl geçirgenlik testlerine tabi tutulmuşlardır.

## 2. MATERİYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

MDF olarak AGT Ağaç Sanayi ve Tic. A.Ş. temin edilen ham MDF kullanılmıştır. AGT firmasının TS EN 622-5 ahşap esaslı levhalar standardına uygunluk sertifikası bulunmaktadır.

Kontrplağın iç dış tüm katmanları düzgün olmalı ve bu katmanlar birbirine sağlam bir şekilde bağlanmış olmalıdır. Kontrplaktaki ağacın cinsi ve katmanların inceliği, kullanılacağı yere bağlı olmakla beraber ürünün yüke dayanıklılığını belirler. Kontrplak katmanlarını birleştiren tutkal, malzemenin zor şartlardaki performansını belirleyen önemli bir unsurdur. Bu çalışmada kullanılan kontrplak malzeme ALUÇ Orman Ürünleri Pazarlama ve Tic. Ltd. Şti. temin edilmiştir.

Poliüretan üretimi için iki komponentli üretim yöntemi seçilmiş ve OSA Kimya tarafından üretilmiş polyol (POL SENTA 77) ve izosiyonat (ISONAT 200) kullanılmıştır. Yaklaşık  $1,10 \text{ g/cm}^3$  yoğunluk oranına sahip A komponenti ile yine yoğunluğu  $1,10 \text{ g/cm}^3$  olan B komponenti 1:1 oranında karıştırılarak üretim işlemi gerçekleştirilmiştir. Krema zamanı 40 sn ve jelleşme süresi 100 sn'dir. Jelleşme süresinin 100 sn gibi fazla olması kalıba dökme işlemi için



yeterli zamanı vermiştir. Bu da elle üretim yapılabilmesi için iyi bir özelliktir.

1538 °C erime sıcaklığına sahip ve 5,24 g/cm<sup>3</sup> yoğunluktaki ve minimum %98 saflık derecesine sahip Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZAG Kimya isimli firmadan temin edilmiştir.

## 2.2. Yöntem

Pistonlu bir düzenek bulunan silindirik bir kapta 1:1 oranında karıştırılan A ve B komponentleri daha sonra ucunda 4 cm'lik bir karıştırıcı bulunan matkap ile 1500 dev/dk dönme hızında 40 sn kadar karıştırılmıştır. Önceden hazırlanan 30 x 30 cm ebatlarında kesilmiş ve kalıplanmış MDF üzerine dökülmek suretiyle üretim gerçekleştirilmiştir.

Katkılı poliüretan üretimi esnasında katkı malzemesi ağırlıkça %5 ve %10 oranında karışımının içine ilave edilmiştir. Poliüretanın krema zamanı 40 sn olduğundan, katkı malzemesinin homojen bir şekilde dağılımını sağlamak için poliüretan üretiminde B komponenti eklenmeden önce Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesi yapılmış ve 1500 dev/dk dönme hızında 30 sn karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra B komponenti ilave edilmiş ve önceden kalıba alınmış MDF üzerine dökülerek poliüretan üretimi gerçekleştirilmiştir. Aynı işlemler kontrplak malzeme için tekrarlanmıştır. Ham, poliüretan kaplı ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı poliüretan kaplı kompozit malzemelere ait görüntüler Şekil 1'de verilmiştir.

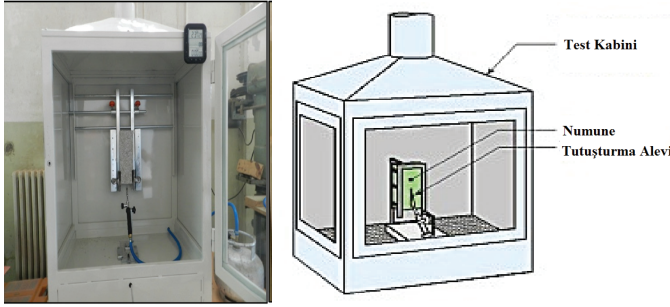


**Şekil 1.** Üretilen ahşap kompozit malzemeler

Üretilen 30 x 30 cm ebatlarındaki malzeme gerekli analizlerin ve deneylerin yapılabilmesi için uygun ölçülerde kesilmiştir. 9 x 25 cm'lik kısmı TS EN ISO 11925-2 standardında yanma deneyleri için kullanılmıştır. 10 x 10 cm'lik kısmı kütle kaybı ve ısı geçirgenlik tayini için kullanılmıştır. 10 x 10 cm boyutunda kesilen bir kısmı sertlik ölçme testlerinde kullanılmıştır. 3,4 x 7,2 cm'lik kısmı elektromanyetik alan ölçümleri için kullanılmıştır.

Ağaç malzeme yanabilen bir malzemedir. Sıcaklığın 275°C'ye çıkarılması ile kendiliğinden yanabilir. Ayrıca küçük bir alev kaynağına maruz bırakılması tutuşarak yanmasına neden olur (Peker ve Atılgan, 2015). Bu yüzden ağaç malzemelerin yanma dirençlerinin iyileştirilmesi için katkı malzemeleri ilavesi ile yüzey kaplama yöntemi seçilmiştir. Üretilen malzemelerin yanma ve alev hızlarının belirlenmesi gerekmektedir. Çeşitli standartlarda tutuşma ve yanma testleri vardır (Tuzcu, 2010). Bu çalışmada üretilen sert poliüretan kaplı ahşap malzemelerin yanma ve tutuşma davranışlarının belirlenmesi için TSE EN ISO 11925-2 standardına göre tek kaynaklı alev testi uygulanmıştır. 11925-2 deneyi numunelerinin direkt olarak küçük bir aleve maruz bırakılmak suretiyle yanabilirliğinin tayi-

ni için uygulanan bir yöntemdir. Tek kaynaklı alev yanma testi cihazı Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Tek alev kaynaklı yanma testi cihazı

Test, test numunesinin dikey olarak monte edildiği bir test odası içinde gerçekleştirilir. Test numunesi bir gaz alevi tarafından kenar ve / veya yüzey maruziyetine maruz bırakılır. Test sırasında tutuşma süresi, yanma damlacıkları ve alevlerin öngörülen süre içerisinde test örneğinin üst işaretine ulaşp ulaşmadığı kaydedilir.

Kütle kaybı ve ısı geçirgenlik oranlarının belirlenmesi için kullanılan deney düzeneği Şekil 3’te görülmektedir. Deney düzeneğinde alev kaynağı, numune tutucu ve termometre bulunmaktadır. 300 sn sürecek olan deneyde 10 x 10 cm boyutundaki numuneler kullanılmıştır. Numunenin ön yüzeyine uygulanan alev sonucunda arka yüzeyinin sıcaklığı her 30 saniyede ölçülmüş ve kayıt edilmiştir. Kütle kaybını % olarak belirlemek amacıyla ilk ve son ağırlıklar tartılmış ve kayıt altına alınmıştır. Deney sonucunda ise yanma derinliği ve yanma çapı değerleri tespit edilerek yorumlanmıştır.



**Şekil 3.** Kütte kaybı ve ısı geçirgenlik test düzeneği

Yüzeye kaplanan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  katkılı poliüretanın sertlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan sertlik ölçme cihazı Şekil 4 (a)'da, elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin ölçümü için kullanılan cihaz Şekil 4 (b)'de görülmektedir.



**Şekil 4.** (a) Sertlik ölçme cihazı (Misawa Seiki Hardness Tester), (b) Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçüm cihazı (Rohde & Schwarz Spectrum Analyzer)

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

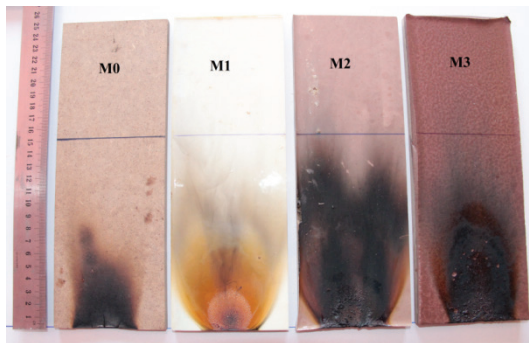
Üretimi gerçekleştirilen numunelerin deney sonuçlarının açıklanması daha kolay olması bakımından Tablo 1'deki şekilde isimlendirilmesi yapılmıştır.

**Tablo 1.** *Hazırlanmış numunelerin isimlendirilmesi*

| Kısaltma | Açıklama                                                                    | Kısaltma | Açıklama                                                                          |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| M0       | Ham MDF                                                                     | K0       | Ham kontrplak                                                                     |
| M1       | Yüzeyi sert poliüretan kaplı MDF                                            | K1       | Yüzeyi sert poliüretan kaplı kontrplak                                            |
| M2       | Yüzeyi %5 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> katkılı sert poliüretan kaplı MDF  | K2       | Yüzeyi %5 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> katkılı sert poliüretan kaplı kontrplak  |
| M3       | Yüzeyi %10 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> katkılı sert poliüretan kaplı MDF | K3       | Yüzeyi %10 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> katkılı sert poliüretan kaplı kontrplak |

### 3.1. Yanma Direncinin Belirlenmesi

Hazırlanan numuneler yanma testine tabi tutulmadan önce 9 x 25 cm boyutlarında kesilmiştir. TS EN 11925-2 deneyinde deney numunesi için tutuşma olup olmadığı, alevin uygulandığı noktadan itibaren yüksekliğinin 150 mm'ye ulaşp ulaşmadığı gözlemlenir. Bu yüzden malzemelerin 150 mm yüksekliğinden yatay bir çizgi çekilmiştir. Yapılan yanma testine tabi olmuş malzemelerin son durumları Şekil 5'te görülmektedir. Şekil 5'e göre malzemelerin tamamında alev 150mm çizgisine ulaşmamıştır. Bunun neticesinde malzemenin yangına tepki sınıfı B2 olarak kabul edilmektedir.





Şekil 5. Ahşap kompozit malzemelerin tek alev kaynaklı yanma testi

### 3.2. Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi

Sertlik; çoğunlukla bir maddenin bir başka cismin batırılmasına karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır veya malzeme yüzeyinin kalıcı şekil değiştirmeye karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanabilir (Onaran, 2006). Sertlik deneyi basit oluşu, malzemede daha az tahribat oluşturması gibi nedenlerden dolayı mekanik özelliklerin belirlenmesinde en yaygın kullanılan deneylerden biridir. Bu çalışmada üretilen malzemelere ait sertlik değerleri Tablo 2’de görülmektedir. Yüzeye kaplanan malzemelerin sertlik değerleri saf poliüretan kaplamaya oranla kontrplak malzemelere yapılan kaplamalarda artarken MDF yüzeyine yapılan kaplamalarda azalmıştır.

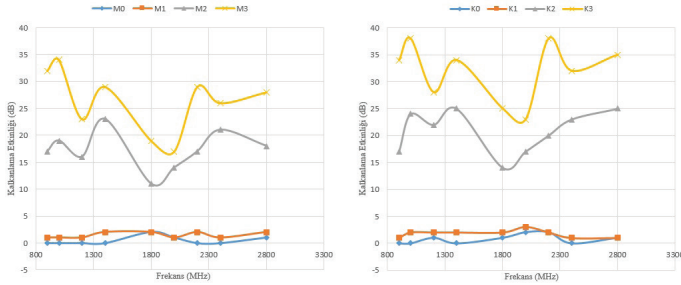
Tablo 2. Sertlik değerleri

|           | ROCKWELL | BRINELL |           | ROCKWELL | BRINELL |
|-----------|----------|---------|-----------|----------|---------|
| <b>M0</b> | 25       | 55      | <b>K0</b> | 4        | 34      |
| <b>M1</b> | 62       | 92      | <b>K1</b> | 8        | 38      |
| <b>M2</b> | 40       | 70      | <b>K2</b> | 12       | 42      |
| <b>M3</b> | 2        | 32      | <b>K3</b> | 7        | 37      |

### 3.3. Elektromanyetik Kalkanlama Ölçümü

Elektromanyetik alanın zararlı etkileri, maruz kalma süresi ve yoğunluğuna bağlıdır. Bu dalgalar, cihazlarda sinyalin parazite olmasına sebep olmakla birlikte aynı zamanda insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemektedir. Genel olarak bu zararlı yayılımlara maruz kalmak yetişkinlerde; kanser, beyin tümörü, baş ağrısı, yorgunluk, parkinson hastalığı ve alzheimer hastalığına, çocuklarda ise doğum öncesi ve sonrasında gelişim bozukluklarına, lösemi, beyin kanseri, öğrenme engelleri gibi hastalıklarına neden olabildiği düşünülmektedir (Doğan ve diğ., 2018).

Elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçümleri 100 kHz-6 GHz aralığında ölçüm yapan Rohde & Schwarz Spektrum Analizör ile yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Deneylerde 3,4 x 7,2 cm boyutlarında ham, poliüretan kaplı ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  katkılı poliüretan ile kaplanmış ahşap kompozit malzemeler kullanılmıştır. Yapılan deneylerde katkılanan maddelerin kalkanlamaya olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Deneylerde ölçüm yapılan frekanslarda ağırlıkça katkılama oranı arttıkça kalkanlama özelliği arttığı görülmüştür.



**Şekil 6.** Ham, poliüretan kaplı ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  katkılı poliüretan ile kaplanmış ahşap kompozit malzemelerin elektromanyetik kalkanlama etkinliği

Şekil 6'da görüldüğü üzere ham ve poliüretan kaplı ahşap kompozitler herhangi bir elektromanyetik kalkan-

lama özelliğine sahip değil. Etkin bir elektromanyetik kalkanlamaya sahip olan bir malzemenin elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin 30-60 dB arasında olması gerekir (Du ve diğ., 2000). %5  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  katkılı poliüretan ile kaplanmış MDF ve kontrplak elektromanyetik kalkanlama yapsalarda istenen etkinlikte değildir. %10  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  katkılı poliüretan ile kaplanmış MDF sadece 900-1100 MHz aralığında etkin kalkanlama özelliğine sahiptir. %10  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  katkılı poliüretan ile kaplanmış kontrplak ise 900-1200 MHz, 1400-1600 MHz, 2100-2800 MHz aralıklarında etkin kalkanlama özelliğine sahiptir.

### 3.4. Kütle Kaybı ve Isı Geçirgenlik

Kütle kaybı ve ısı geçirgenlik değerlerini araştırabilmek amacıyla DIN 4102 ve TS EN 13823 standardına göre dikey konumlandırılmış bir malzeme 20 mm mesafeden doğrudan alev maruz bırakılmaktadır. Kütle kaybı değerinin belirlenmesi için deney öncesinde numuneler tartılarak başlangıç ağırlıkları belirlenmiştir. 300 sn deney süresi boyunca her 30 sn’de numunenin ön ve arka yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Numunelerin deney sonrası ağırlıkları belirlendikten sonra elde edilen değerler Tablo 3’te verilmiştir. Ayrıca deney sonrası numune yüzeyinde oluşan değişiklikler (yanma çapı, yanma derinliği, kül oluşumu) gözlenmiş ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  katkılı poliüretan kaplı ahşap kompozit malzemeler de oluşan değişiklikler Şekil 7’de gösterilmiştir.



**Tablo 3.** *Ahşap kompozit malzemelerin kütle kaybı ve ısı geçirgenlik değerleri*

| Yanma süresi<br>(sn)            | Arka yüzey sıcaklığı (°C) |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                 | M0                        | M1    | M2    | M3    | K0    | K1    | K2    | K3    |
| 0                               | 18,8                      | 18,0  | 20,4  | 20,4  | 21,3  | 21,4  | 21,2  | 20,1  |
| 30                              | 24,9                      | 21,3  | 23,8  | 24,0  | 21,3  | 25,0  | 24,3  | 23,5  |
| 60                              | 35,3                      | 31,0  | 26,1  | 27,0  | 23,2  | 26,0  | 26,3  | 35,5  |
| 90                              | 69,2                      | 89,0  | 42,0  | 49,1  | 23,7  | 27,3  | 29,2  | 25,5  |
| 120                             | 76,6                      | 89,3  | 60,1  | 61,2  | 25,5  | 26,3  | 25,2  | 25,5  |
| 150                             | 81,9                      | 93,8  | 83,4  | 82,4  | 27,7  | 26,2  | 26,0  | 28,1  |
| 180                             | 78,9                      | 93,4  | 85,6  | 84,0  | 31,3  | 26,9  | 27,2  | 32,8  |
| 210                             | 80,6                      | 91,7  | 89,0  | 84,9  | 36,9  | 30,0  | 28,6  | 36,0  |
| 240                             | 86,0                      | 96,3  | 83,9  | 89,4  | 43,8  | 36,0  | 34,4  | 41,2  |
| 270                             | 104,0                     | 97,5  | 80,8  | 86,0  | 50,3  | 36,1  | 36,0  | 41,3  |
| 300                             | 170,0                     | 109,8 | 93,2  | 87,4  | 55,8  | 38,0  | 40,3  | 42,0  |
| Ön yüzey sıcaklığı<br>ort. (°C) | 290                       | 265   | 259   | 335   | 313   | 362   | 270   | 301   |
| İlk ağırlık<br>(gr)             | 59,13                     | 71,54 | 70,56 | 73,84 | 74,87 | 92,30 | 89,53 | 93,38 |
| Son ağırlık<br>(gr)             | 36,63                     | 53,51 | 52,85 | 56,62 | 62,70 | 76,84 | 72,93 | 77,29 |
| Kütle kaybı<br>(%)              | 38,05                     | 25,20 | 25,10 | 23,32 | 16,25 | 16,75 | 18,54 | 17,23 |

**Şekil 7.** *Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı poliüretan kaplı ahşap kompozit malzemelerin yanma davranışları*

Numunelerin arka yüzey sıcaklığı, kütle kaybı değerleri ve ortalama olarak ön yüzey sıcaklıkları incelendiğinde katkı malzemesi oranı arttıkça MDF malzemelerin kütle kaybı ve arka yüzeyinde ölçülen sıcaklıkları azalmıştır. Kontrplak malzemede ise katkılama ve katkı oranındaki değişiklik kütle kaybı ve ısı geçirgenlik özelliklerine olumlu katkı sağlamamıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Sonuç olarak, ahşap malzemelerin yanma özelliklerini ve yüzey dayanımını iyileştirmek, elektromanyetik kalkanlama özelliklerini artırmak için  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  katkılı sert poliüretan kaplanması yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Hem MDF hem de kontrplak malzemelerin yanma dirençlerinin belirlenmesi için yapılan tek kaynaklı alev testi (TSE EN ISO 11925-2) sonucunda alevin yayılması 150 mm çizgisine ulaşmamıştır ve malzemelerin yangına tepki sınıfı B2 (normal yanabilir) olarak belirlenmiştir.
- Yüzeye kaplanan malzemelerin sertlik değerleri saf poliüretan kaplamaya oranla kontrplak malzemelere yapılan kaplamalarda artarken MDF yüzeyine yapılan kaplamalarda azalmıştır.
- Elektromanyetik kalkanlama değerlerinde ham malzemelere oranla daha olumlu yönde bir iyileştirme tespit edilmiş, ağırlıkça katkılama oranı arttıkça kalkanlama özelliği artışı görülmüştür.
- Kütle kaybı incelendiğinde M0 malzemede %38,05 iken M3 malzemede %23,32 oranındadır. Sonuç olarak %15 gibi bir iyileşme sağlanmıştır.

- Isı geçirgenlik değerleri incelendiğinde M0 malzeme arka yüzey sıcaklığı maksimum 170 °C değerine ulaşmışken M3 malzemede maksimum 89,4 °C değerinde kalmıştır.
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  katkılamanın kütle kabı ve ısıl geçirgenlik bakımından kontrplak malzemelerde istenilen özelliklere olumlu katkı sağlamadığı belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Bal, B. C., **Gündeş, Z.**, Akçakaya E. (2015). Kavak, Kayın ve Okaliptüs Kaplamaları ile Üretilen Kontrplakların Vida Tutma Direncinin Araştırılması, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 77-83.
2. Doğan, S., Kayacan, O., Gören A. (2018). Elektromanyetik Kalkanlama Özellikli Polimer Kompozit Yapıların Geliştirilmesi, *Tekstil ve Mühendis*, 25(109), 44-52.
3. Du, S. G., Wang, B. P., Cao, Y. J. (2000). Study of Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Electro-Conductive Polymer Composite, *Fiber Reinforced Plastics/ Composite*, 6, 19-21.
4. Göker, Y., Akbulut, T., Ayrılmış, N. (2004). Türkiye’de Üretilen MDF Levhaların Teknolojik Özellikleri, **İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, 54(1), 13-36.
5. Mishra, M., Chun, D. (2015).  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a Photocatalytic Material:A Review, *Applied Catalysis A: General*, 498, 126-141.
6. Onaran, K. (2006). Malzeme Bilimi, *Bilim Teknik Yayınevi*, İstanbul, 205-206.
7. Özdemir, F. (2016). Orta Yoğunluklu Lif Levhanın (MDF) Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Isıl İşlemin Etkisi, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 57-61.
8. Özkaya, K., İlce, A. C., Burdurlu E., Aslan, S. (2007). The Effect of Potassium Carbonate, Borax and Wolmanit on the Burning Characteristics of Oriented Strandboard (OSB), *Construction and Building Materials*, 21(7), 1457-1462.
9. Peker, H., Atılğan, A. (2015). Doğal Bir Enerji Kaynağı Odun: Yanma Özelliği ve Koruma Yöntemleri, *Afyon Kocatepe University Journal of Science & Engineering*, 15(2), 1-12.
10. Tuzcu, H. (2010). Isı Yalıtımı ve Otomotiv Endüstrilerinde Kullanılan Yanmaya Dirençli Poliüretan Esaslı Malzemelerin Tutuşma ve Yanma Karakteristiklerinin Deney-

sel İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, **Yüksek Lisans Tezi**, 31-32.

11. Yıldız, K., Özgan, E. (2009). Farklı Ortamlara Maruz Kalan Bazı Ahşap Esaslı Levhaların Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 8(1), 8-29.
12. Yıldız, S. (2002). Isıl İşlem Uygulanan Doğu Kayını ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel, Mekanik, Teknolojik ve Kimyasal Özellikleri, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, 245-246.

# BİYOBOZUNUR POLİMERLER VE ÖZELLİKLERİ; NİŞASTA, POLİ(GLİKOLİK ASİT), POLİ(LAKTİK ASİT) VE POLİ(ΕΚAPROLAKTON)

Mithat ÇELEBİ<sup>1</sup>, İdris KARAGÖZ



---

<sup>1</sup> (Dr. Öğr. Üyesi); Yalova Üniversitesi, Polimer Mühendisliği Bölümü,  
77200 Yalova, Türkiye. E-posta: mithat.celebi@yalova.edu.tr





## **BİYOBOZUNUR POLİMERLER VE ÖZELLİKLERİ; NIŞASTA, POLİ(GLİKOLİK ASİT), POLİ(LAKTİK ASİT) VE POLİ(Ε KAPROLAKTON)**

**Mithat ÇELEBİ<sup>1</sup>, İdris KARAGÖZ**

### **GİRİŞ**

Geleneksel polimerlerin petrol kaynağından elde edilmeleri ve kullanıldıktan sonra uzun süre toprağa karışmaları gibi nedenlerle biyopolimerler, son yıllarda araştırmacılar tarafından ilgi odağı olan ve farklı sektörlerde kullanılmasıyla ilgili olarak üzerinde birçok araştırmanın yapıldığı çevreci (yeşil) ve biyobozunur malzemelerdir (Yoruç&Uğraşkan, 2017). Dünyada biyopolimerler odun, mısır, şeker kamışı, patates ve hint yağı gibi biyokütleden üretilmektedir (Kuz, 2017).

Aşağıda terimler hakkında tanımlar yapılmıştır.

Bozunma; fiziksel, kimyasal ve biyolojik mekanizmalar ile çeşitli süreçler ile parçalanın polimerler veya plastikler için kullanılan geniş kapsamlı bir terimdir. Biyobozunma; biyolojik olarak parçalanabilirlik demektir. Biyobozunma terimi belli bir sürede ve uygun bir ortamda mantarlar ve bakteriler gibi mikroorganizmaların etkisi ile bozulan polimerler için kullanılmaktadır. ASTM D5488 standardı ise biyobozunur polimerleri karbondioksit, metan, su, inorganik bileşikler veya biyokütleyle ayrışabilen polimerler olarak tanımlanmaktadır. Biyo-kaynaklı terimi ise yenilenebilir kaynaklardan elde edilen polimerler için kullanılmaktadır. Hammadde tüketim süresine kıyasla veya daha kısa bir süre içerisinde doğal çevrim ile yenilirse, yenilenebilir olarak tanımlanır. Biyo-esaslı malze-

---

1 (Dr. Öğr. Üyesi); Yalova Üniversitesi, Polimer Mühendisliği Bölümü, 77200 Yalova, Türkiye. E-posta: mithat.celebi@yalova.edu.tr



meler, yenilenebilir bir kaynak tanımına göre fotosentez yoluyla karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) kullanan tüm bitkileri ve hayvan kütlelerini içermektedir. Her biyo-esaslı polimer biyobozunur polimer değildir. Örneğin, biyo-esaslı polietilen veya poliamid 11 biyo-kaynaklı olmasına rağmen biyobozunur polimerler sınıfına girmezler. Ayrıca, her biyobozunur polimer de biyo-kaynaklı değildir. Örneğin, poli( $\epsilon$ -kaprolakton) veya poli(glikolik asit) biyobozunur polimerler sınıfına dâhil olmalarına rağmen biyo-kaynaklı değildirler.

ASTM D6866-12, ASTM D7026-04 standartları karbon izotop analizi vasıtasıyla malzemelerin biyolojik esaslı içeriğini ölçmek için geliştirmiştir (Vert ve ark., 2012; Niaounakis, 2015). Biyobozunur plastikler EN 13432 standartına göre ise, % 90'ı organik maddeden yapılan ve 6 ay içerisinde karbon dioksit dönüşürülmesi gereken plastikler olarak tanımlamıştır. Biyobozunur plastiklerin yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi, kullanım süresince poliolefinlere oranla 3–4 kat daha az enerjiye ihtiyaç duyması dolayısıyla daha az karbon salınımı yapması gibi önemli avantajları vardır (Celebi, 2016).

Konu üzerinde çalışan araştırmacılar tarafından “biyobozunur” kelimesi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

1. Doğal ortamda, mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen enzimatik reaksiyon ile karbondioksit ve su gibi basit moleküllere dönüşebilen malzemeler (Armentano ve ark., 2013)
2. Yeşil bitkiler, hayvanlar, bakteriler ve mantarlar tarafından, yaşam döngüsü esnasında doğal yolla üretilen polimerler (Singh, 2011)
3. Tüm organizmaların yaşam döngüsü esnasında doğal yolla oluşan polimerler (Rao, 2014)

4. Doğal süreç içerisinde biyokütle tarafından meydana getirilen, ortamda bulunan mikroorganizmalar tarafından parçalanarak bileşenlerine ayrılan ve çevreye zarar vermeyen malzemeler (Yoruç&Uğraşkan, 2017)

Biyobozunur polimerler, elde edildikleri kaynağa göre; 1- Doğal biyobozunur polimerler, 2- Sentetik biyobozunur polimerler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Doğal (biyokütle tarımsal kaynaklı, mikroorganizma kaynaklı) veya sentetik (monomeri biyoteknolojik yöntemler ile yenilenebilir kaynaklardan elde edilenler ve petrol kaynaklı) yoldan elde edilmelerine göre aşağıda verildiği gibi dört ana grupta sınıflandırılmaktadır (Yoruç&Uğraşkan, 2017).

- Biyokütle ve tarımsal kaynaklardan elde edilen polisakkaritler ve proteinler (selüloz ve türevleri, kitin, nişasta ve türevleri, lignin, pektin, dekstran, hyaluronik asit, alginat, agar, karragenan, kollajen, jelatin, kazein, albümin, fibrin, fibrinojen, ipek, glüten, soya proteini, zein, polinükleotidler)
- Mikroorganizmalar ve genetiği değiştirilmiş bakterilerden elde edilen poliestерler (polihidroksi alkanatlar/PHA, Polihidroksibutirat/PHB ve polihidroksibutirat-kovalerat/PHBV)
- Biyokaynaklı monomerlerin kimyasal polimerizasyonu ile elde edilen poliestерler (Polilaktidler, polilaktik asit/PLA, poliglikolik asit/PGA, polilaktik-koglikolik asit/PLGA)
- Petrol kaynaklı ürünlerden elde edilen alifatik ve aromatik polimerler (Polikaprolakton/PCL, polies-teramid/PEA, poliüretan/PU, poli(ortoesteramid)/POEA, polibütlen süksinat/PBS, polibütlen adipat tereftalat/PBAT)

Ortamdaki organik kimyasalların bozulması, bileşiklerin esas olarak mineralize edilmiş formlara dönüştürüldüğü ve mikroorganizma faaliyetleri ile parçalandığında, çevresel kirliliğe sebep olmayacak şekilde karbon, azot ve kükürt döngüleri yoluyla yeniden bileşenlerine ayrılması biyolojik bozunma olarak tanımlanır (Milani, 2017). Biyopolimerlerin biyobozunurluğu, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal yapıdan yüksek oranda etkilenmekte ve konuldukları çevre koşulları da biyobozunurluk üzerinde önemli rol oynamaktadır (Emadian ve ark. 2016, Kuz, 2017). Atmosferik şartlar, çevre, ortamın pH'ı ve nemi, oksijen oranı, şeker oranı ve sıcaklık biyobozunurluğu etkilemektedir (Kuz, 2017).

Kollajen, glikozaminoglikan, nişasta, kitin ve kitosan gibi doğal polimerler sinirleri, cildi, kıkırdakları ve kemiği onarmak için kullanılmıştır. Doğal olarak ortaya çıkan biyomalzemeler, doğal hücresel ortamı en yakından taklit edebilirken, biyolojik ürünlerden saflaştırılması sürecinden sonra partiden partiye büyük değişiklikler göstermeleri geniş kullanımları için ana sınırlamadır. Ayrıca, biyomedikal uygulamalarda, kollajen ve kitin gibi doğal polimerlerden yapılan nakil iskelelerinin dezavantajları olarak zayıf mekanik özellikleri, ısı ile kolayca eritilememesi ve özel bir çözücü gerektirmeleri sayılmaktadır (Yang ve ark., 2001).

## **1. Biyobozunur Polimerler ile Petrol Türevli Polimerlerin Karşılaştırılması**

Polimer malzemeler çevre kirliliği, toksik madde birikimine neden olma gibi dezavantajlarına rağmen; elastikiyet, kolay şekil alma, fiziksel ve mekanik özelliklerinin katkı ve dolgu maddeleriyle iyileştirilebilmesi, laboratuvar şartlarında istenilen özelliklerin geliştirilmesindeki sınırsızlık, hijyen ve nem almama, iletkenlik, yalıtkanlık ve ucuzluk gibi nedenlerden dolayı tercih edilen malze-

meler olmuşlardır. Ancak laboratuvarında elde ettiğimiz polimerler kısa zaman içinde doğada çok uzun sürelerde bozundukları için çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bundan dolayı biyobozunur polimerlerin üretimi son yıllarda önem kazanmış ve petrol kökenli polimerlerin yerine doğal bitkilerden yararlanılan biyobozunur polimer üretimine yönelik çalışmalar artmıştır.

Polimerler, organik ve anorganik maddelere göre sağlam malzemeler olarak bilinmektedir. Biyobozunur polimerlerin çoğu yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Günümüzde fosil tabanlı üretilen plastiklerin ve diğer plastik malzemelerin yerini biyobozunur polimerlerin alabilmektedir. Biyobozunur polimerlerin geleneksel plastiklere göre avantajları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

1. Polimerlere oranla, biyobozunur polimerlerin üretiminde daha az enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır.
2. Polimerlere göre doğada daha kolay bir şekilde biyobozunmaya uğramaktadır (Felix ve ark. 2017)
3. Petrol gibi fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmakta ve insan sağlığı açısından daha çevre dostu ve sağlıklı olmaktadır.

Çevre bilinci ve hükümetlerin uyguladığı sıkı atık yönetimi politikaları petrokimyasal esaslı plastikler yerine biyobozunur polimerlere ihtiyacı arttırmıştır (Pilla, 2011). Avrupa Biyoplastik Organizasyonuna göre biyoplastikler, yenilenebilir kaynaklardan veya biyobozunur ve/veya kompostlanabilen (gübrelenebilen) plastiklerden üretilen plastikler olarak tanımlanmıştır (Peelmana, 2013). Biyobozunurluk, petrol türevli polimerlere çeşitli katkılar katılarak da sağlanabilir. Ancak, bu katkılar metal içerikli olduğunda toprakta metal birikmesine neden olabilir. Biyo-kaynaklı polimerlerden elde edilen polimerlerden üretilen ambalaj malzemelerinde ise bu durum gözlenmez.

Biyopolietilen kimyasal sentez ile üretilmesine rağmen monomeri fermentasyon ile üretildiğinden biyo-esaslı polimerler sınıfına girer, fakat biyobozunur polimerler sınıfına dâhil değildir. Biyobozunurluk, ürünün bozunma sürecinde fiziksel ve kimyasal etkilerin yanında mikroorganizmaların da katkı sağlaması ile gerçekleşir. Böylece ambalaj malzemeleri görüntü ve çevre kirliliğine sebep olmazlar. Biyobozunur ambalaj filmleri üzerine gıdaların raf ömrünün uzatılması amacıyla ilk patent 1950'lerde alınmıştır (Yachuan, 2014). Geleneksel plastik ambalaj malzemelerinin yerine kullanılabilecek biyobozunur polimerler arasında nişasta, selüloz ve pektin gibi polisakkaridler, buğday gluteni, soya proteini, mısır proteini zein ve süt proteini kazein bulunmaktadır

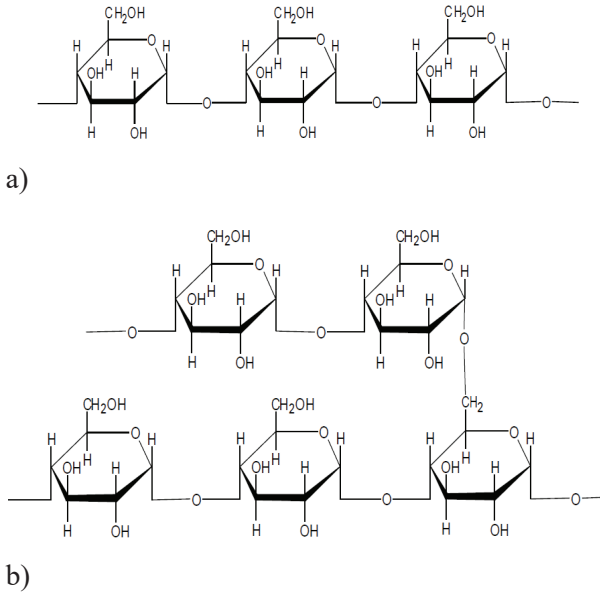
## 2. Biyobozunur Polimerler Ve Uygulamaları

### 2.1. Nişasta

Nişasta; bitkilerin yapraklarından, çiçeklerinden, meyvelerinden, tohumlarından ve köklerinden elde edilebilen oldukça verimli bir karbonhidrattır (Yoruç&Uğraşkan, 2017). Nişasta hidrofilik özellikte lineer yapıli amiloz ve dallanmış yapıdaki amilopektin moleküllerinden meydana gelen doğal bir polimerdir. Amiloz ve amilopektinin makromolekül zincirlerindeki güçlü molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlarından dolayı yarı kristalin yapıda ve işlenmesi zor bir polimerdir. Nişastada bulunan amiloz oranı %25 ve amilopektin oranı da %75 civarındadır. Yüksek amiloz içeriğine sahip (%40-70) ve mumlu nişasta olarak isimlendirilen, amiloz içeriği %0-8 arasında değişen nişasta çeşitleri de mevcuttur (Yoruç&Uğraşkan, 2017).

Amiloz,  $\alpha$ -(1,4) bağları ile bağlanmış D-glikoz moleküllerinden meydana gelmiştir. Amiloz nişastanın su absorpsiyonunda, şişmesinde ve jelatinize olmasında et-

kilidir. Amilopektin, yapısında  $\alpha$ -(1,4) ve  $\alpha$ -(1,6) bağları bağlanmış nişastayı oluşturan en büyük bileşendir. Amiloz ve amilopektin haricinde nişasta yapısında az miktarda; lipid, fosfolipid ve fosfat monoester türevlerini de bulunmaktadır (Wittaya, 2012). Amiloz ve amilopektinin yapısı şematik olarak Şekil 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** a) Amiloz, b) Amilopektin yapısı (Yoruç&Uğraşkan, 2017)

Nişasta granülleri soğuk suda çözünmez. Fakat nişasta granülleri su ile birlikte ısıtıldığında şişer ve jelatinizasyon meydana gelir. Nişasta granüllerinin jelatinleştiği sıcaklığa jelatinizasyon sıcaklığı denir. Bu sıcaklık nişastanın kaynağına, amilopektin amiloz oranına ve su içeriğine bağlıdır. Yüksek oranda amiloz molekülü içeren nişastalar (70:30) yaklaşık 60-70 °C’de jelatinleşir. Buna karşın tipik buğday nişastası (amiloz amilopektin oranı; 28:72) gibi nişastalar ise 52-65 °C sıcaklık aralığında jelatinleşir (Yachuan, 2014). Nişastanın sektörlere göre bazı uygulama örnekleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Biyobozunur polimerler arasında bol bulunması, yenilenebilirliği ve fiyat gibi özellikleri nedeni ile nişasta en çok ümit vaat eden biyobozunur polimerlerden birisidir. (Yachuan, 2014; Dursun ve ark., 2010).

**Çizelge 1.** Nişasta bazlı ürünlerin sektörlere göre bazı uygulamaları  
(Averous, 2004; Yoruç&Uğraşkan, 2017)

| Sektör                 | Uygulaması                                                                                              |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kağıt Sanayi           | Tutkal ve kaplama malzemesi, mukavva karton                                                             |
| Plastik Ambalaj Sanayi | Biyobozunurluk takviyesi                                                                                |
| Kozmetik Sanayi        | Kıvamlaştırıcı, diş macunu dolgusu                                                                      |
| İlaç Sanayi            | Tabletler için dolgu ve bağlayıcı malzemesi, süspansiyonlar için kıvamlaştırıcı, şekeriz tatlandırıcı   |
| Tekstil Sanayi         | Boya dolgu malzemesi                                                                                    |
| Kimya Sanayi           | Kir ve yağ tutucu                                                                                       |
| Gıda Sanayi            | Şekeriz tatlandırıcı, köpük ve film şeklinde gıda ambalajlarında, çikolata ve organik sebze ambalajları |
| İnşaat Sektörü         | Çevreci yalıtım malzemesi                                                                               |

## 2.2 Poli(glikolik asit)

Poli( $\alpha$ -hidroksi ester)ler, polianhidritler, poliortoeserler ve polifosfozenler gibi birçok sentetik biyobozunur polimer, doğal polimerler ile ilgili yukarıda belirtilen problemlerin üstesinden gelmek için geliştirilmiştir. Biyomedikal uygulamalarda, çoğu sentetik polimer, kimyasal hidroliz yoluyla parçalanır ve enzimatik işlemlere karşı duyarsızdır, böylece bozunmaları hastadan hastaya değişmez. Önemli bir sentetik biyobozunur polimer sınıfı olan poli( $\alpha$ -hidroksi ester)ler, laktik asit ve glikolik

asidin kopoliesterlerini içerir. Poli(glikolik asit), poli(lak k asit), polidioksanon ve bunların kopolimerleri, ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tara ndan onaylanan sente k biyobozunur polimerlerdendir. Bu biyobozunur polimerler 20 yıldan uzun bir süredir cerrahi dikiş ipliklerinde kul lanılmaktadırlar ve olumlu bir klinik geçmişe sahiptirler. Şimdiye kadar, PLA ailesi en yaygın kullanılan sentetik biyomalzemelerdendir. Laktik/glikolid kopolimerlerinde monomer oranlarının değıştirilmesiyle çok çeşitli fiziksel özellikler ve bozunma süreleri elde edilebilir. poli-L-laktid (PLLA) ve PGA yüksek derecede bir kristaliniteye sahiptir ve nispeten yavaşça bozunur. PLLA ve PGA'nın kopolimerleri (örneğin PLGA) amorfudur ve hızla bozulur (Yang ve ark. 2001).

PLA ve PGA'nın, kondenzasyon reaksiyonunu tersine çevrilebilirliğı, geri tepkime reaksiyonları nedeniyle ilgili karboksilik asitlerin doğrudan kondenzasyonu ile elde edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, yüksek molekül ağırlıklı PGA ve PLA tipik olarak kendi siklik diesterlerinin dimer glikolit ve laktitin halka açma polimerizasyonu yoluyla üretilir. Glikolit ve laktit monomerleri ilk önce glikolik veya laktik asidin kendi düşük moleküler ağırlıklı kondenzasyon polimerleri hazırlanır. Bu düşük moleküler ağırlıklı polimerler daha sonra termal olarak parçalanır ve altı üyeli siklik diesterleri oluşturur. Kristalin siklik diesterler yüksek oranda saflaştırılır ve sonra yüksek moleküler ağırlıklı polimerleri oluşturmak için halka açılması polimerizasyonu ile polimerize edilir (Yang ve ark. 2001).

Tüm glikolid homopolimerleri yüksek kristalinite de elde edilebilir. Kristalin halinde camsı geçiş sıcaklığı yaklaşık 25-65 °C ve erime sıcaklığı 185-225 °C'dir. Hemen hemen tüm glikolid homopolimerleri ekstrüzyon veya kalıplama yoluyla eritilerek işlenebilmektedir. Absorbe edilebilen malzeme olarak termal stabilitesi iyidir. Ekstrüzyon ve çözültiden döküm koşulları altında eriyik

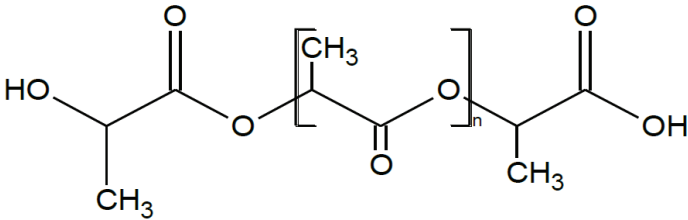


özellikleri de iyidir. Diğer biyobozunur polimerlere göre, poli(glikolik asit) (PGA), tipik olarak 35-75% kristallik oranı ile son derece kristalin bir polimerdir. Kristalleşme yüzdesi yüksek olduğundan PGA çoğu organik çözücü içinde çözünmez; istisna ise heksafloroizopropanol (HFIP) gibi son derece florlanmış organik çözücülerdir. Hidrofilik yapısından dolayı, PGA, 2 haftalık bir süre boyunca hızlı bir şekilde mekanik gücünün (% 50) kaybolma eğilimi vardır ve implantasyon sonrası yaklaşık 4 hafta içinde emilir. Tamamen 4-6 ay içinde absorbe edilebilir (Yang ve ark. 2001).

### 2.3. Polilaktik Asit (PLA)

Poli(laktik asit) (PLA) tekrarlayan birimleri laktik asit'ten oluşan bir biyobozunur polimerdir. Şekil 2'de PLA'nın yapısı ve tekrarlayan birimleri gösterilmiştir. PLA'nın erime sıcaklığı ( $T_m$ ) 155 °C ve kristalinitesi %16 civarındadır. Günümüzde piyasada bulunan PLA, çoğunlukla Poli (L-laktik asit) (PLLA), %8'den az D-laktik asit içerir. L-laktik asit/D-laktik asit oranına bağlı olarak, PLA'nın özellikleri değişiklik göstermektedir. %8'den daha fazla D-laktik asit içeriğine sahip PLA, amorfudur yani  $T_m$  göstermez. PLA'nın kristalinitesi genel olarak artan optik saflıkla birlikte artmaktadır. Optik saflığı %97 olan PLLA 53-63 °C camsı geçiş sıcaklığına ( $T_g$ ), 173-178 °C erime sıcaklığına ve yaklaşık %37 kristallik derecesine sahiptir. Poli(D-laktik asit) (PDLA) ile fiziksel olarak harmanlanarak, PLLA'nın  $T_m$  değeri 40-50 °C artırılabilir ve ısıl sapma sıcaklığı yaklaşık 60 °C'den 190 °C'ye kadar yükseltilebilir. %12 D-laktid içeren PLA'nın ısıyla şekillendirilmesi kolaydır ve gıda ambalaj sektöründe kullanıma uygundur (Yoruç&Uğraşkan, 2017). PDLA ve PLLA artan kristalinite ile oldukça düzenli bir stereokompleks oluştururlar. Eşit miktarlarda PLLA ve PDLA'nın karıştırılmasıyla elde edilen bir stereokompleks PLA(scPLA), PLLA ve PDLA'ya kıyasla daha yüksek bir erime noktası-

na ( $T_m > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ve kristallik oranına sahiptir (Niaounakis, 2015).



Şekil 2. PLA'nın yapısı (Yoruç&Uğraşkan, 2017)

PLA'nın mekanik özellikleri optik saflığına ve molekül ağırlığına bağlıdır. Daha yüksek bir molekül ağırlığı gerilme mukavemetini ve elastik modülü yükseltir ve kopma uzamasını düşürür. Yaygın olarak kullanılan PLA (yaklaşık %5 D-laktik asit içeriği) düşük kırılmada uzama (yaklaşık %6-11 arası), 900-1300 MPa'lık Young modülü ve 61-73 MPa gerilme mukavemeti olan gevrek bir malzemedir. ScPLA, PLLA ve PDLA'dan daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. PLA, PET ile benzer mekanik özelliklere sahiptir; ancak, maksimum sürekli kullanım sıcaklığı PET'e oranla önemli ölçüde düşüktür.

Amorf PLA mükemmel şeffaflığa sahiptir. Şeffaflık PLA'nın en karakteristik özelliklerinden birisidir. Şeffaflık özelliği diğer biyobozunur polimerlerde gözlenmez. Bununla birlikte, bu şeffaf ürünler amorf halden dolayı ısı direnci açısından genellikle daha zayıftır. Örneğin, amorf PLA kapları şeffaflık açısından mükemmel ancak ısıya direnç açısından zayıftır ve bu nedenle sıcak su veya mikrodalga fırın için kullanılamazlar.

PLA'dan yapılmış bir ürün, yavaş kristalleşme hızından ötürü genellikle amorfudur ve daha düşük bir ısı direncine sahiptir. Özellikle, PLA'dan imal edilen ısıyla şekillendirilmiş bir ürün, yaklaşık 60 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda ısıya dayanıklıdır. Sonuç olarak, amorf bir PLA konteyneri

yüksek bir sıcaklıkta kullanım için uygun değildir. Örneğin, sıcak içecekler için bardaklar gibi PLA'dan yapılmış bir yiyecek kutusu, sıcak yiyecek ve içecek veya bir mikrodalga fırında kullanılamaz. PLA'dan imal edilen ürünlere ısı direnci kazandırma amacıyla, kristalinite içeriğini arttırmak ve kristalleşmeyi hızlandırmak için çok sayıda yöntem belirtilmiştir.

Fermentasyonla büyük ölçekli üretilen laktik asit kullanılarak, farklı yollarla poli(laktik asit) (PLA) sentezlenebilir. Cargill/Dow (Cargill Dow Polyesmer LLC, Midland, MI, USA) ya da Mitsui Chemicals (Mitsui Chemicals Inc., Tokyo, Japan) gibi firmalar doğal monomerlerden bu alifatik polyesterlerin geniş çapta uygulamalarını kullanmaktadır. Genellikle gıda ürünlerinin ambalajlarında kullanılır.

PLA, yapısal olarak poli(glikolik asit)'e çok benmesine rağmen, PLA'nın alfa karbonu üzerinde metil grubunun varlığı, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini çok farklı kılar. Bu yapı PLA'nın alfa karbonunda kristallığe sebep olur; bu nedenle, L ve D izomerleri oluşur. Poli (L-laktid) (PLLA) yarı kristal halde nispeten sert malzemedir ve camsı geçiş sıcaklığı yaklaşık 65 °C ve erime sıcaklığı yaklaşık 170-180 °C dir. PLGA %35 kristal özelliği ile PGA'dan daha kristalindir. Molekül ağırlığına bağlı olarak yaklaşık 200-250 °C'lik bir sıcaklık aralığında eritilip işlenebilir. Eriyik halde kalma süresinin düşük olması tavsiye edilir. Aksine, bir poli(D, L-laktid) stereo izomerleri ya da rastgele dağılımı (PLLA) olarak 50-60 °C aralığında bir camsı geçiş sıcaklığına sahip amorf ve şeffaf malzemedir. PLLA degradasyon oranı hızlıdır. Boyut ve numunenin kalınlığına bağlı olarak, PLGA hidrolizi 2-12 aylık bir süre içinde tamamlanabilir.

PLA aşağıdaki alanlarda kullanılmaktadır;

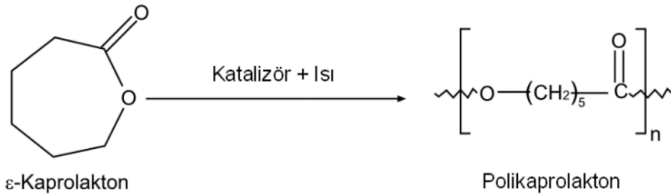
- Ekstrüzyon: çay poşetleri, malç filmleri

Malç filmleri: tarım ve ziraat uygulamaları için geliştirilmiştir. Fidelerin etrafına serilerek kontrollü çevre koşulları oluşmasını sağlar. Fidenin büyümesine ve nemin olmasına yardım ederek verimi artırır. Hasat süresince ürünün toprakla kirlenmesi önlenir. Biyobozunur malç filmleri hasat sonrasında toprağa karışarak toplama maliyetini düşürür ve toprağı zenginleştirir (Yang ve ark., 2001).

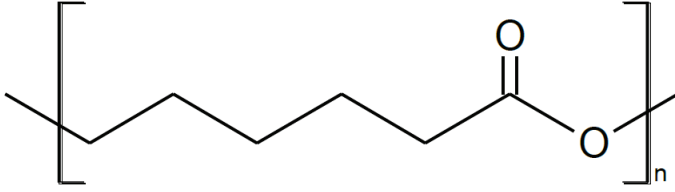
- Kompaundlar: ahşap, PMMA.
- Termoform: kepçeler, kurabiye tepsileri, fincanlar, kahve kutuları, tabak, çatal, kaşık
- Şişirme kalıplama: su şişeleri, meyve suyu ve kozmetik şişeleri.

## 2.4. Poli(ε-kaprolakton)

Poli(ε-kaprolakton) (PCL) tekrarlanan birimi ε-kaprolakton olan nispeten düşük bir erime sıcaklığına (60 °C) ve Tg'ye (-60 °C) sahip olan yarı kristalin bir termoplastik alifatik polyesterdir. Şekil 3a'da ε-kaprolakton'dan polikaprolakton sentezi, Şekil 3b'de ise polikaprolakton'un yapısı gösterilmiştir.



a)



b)

**Şekil 3.** a) Polikaprolakton sentezi, b) Polikaprolaktonun yapısı

Düşük Tg (-60 °C) ve Tm (60 °C) nedeniyle, PCL, film şişirme ve şişirerek kalıplama gibi termoplastik malzemeler için geleneksel tekniklerle işlenmesi zordur. Bu şekilde üretilen filmler haddelenmiş ve yapışkan olup, 130 °C üzerinde düşük erime mukavemetine sahiptir. Ayrıca, PCL'nun düşük kristalleşme oranı nedeniyle, kristalleşme işlemi, ürünün üretilmesinden sonra uzun bir süre boyunca ilerlemekte ve kristalinitede çeşitlilik yaratarak özelliklerde istenmeyen değişikliklere neden olmaktadır.

PCL oda sıcaklığında klorlu çözücülerde kolay çözünmektedir. PCL'nun biyobozunması enzimatik ve mikrobiyal etkilerle uzun ve yavaş gerçekleşmektedir. PCL tek başına kullanılabildiği gibi bir polimerle karıştırılarak veya kopolimerleri hazırlanarak da kullanılabilir. Biyomedikal, ilaç, tekstil, yapıştırıcılar, boyalar ve ambalaj sektörleri gibi birçok alanda kullanılabilmektedir.

Aromatik polyesterlerin geleneksel uygulamalarında poli(etilen tereftalat) (PET) ve polibütilen tereftalat (PBT) yaygın olarak kullanılmaktadır (Örneğin; içecekler için üretilen PET şişeler). Ama bu polyesterler genellikle biyolojik olarak parçalanmazlar ve biyobozunur plastikler için doğrudan uygulanabilir değildir. Aromatik polyesterlerin mükemmel malzeme özellikleri ile alifatik polyesterlerin biyobozunabilme potansiyellerinin birlikte kullanılma çalışmaları son 10 yıldır yapılmaktadır. İlk ürünler yılda bir-

kaç bin tonluk bir kapasitede ticarileştirilmiştir. Görece düşük ürün fiyatları ile uygulama ve işlenebilme için çok iyi malzeme özellikleri, bu biyobozunur plastikler için başarılı bir gelecek vaat etmektedir. Yüksek olefinik içeriği nedeniyle poliolefinlere benzer PCL'nin eşsiz özellikleri vardır. Hidrolitik kararsız alifatik-ester bağı varlığı polimerin biyobozunur olmasına neden olur. Homopolimer 2 yıl gibi bir parçalanma süresine sahip olduğundan, kopolimerleri biyobozunma sürecini hızlandırmak için sentezlenmektedir. Örneğin, D,L-laktit ile  $\epsilon$ -kaprolaktonun kopolimerleri daha hızlı bozunma oranlarına sahip malzemeler üretmiştir. Bu polimerlerin özellikleri Çizelge 2'de gösterilmiştir (Yang ve ark. 2001).

**Çizelge 2.** Bazı Biyobozunur Polimerlerin Özellikleri

| Polimer Tipi | Erime noktası (°C) | Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C) | Bozunma Süresi (ay) | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | Çekme Dayanımı (MPa) | Uzama (%) | Modül (GPa) |
|--------------|--------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|-----------|-------------|
| PLGA         | Amorf              | 45-55                      | Ayarlanabilir       | 1.27-1.34                     | 41.4-55.2            | 3-10      | 1.4-2.8     |
| DL-PLA       | Amorf              | 55-60                      | 12-16               | 1.25                          | 7.6-41.4             | 3-10      | 1.4-2.8     |
| L-PLA        | 173-178            | 60-65                      | >24                 | 1.24                          | 55.2-82.7            | 5-10      | 2.8-4.2     |
| PGA          | 225-230            | 35-40                      | 6-12                | 1.53                          | >68.9                | 15-20     | >6.9        |
| PCL          | 58-63              | -65                        | >24                 | 1.11                          | 20.7-34.5            | 300-500   | 0.21-0.34   |

Bu biyobozunur polimerlerin bazı kısıtlamaları da mevcuttur. Örneğin, tüm polyesterler biyoyumluluğu olumsuz yönde etkileyebilecek asidik bozunma ürünleri salmaktadır. Bu polyesterler nispeten malzemeleri sertleştirme eğilimindedir. Yük taşıma uygulamalarında bu bir avantaj olsa da, yumuşak doku veya kan damarlarıyla mekanik uyum gerektiğinde dezavantaj olur. Son olarak, bu polyesterlerin hiçbiri, ilaçların, çapraz bağların veya biyolojik olarak aktif kısımların kolay bir şekilde tutturulması için kimyasal olarak reaktif bir yan grup bulundurmamaktadırlar. Bundan dolayı, çeşitli uygulamalara hizmet eden polimerik hücrelerin iskelelerinin inşası için

uygun olmamasına rağmen, basit poli( $\alpha$ -hidroksi ester)ler, doku mühendisliğinin temelini ve fizibilitesini sağlamada iyi performans göstermiştir. Tirozin türevli polikarbonatlar ve poliarilatlar, laktit bazlı polidepsipeptit polimeri, polimerize poli(L-laktik asit-ko-L-aspartik asit) ve laktit bazlı poli(etilen glikol) polimeri, fonksiyonel yan gruplarla birlikte doku mühendisliği için yeni biyomalzemeler olarak önerilmiştir. Bu malzemeler henüz FDA tarafından onaylanmamış ve şu ana kadar piyasada mevcut değildir (Yang ve ark. 2001).

### 3. Sonuç ve Değerlendirme

Sürdürülebilir kaynaklardan elde edilmeleri biyobozunur malzemelerin en önemli özelliğidir. Bu nedenle gelecekte geri dönüşüm, petrol kaynaklarının tükenmesi gibi nedenlere bağlı olarak sentetik polimerlere oranla daha fazla uygulama alanı bulacaktır. Kullanılan katkı ve dolgularla, biyobozunur polimerlerin mekanik ve termal özellikleri, günümüzde kullanılan birçok polimerle benzer özellikler göstermektedir. Ambalaj sektörü başta olmak üzere, polimer malzemelerin kullanıldığı tüm sektörlerde biyobozunur malzemeler sunduğu çevreci özellikler nedeniyle alternatif malzemeler olarak öne çıkmaktadır. Bu durum gelecekte biyobozunur polimerler için daha fazla kullanım alanı oluşturacaktır.

## KAYNAKÇA

- Armentano IN, Bitinis E, Fortunati S, Mattioli N, Rescignano R, Verdejo MA, Lopez M, and Kenny JM, (2013). *Multifunctional nanostructured PLA materials for packaging and tissue engineering*. Progress in Polymer Science, 38: 1720-47.
- Averous L, (2004). Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: a review. Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews, 44: 231-74.
- Celebi M., (2016). *Biyobozunur Tarımsal Örtü Filmlerinin Sebze ve Meyve Üretiminde Kullanımı ve Uygulamaları*, 5-6 Ekim 2016, TÜRKAS, İstanbul.
- Emadian SM, Onay TT, Demirel B (2016). *Biodegradation of bioplastics in natural environments*. Waste Management, 59: 526-536.
- Dursun,S., Erkan, N., Yeşiltaş, M., (2010). *Doğal Biyopolimer Esaslı (Biyobozunur) Nanokompozit Filmler Ve Su Ürünlerindeki Uygulamaları*, 4(1): 50-77.
- Felix M, Perez-Puyara V, Romero A, Guerrero A (2017). *Development of protein-based bioplastics modified with different additives*, journal of applied polymer science, 134 (42), Article number: 45430.
- Felix M, Perez-Puyara V, Romero A, Guerrero A (2017). *Development of protein-based bioplastics modified with different additives*, Journal of applied polymer science, 134 (42).
- Kuz, P (2017). *Nişasta bazlı biyoplastik malzemeler*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Massey, L.K., (2003). Permeability Properties of Plastics and Elastomers, A Guide to Packaging and Barrier Materials Second Edition, Plastic Design Library,USA.
- Milani P, França D, Balieiro AG, Faez R (2017). *Polymers and its applications in agriculture*, Polímeros, 27(3): 256-266.



- Niaounakis, M. (2015). *Biopolymers: Processing and Products*. *Biopolymers: Processing and Products*. doi:10.1016/B978-0-323-26698-7.00008-8., PDL Handbook Series, Elsevier.
- Pawar, P.A., Purwar, A.H., (2013). *Biodegradable Polymers in Food Packaging*, American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-02, Issue-05, pp-151-164.
- Peelmana, B.,Ragaerta, P., Meulenaerb B., Adonsc D., Peetersc, R., Cardond, L.E., Imperf F.V., Devliegherea F., (2013), *Application Of Bioplastics For Food Packaging*, Elsevier, BELGIUM.
- Pilla, E.S., (2011). Handbook Of Bioplastics And Biocomposites Engineering Applications, Wiley and Sons, USA.
- Rao MG, Bharathi P and Akila RM (2014). *A comprehensive review on biopolymers*. Sci. Revs. Chem. Commun, 4: 61-68.
- Singh AV (2011). *Biopolymers in drug delivery: A review*, Pharmacology online, 1: 666-674.
- Wittaya T. (2012). Rice starch-based biodegradable films: properties enhancement (Intech Open Access Publisher).
- Vert M. Ve ark. (2012). *Terminology for biorelated polymers and applications*, Pure Appl. Chem.,Vol. 84, No. 2, pp. 377–410.
- Yang S, Leong K.F, Du Z, Chua C.K. (2001). *The Design of Scaffolds for Use in Tissue Engineering.Part I. Traditional Factors*, Tissue Engineering, 7, 6, 679-689.
- Yoruç, ABH, & Uğraşkan Y (2017). *Yeşil Polimerler ve Uygulamaları*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 318-337.
- Xu, H., Canisag, H., Mu, B., & Yang, Y. (2015). *Robust and Flexible Films from 100% Starch Cross-Linked by Bio-based Disaccharide Derivative*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 3(11), 2631–2639.

**ŞEKİL HAFIZALI  
ALAŞIMLAR  
(DERLEME)**

**Mustafa KIRMAN**





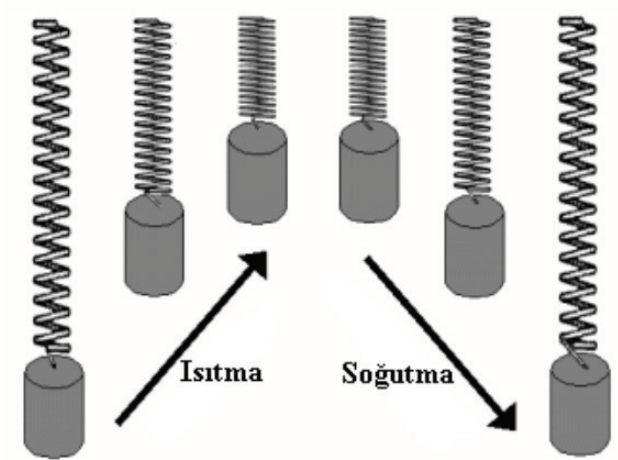


# ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLAR (DERLEME)

**Mustafa KIRMAN**

## 1. GİRİŞ

Akıllı malzemeler olarak da bilinen şekil hafızalı alaşımlar (ŞHA), uygun mekanik ve/veya ısı işlem uygulandığında, önceki şekline geri dönebilen metalik malzemelerdir (Shariat, Bakhtiari, Yang, & Liu, 2019; Yakıncı, 2015). Şekil 1.'de ŞHA'nın ısı ile ilişkisi verilmiştir.



Şekil 1. ŞHA'nın ısı ile ilişkisi (Toptaş & Akkuş, 2007)

Şekil hafızalı alaşımlarla ilgili sıkça karşılaşılan bazı terimlerin açıklamaları Tablo 1. 'de verilmiştir.

| Terimler                                      | Açıklaması                                                                                     |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Histerezis                                    | Faz dönüşümü anında enerji sönümleme.                                                          |
| Süperelastisite                               | Malzeme yüksek oranda deformasyonu toparlayabilir.                                             |
| Şekil hafıza etkisi                           | Aktüatör uygulamalarında malzeme kullanılabilir, gerilme üretebilir.                           |
| Yüksek aktüasyon gerilmesi (400- 700 MPa)     | Daha ufak mekanizmalarla aynı iş yapılabilir.                                                  |
| Yüksek aktüasyon şekil değişimi (yaklaşık %8) | Küçük mekanizmalar yüksek oranda şekil değişimi gerçekleştirebilir.                            |
| Yüksek enerji yoğunluğu (yaklaşık 1200J/K)    | Daha ufak mekanizmalar iş yapabilir.                                                           |
| Aktüasyon frekansı                            | Düşük frekans kullanımını kısıtlar.                                                            |
| Üç boyutlu aktüasyon                          | Değişik yöntemlerle üretilen çok kristalli malzemeler tasarımlarda kullanılabilir.             |
| Enerji verimi (%10-15)                        | Aktüasyon için gerekli ısı enerjisi, üretilen iş miktarından daha fazladır.                    |
| Dönüşüm kaynaklı plastisite                   | Dönüşüm çevrimi arttıkça malzeme içindeki kalıcı deformasyon birikir ve hasara sebep olabilir. |

**Tablo 1.** *ŞHA ile ilgili sık karşılaşılan terimlerin açıklanması (Acar, Toker, Kurkcu, & Karaca, 2019)*

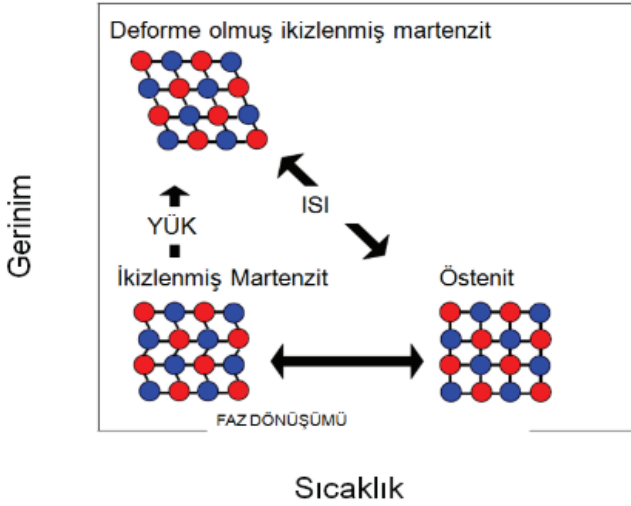
## 2. TARİHÇE

İlk defa 1932 yılında, Chang ve Read tarafından Altın-Kadmiyum (Au-Cd) alaşımlarında yapılan çalışmada şekil hafıza olayı görülmüştür (Çakmak & Kaya, 2017). Greninger ve Mooradian tarafından 1938’de Bakır-Çinko (Cu-Zn) alaşımında da aynı dönüşüm gözlemlenmiştir (Toptaş & Akkuş, 2007). Eş-atomlu Nikel (Ni) ve Titan-

yumun (Ti) şekil hafıza etkisi Buehler ve arkadaşları tarafından ABD Donanma Silah Laboratuvarlarında (Naval Ordnance Laboratory (NOL)) 1960'lı yıllarda belirlenmiştir. Bu malzemenin ismi bulunduğu laboratuvar isminden dolayı Nitinol adıyla patentleşmiştir (Aksöz, Demir, Ada, Gökmeşe, & Bostan, 2017; Çakmak & Kaya, 2017).

### 3. SINIFLANDIRMASI

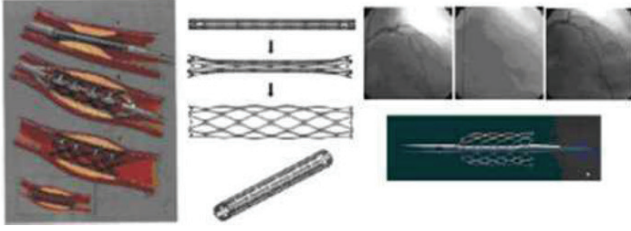
Metal bazlı şekil hafızalı alaşımlar, nikel-titanyum, bakır ve demir fazlı olmak üzere genel olarak 3 grupta sınıflandırılırlar (Canbay & Özkul, 2018). Ti-Ni bazlı şekil hafızalı alaşımlar, üstün şekil hafızası etkisi, yüksek mukavemet, süneklik ve süper esneklik özelliklerinden dolayı üzerine çokça çalışma yapılmaktadır (Hao vd., 2019; Hatefi Ardakani, Moslemzadeh, & Mohammadi, 2019). Ayrıca bu özellikleri sayesinde mühendislik alanlarında kullanımı hızla artmaktadır. Şekil hafızalı alaşımlar östenit olarak adlandırılan yüksek sıcaklık fazı ve martenzit olarak adlandırılan düşük sıcaklık fazı olmak üzere iki kararlı faza sahiptir (Nurveren, 2016). Bu özellik mikro ve makro yapılar arasındaki faz dönüşümleriyle ilgilidir. Bu faz dönüşümlerinden martenzitik dönüşüm difüzyonsuz bir şekilde gerçekleşmekte olup, ilk olarak alman fizikçi Adolph Martens tarafından demir esaslı alaşımlarda incelenmesi nedeniyle, martenzitik faz dönüşümü şeklinde adlandırılmaktadır. Daha sonraki birçok çalışma sonucunda martenzitik dönüşüm ile ilgili gelişmeler olmuş, demir esaslı alaşımlardan başka, bakır esaslı alaşımlar, metal dışı bazı malzemeler ve soy metallerde de gözlenmiştir (Çakmak & Kaya, 2017; Mohd Jani, Leary, Subic, & Gibson, 2014). Şekil 2.'de gerilme ve sıcaklık kaynaklı faz dönüşümleri gösterilmektedir. Düşük sıcaklıkta ikizlenmiş martenzit fazın sıcaklığı yükseltince, malzeme şekil değiştirmeden yüksek sıcaklık fazı östenite dönüşür. Malzemenin sıcaklığı tekrar düşürülünce martenzit fazına geri dönüşüm olur.



**Şekil 2.** *SHA'nın yük ve sıcaklık kaynaklı faz dönüşümü (Acar vd., 2019)*

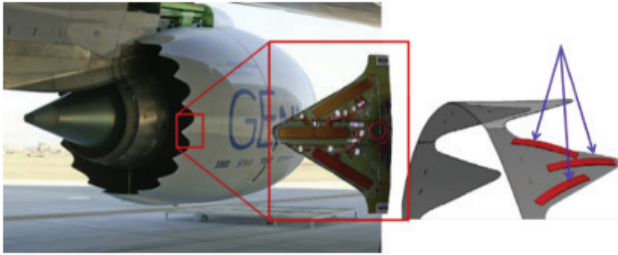
#### 4. KULLANIM ALANLARI

Şekil hafızalı alaşımlar sağlık sektörü başta olmak üzere birçok alanda geniş kullanım alanı bulmuştur (Scalet vd., 2019; Yakıncı, 2015). Uzay araçları, inşaat, sönümleme elemanları, mikro-elektro-mekanik sistemler, robot ve hareketlendirici teknolojisi, ince film uygulamaları, ortodontik diş telleri, endodontik uygulamalarda kullanılan aletler ve damar tıkanıklarının tedavisinde kullanılan stentler uygulama alanlarına örnek olarak gösterilebilir (Acar vd., 2019; Yakıncı, 2015). Stentle ilgili bir uygulama Şekil 3.'de verilmiştir. Burada Ni-Ti alaşımından yapılmış stent düz hale getirildikten sonra damar içerisine yerleştirilir ve vücut ısı ile birlikte şekil değiştirip orijinal haline geri döner ve damarda oluşan tıkanıklığın açılmasını sağlar (Yakıncı, 2015).



**Şekil 3.** Şekil hafızalı alaşımdan yapılmış stent uygulaması (Yakıncı, 2015)

Şekil hafızalı alaşımlarla ilgili uçak sanayisinde bir örnek de Boeing uçağından verebiliriz. Boeing 777-300 ER markalı ticari uçağı, Şekil 4.'de gösterilen GE90-115B markalı jet motoru üzerine ŞHA aktüatörler kullanılarak değişken geometrili şevron (chevron) olarak da bilinen aerodinamik bir cihaz geliştirildi. Bu cihaz sayesinde hem kalkış sırasındaki gürültü azaltılmış hem de sarsıntıyı en aza indirerek seyir konforunu arttırmışlardır (Mohd Jani vd., 2014).

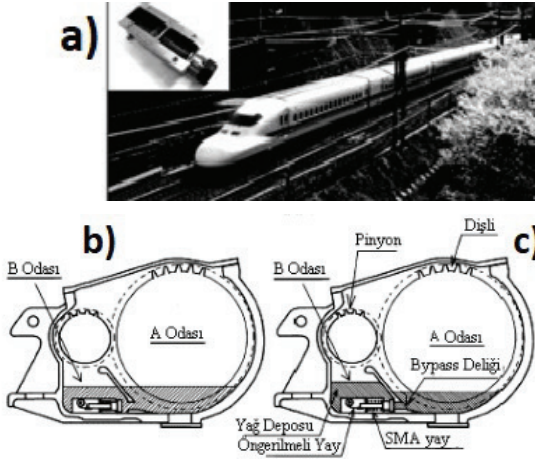


**Şekil 4.** Boeing'in değişken geometrili şevronu (chevron) (Mohd Jani vd., 2014)

Endüstriyel uygulamalara bir örnek de Şekil 5.'deki Shinkansen hızlı trenlerindeki otomatik yağ seviye ayarlayıcısı gösterilebilir. Tren yüksek hızlara çıktığında sıcaklığın artmasıyla ŞHA'dan yapılan yayın tetiklenmesi ile valf açılmaktadır. Burada iki oda halinde olan dişli kutusunun arasındaki bağlantıyı sağlayan deliğin açma kapama işleminin, yağın sıcaklığıyla kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Düşük sıcaklıklarda iki oda arasındaki yağ akışı açıktır an-



cak sıcaklık yükseldiğinde iki oda arasında bağlantı sınırlandırılarak akışkan basınç ayarı sağlanmaktadır (Toptaş & Akkuş, 2007).



**Şekil 5.** (a) Shinkansen hızlı trenlerinde otomatik yağlama ünitesinde ŞHA'nın uygulanması (b),(c) Düşük ve yüksek sıcaklıklarda valfin iç yapısının durumu (Toptaş & Akkuş, 2007)

## 5. BİYOUYUMLULUĞU

Biyomalzemeler insandaki organ ve dokuların fonksiyonlarını yerine getirmek için kullanılan materyallerdir (Aydın, Bahçepınar, Kırman, & Çipiloğlu, 2019). Bu biyomalzemeler insan vücudundaki akışkanlar ile sürekli temas halinde oldukları için biyoyumlulukları önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyoyumluluk ise vücut dokularına kimyasal, fiziksel, biyolojik anlamda ve vücudun mekanik davranışlarına bir uyum neticesinde iltihaplanma oluşturmama, dokuların normal fonksiyonlarına engel olmama yeteneği olarak bilinmektedir (Güven, 2014). ŞHA içerisinde Ni-Ti alaşımları iyi biyoyumluluğu, şekil hafıza etkisi, mükemmel aşınma direnci ve enerji emme özellikleri sayesinde birçok medikal, endüstriyel ve özel uygulama alanı vardır (Aksöz vd., 2017).

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada şekil hafızalı alaşımların mekanizması ve kullanım alanlarıyla ilgili genel bir bilgi verilmek istenmiştir. Şekil hafızalı alaşımlar gerek biyouyumluluğu gerekse üstün mekanik özellikleri dolayısıyla üzerinde sürekli çalışmaların devam ettiği bir alandır. Bu alaşımların içinde özellikle Ni-Ti alaşımları ön plana çıkmaktadır. Birçok sistemde aktüatör olarak kullanılmakta olup hem endüstriyel alanda yeni uygulamalar hem de akademik alanda çalışmalar devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

- Acar, E., Toker, G. P., Kurkcu, H., & Karaca, H. E. (2019). High temperature shape memory behavior of  $\text{Ni}_{47.3}\text{Ti}_{29.7}\text{Hf}_{20}\text{Pd}_3$  alloys. *Intermetallics*, 111, 106518. <https://doi.org/10.1016/J.INTERMET.2019.106518>
- Aksöz, S., Demir, Ü., Ada, H., Gökmeşe, H., & Bostan, B. (2017). NiTi şekil bellekli alaşım tozlarına mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak Ni ve Ti tozlarının ilavesinin mikroyapısal incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(1), 99–106. <https://doi.org/10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.303418>
- Aydın, İ., Bahçepinar, A. İ., Kırman, M., & Çipiloğlu, M. A. (2019). HA coating on Ti6Al7Nb alloy using an electrophoretic deposition method and surface properties examination of the resulting coatings. *Coatings*, 9(6), 402. <https://doi.org/10.3390/coatings9060402>
- Çakmak, Ö., & Kaya, M. (2017). Akıllı malzeme şekil hafızalı alaşımların termodinamiği. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 541–555. <https://doi.org/10.17100/nevbit-tek.311306>
- Canbay, C. A., & Özkul, İ. (2018). Yaşlandırma süresinin TiNi şekil hafızalı alaşımında termodinamik parametreler ve yapısal özellikler üzerine etkisinin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(2), 313–318. Erişim tarihi : 02.08.2019, <https://dergipark.org.tr/fumbd/issue/39197/461578>
- Güven, Ş. Y. (2014). Biyouyumluluk ve biyomalzemelerin seçimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(3), 303–311. <https://doi.org/10.21923/MBTD.11616>
- Hao, Y., Ji, Y., Zhang, Z., Yin, M., Liu, C., Zhao, H., Otsuka, K., Ren, X. (2019). Strain glass in  $\text{Ti}_{50-x}\text{Ni}_{35+x}\text{Cu}_{15}$  shape memory alloys. *Scripta Materialia*, 168, 71–75. <https://doi.org/10.1016/J.SCRIPTAMAT.2019.04.028>
- Hatefi Ardakani, S., Moslemzadeh, H., & Mohammadi, S. (2019). Delamination analysis in bimetals consisting

- of shape memory alloy and elastoplastic layers. *Composite Structures*, 225, 111149. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2019.111149>
- Mohd Jani, J., Leary, M., Subic, A., & Gibson, M. A. (2014). A review of shape memory alloy research, applications and opportunities. *Materials & Design*, 56, 1078–1113. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2013.11.084>
- Nurveren, K. (2016). Demir esaslı şekil hafızalı alaşımlar. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(1), 10–16. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.239381>
- Scalet, G., Niccoli, F., Garion, C., Chiggiato, P., Maletta, C., & Auricchio, F. (2019). A three-dimensional phenomenological model for shape memory alloys including two-way shape memory effect and plasticity. *Mechanics of Materials*, 136, 103085. <https://doi.org/10.1016/J.MECHMAT.2019.103085>
- Shariat, B. S., Bakhtiari, S., Yang, H., & Liu, Y. (2019). Computational and experimental analyses of martensitic transformation propagation in shape memory alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 806, 1522–1528. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2019.06.139>
- Toptaş, E., & Akkuş, N. (2007). Teknolojik araştırmalar: MTED 2007 (4) 15-22. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, 15–22. Erişim tarihi : 2.08.2019, [https://www.researchgate.net/publication/328997959\\_Sekil\\_Hafizali\\_Alasimlar\\_ve\\_Endustriyel\\_Uygulamalari](https://www.researchgate.net/publication/328997959_Sekil_Hafizali_Alasimlar_ve_Endustriyel_Uygulamalari)
- Yakıncı, Z. D. (2015). Şekil hafızalı alaşımların sağlık alanındaki uygulamaları. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, 3(2), 1–6. Erişim tarihi : 2.08.2019, <https://dergipark.org.tr/inonusaglik/issue/22785/410351>



# DERİN ÖĞRENME ALGORİTMALARININ ZİRAAT ALANINDAKİ UYGULAMALARI

Remzi GÜRFİDAN<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Yalvaç Teknik Bilimler Meslek  
Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Isparta, remzigurfidan@isparta.edu.tr





## DERİN ÖĞRENME ALGORİTMALARININ ZİRAAT ALANINDAKİ UYGULAMALARI

Remzi GÜRFİDAN<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Beslenme ve yemek arayışı insanoğlunun var oluşundan beri yaşamı sürdürmede en temel basamak olmuştur. Avlanma ile başlayan yemek bulma eylemleri zaman içerisinde ürün yetiştirme, hasat etme gibi zirai faaliyetlere yerini bırakmıştır. Zirai faaliyetlerde kullanılan araç gereçlerin çeşitlenmesi ile birlikte elde edilen ürünlerde de çeşitlilik sağlanmıştır. İlerleyen teknoloji ve geliştirilen bilimsel argümanlar ile birlikte çeşitli kimyasalların da gıda sektörüne girmesi yiyecek konusunda birçok inovasyonu beraberinde getirmiştir.

Teknolojinin günümüzde ulaştığı noktada tüm sektörler teknolojiyen mümkün olduğu kadar üst düzeyde faydalanmaktadır. Tarım sektörü de bu durumdan payını almıştır. Üretimi yapılan ürünün gelişimi, hastalık tespiti, verim hesabı, hasar durumu, sulama teknolojileri, afetten koruma önlemleri gibi birçok alanda gelişen teknolojiyen faydalanılmaktadır.

Endüstri 4.0 kavramının ortaya çıkışı ile birlikte bu kavramın paydaşlarından olan Yapay Zekâ kavramı öne çıkmaktadır. Yapay Zekâ teknolojisinin uygulanmasında en çok kullanılan yöntem ise Makine Öğrenmesi teknolojisidir. *Makine Öğrenmesi* algoritmaları *Gözetimli Öğrenme*, *Gözetimsiz Öğrenme* ve *Takviyeli Öğrenmedir*. *Makine Öğrenmesi* kavramında tek katmanlı yapı hakimdir ve karmaşık sorun çözümlerinde yetersiz kalabilmektedir. Bu

---

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Yalvaç Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Isparta, remzigurfidan@isparta.edu.tr



durumlarda *Derin Öğrenme* kavramı öne çıkmaktadır. *Makine Öğrenmesinin* aksine çok katmanlı yapıya sahip olan bu teknoloji birçok gizli katmanda aynı anda işlem yeteneğine sahiptir. Aynı zamanda öznitelik çıkarımında uzman etkisi devre dışı bırakılıp otomatik olarak yapılmaktadır.

Bu çalışmada *Derin Öğrenme* algoritmalarının ziraat alanındaki uygulamaları üzerine literatür taraması yapılmıştır. Kullanılan algoritmalar üzerinde incelemelerde bulunulmuş ve gerçekleştirilen çalışmalarda önerilen modeller detaylı biçimde incelenmiştir.

## Derin Öğrenme

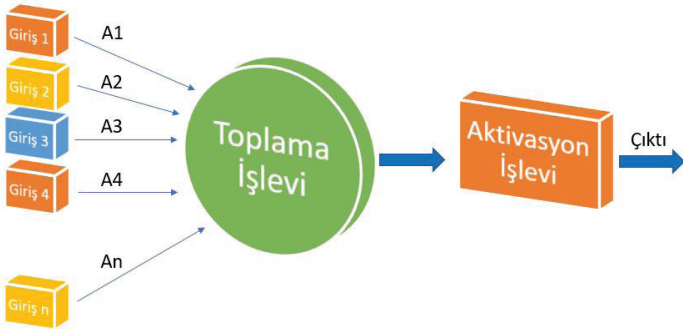
Derin öğrenme, makine öğrenmesi, *Yapay Zekâ* kavramları birbiri ile yakından ilişkili ve sıklıkla ayırt edilmeye zorlanan bir kavramdır. Şekil 1’de bu üç kavramın birbiri ile olan ilişkisi gösterilmiştir. Derin Öğrenme Makine Öğrenmesi teknolojisine gerçekleşmesinde kullanılan bir yöntemdir. Makine Öğrenmesi kavramı ise *Yapay Zekâ* teknolojisine gerçekleştirilmesinde kullanılan bir yöntemdir.

Derin öğrenme insan beyninin karmaşık problemler için gözlemlene, analiz etme, öğrenme ve karar verme gibi yeteneklerini taklit eden, denetimli ve denetimsiz olarak öznitelik çıkarma, dönüştürme ve sınıflama gibi işlemleri büyük miktardaki verilerden yararlanarak yapabilen bir makine öğrenmesi tekniğidir [1].



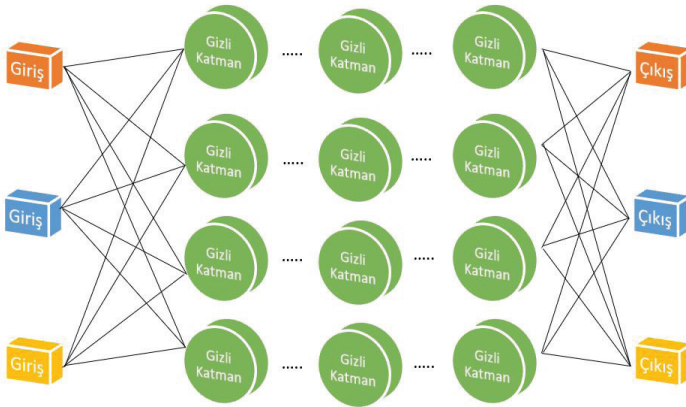
Şekil 1. Yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme ilişkisi

Derin Öğrenme teknolojisini uygulamada en çok kullanılan yöntemlerin başında yapay sinir ağları gelmektedir. Derin Öğrenme kavramının oluşum temeli insan beyinde bulunan sinir ağlarının taklit edilmesine dayanmaktadır. Derin sinir ağları sınıflandırma işlemlerini ve öznitelik çıkartılması işlemlerini birleştirerek[2] oluşturulan her katmanda probleme ait öznitelikler öğrenilir ve öğrenilen her bilgi bir sonraki katmanın girdi verisini oluşturur. Bu yapı sayesinde girişten çıkışa doğru basitten karmaşığa giden özniteliklerin öğrenildiği bir yapı oluşturulmuş olur [3]. Basit bir yapay sinir ağı hücresi Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 3’te ise derin sinir ağı yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 2.** Yapay sinir ağı modeli

Veri kümelerinden çıkarım yapmak, sınıflandırma yapmak ve tahmin işlemleri yapay sinir ağları ile yapılmaktadır. Derin sinir ağlarını (DSA) tanımlayacak olursak geleneksel sinir ağlarının genişletilmesi ile oluşturulmuş makine öğrenme teknikleridir diyebiliriz. DSA yapılarını makine öğrenme tekniklerinden ayıran unsur, DSA’ların özellik çıkarım adımlarına ihtiyaç duymamasıdır [4].



**Şekil 3.** Derin sinir ağı modeli

Derin Öğrenme teknolojisinin basit çalışma işleyişine bakacak olursak, giriş katmanlarının her birinin matematiksel modelde sahip olduğu belirli ağırlıklar mevcuttur. Her bir giriş gizli katmanda gerçekleştirilen işlemlere sahip olduğu ağırlık kadar etki etmektedir. İşlenen algoritmaya bağlı olarak gizli katmanlardan sonuca varmadan hemen önce varılacak sonucu kestirilip girişteki ağırlıklar küçük oranlarda arttırılıp azaltılarak daha doğru hesaplamalara geri besleme yapmaktadır. İstenilen düzeye vardığı kabul edildiğinde ise çıktı verilmektedir.

### Ziraat Alanında Derin Öğrenme Uygulamaları

Kuwata ve Shibasaki, 2015 yılında derin öğrenme yoluyla ürünün verim tahmini yapan bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada öznetelik çıkarma metodu olarak SVM (Support Machine Vector) kullanılmıştır. Giriş verileri olarak önceki yıllarda yüksek verim elde edilen ve yüksek verim elde edilen bölgelerin haritalandırılmış resimleri kullanılmıştır. Yöntem olarak ise resim tanımlama ve sınıflandır için evrişimli sinir ağı kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda da derin öğrenme algoritmaları önemli ölçüde tahminlerde başarıya ulaşmıştır [5].

Sakai ve arkadaşları 2016 yılında yaptıkları çalışmada derin sinir ağları ile sebze kategorilerini tanılama sistemi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada evrişimsel sinir ağı ile sekiz çeşit sebze resmi giriş olarak kullanılmıştır. Değerlendirme sonuçlarından, evrişimsel sinir ağı ile sebze tanıma öğrenme süreci için üç milyon tekrarlamının uygun olduğunu sonucuna ulaşılarak öğrenme oranı %99,14 ve sebze tanıma oranı sırasıyla %97,58 olarak elde edilmiştir [6].

Kussul ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları çalışmada uzaktan algılama verilerini kullanarak arazi örtüsü ve bitki türlerini Derin Öğrenme ile sınıflandırmışlardır. Evrişimsel sinir ağının çok katmanlı algılayıcı ve rastgele ağ üzerinde kullanılmasının avantajı, spektral ve zamansal yöntemlerden türetilmiş yerel ve seyrek özelliklerin hiyerarşisini oluşturulur. Çok katmanlı algılayıcı ve rastgele ağ ise küresel bir dönüşüm niteliğindedir. İki boyutlu evrişimsel sinir ağı, bir boyutlu evrişimsel sinir ağı daha iyi performans göstermiştir. Ancak, iki boyutlu evrişimsel sinir ağı tarafından sağlanan birinci sınıflandırma haritasındaki bazı küçük nesneler düzeltilmiş ve yanlış sınıflanmıştır. Genel sınıflandırma doğruluğu için rastgele ağ, birlikte sinir ağı, bir boyutlu evrişimsel sinir ağı, iki boyutlu evrişimsel sinir ağı için sırasıyla %88,7, %92,7, %93,5 ve %94,6'dır [7].

| #     | Class           | RF   |      | ENN  |      | 1-d CNNs |      | 2-d CNNs |      |
|-------|-----------------|------|------|------|------|----------|------|----------|------|
|       |                 | PA   | UA   | PA   | UA   | PA       | UA   | PA       | UA   |
| 1     | Winter wheat    | 92.2 | 95.8 | 95.2 | 95.3 | 95.1     | 95.9 | 95.3     | 96.1 |
| 2     | Winter rapeseed | 97.3 | 78.2 | 97.5 | 78.4 | 97.1     | 78.3 | 98.7     | 78.6 |
| 3     | Spring crops    | 49.1 | 96.1 | 50.6 | 96.7 | 48.6     | 93.6 | 51.1     | 97   |
| 4     | Maize           | 79.3 | 88.2 | 90.6 | 90.8 | 90.6     | 94.1 | 94.6     | 93.6 |
| 5     | Sugar beet      | 91.3 | 95.7 | 97.5 | 98.4 | 97.4     | 99.1 | 98.4     | 100  |
| 6     | Sunflower       | 98.9 | 96.5 | 99.2 | 96.3 | 99       | 96.4 | 99.4     | 96.9 |
| 7     | Soybeans        | 79   | 69.8 | 81   | 83.9 | 87.3     | 84.5 | 86.9     | 89.1 |
| 8     | Forest          | 99.5 | 99.5 | 99.6 | 99.7 | 99.4     | 99.8 | 99.4     | 99.9 |
| 9     | Grassland       | 92   | 82   | 94.5 | 91.6 | 94.6     | 91.8 | 93.5     | 94.5 |
| 10    | Bare land       | 89.6 | 47.4 | 90.6 | 82.8 | 92.6     | 74.9 | 89.3     | 88.2 |
| 11    | Water           | 99.8 | 100  | 99.8 | 99.9 | 99.9     | 100  | 99.9     | 100  |
| OA, % |                 | 88.7 |      | 92.7 |      | 93.5     |      | 94.6     |      |

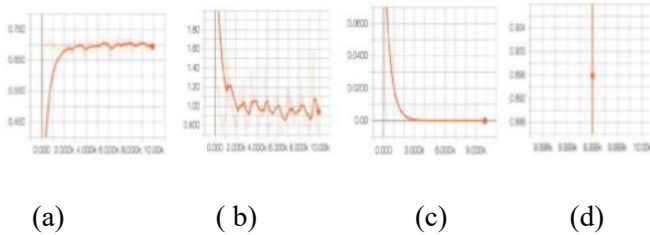
Şekil 4. Uygulanan yöntemlerin kıyaslanması

Abdullahi ve arkadaşları 2017 hassas tarımda evrişimsel sinir ağı kullanarak bitkileri görüntülerinden tanıma ve sınıflandıra uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Kurdukları sinir ağında görüntü özelliklerinin çıkartılıp sınıflandırılması, bölümlere ayrılması ve son olarak bir model oluşturulması hedeflenmiştir. Bu hedef için vektör destek sistemi, bulanık mantık yaklaşımı, görüntü sınıflandırmada evrişim sinir ağının derin öğrenme yaklaşımı kullanılarak hızlı sonuçlar üreten bir sistem kurulmuştur. Gerçekleştirilen sistemin sonuç testlerinde ortalama %99,58 doğrulukla sonuçlar elde edilmiştir [8].

Park ve arkadaşlarının 2017 yılında derin öğrenmenin T mekanizması yöntemi ile resim tabanlı hastalık teşhisi ve tahmini üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çilek meyvesi ve yapraklarının resimleri üzerinde %89,7 doğrulukla teşhis ve tahmin sağlanmıştır [9].



Şekil 5. Boyutlandırılmış Çilek Resimleri

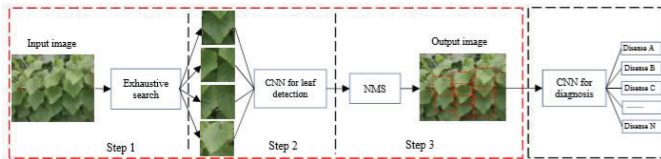


Şekil 6. Uygulamanın deneysel sonuçları a) Seyreklik b) Toplam kayıp c) Öğrenme durumu d) Doğruluk

Zhou ve Li 2017’de yer fıstığı ekim arazilerinin resim temelli derin öğrenme yöntemleri ile uzaktan algılama ve görüntüleme üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Uygulamanın mimarisinde CNN algoritmasının sınıflandırmasında iki evrimsel katman bulunmakta ve iki havuzlama işlemine tabi tutulmaktadır. Buna ek olarak az sayıda olan deneme örneklerinden dolayı iki adet tam bağlı katman bulunmaktadır. Yapılan çalışmada genel doğruluk %96,42, kappa verimli 0.944’tür. İstatistiksel hesaplamalar, Zhenyang ilçesinin yer fıstığı ekim alanının, mevcut tarımsal sübvansiyon politikasına uygun olarak, 2015’e kıyasla 2017 yılında %12,1 oranında arttığını göstermektedir [10].

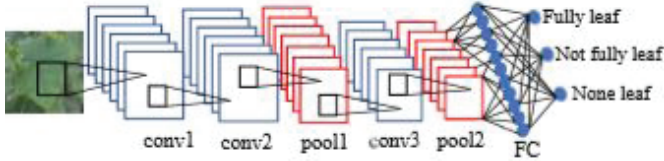
Ribera ve arkadaşları 2017 yılında derin öğrenme kullanarak bitki sayma üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sorgum bitkilerinin kendi RGB, UAV görüntülerini kendi veri setlerini kullanarak bir alandaki ekin bitki sayısını tahmin etmek için CNN algoritmalarını kullanan bir yöntem tanımlanmaktadır. Inception-v3 mimarisi ile yapılan testte, en küçük Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) değerini %6,7 olarak gözlemlenmiştir. Çalışmanın bir sonraki hedefi de bitkinin yaprak sayısı gibi özelliklerini çıkaracak bir yapı geliştirmek olarak belirlenmiştir [11].

Cap ve arkadaşları bitkilerin yapraklarını tespiti için derin öğrenme yaklaşımları ile bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Uyguladıkları yöntemde bitki yaprağının resmi giriş verisi olarak kullanıp resmi CNN algoritmalarına tabi tutmaktadırlar. Bunun sonucunda bitki üzerindeki tüm yapraklar tespit edilmektedir.



Şekil 7. Uygulamanın yaprak tespit sistemi

Sistemin amaçlanan hedefine ulaşımı için tasarlanan CNN algoritmasında iki kez havuzlama yöntemine tabi tutulmuştur. Toplam yedi katmandan oluşan yapıda altı gizli katman bir adet çıkış katmanı mevcuttur.



Şekil 8. Uygulamanın yaprak tespit sistemi

Toplamda 1,44 milyon görüntü, eğitim setinin%60'ına (864.000 görüntü) ve test setinin%40'ına (576.000 görüntü) ayrılmıştır. Her veri kümesi üç sınıftan aynı miktardadır. CNN modelin eğitimi, Core i7-3770K CPU, 16GB RAM ve GTX 1080Ti GPU ile yalnızca 10 dakika sürmektedir. CNN test veri setindeki doğruluğu %96,1 iken eğitim veri setindeki %93,1'dir [12].

Yalçın 2018'de derin öğrenme yöntemleri ile fenoloji tanıma üzerine çalışmalar yürütmüştür. Bitkilerin fenolojik aşamalarını tanımak ve sınıflandırmayı amaçlamaktadır. Veri girişlerinde kullanacağı görüntülerin öz-niteliklerini çıkarmak için daha önceden eğitilmiş CNN algoritmalarını kullanmıştır. Çalışmasında daha önceden elle hazırladığı sonuçlar ile deneysel sonuçları karşılaştırmak istemektedir. Çalışmalarının sonucunda 16 farklı bitki türünün fenolojik evrelerinin sınıflandırması ile elde hazırlanmış veriler karşılaştırılmış olup deneysel sonuçların daha başarılı olduğu tespit edilmiştir [13].

Lavrenuk ve arkadaşları uydu verilerinin sparse zaman serisi kodlamasının ürün sınıflandırmada derin öğrenme yaklaşımı üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Etiketli uydu resimleri çok fazla olmadığından dolayı etiket-

siz veri sayısı daha fazladır. Bu sebeple sistemde otomatik kodlayıcı kullanarak denetimsiz öğrenme için etiketsiz veriler kullanılmıştır. Önerilen metodoloji sadece geçen yıla ait verilere dayanarak Ukrayna ürün haritalandırılmasında uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu tekniğin uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Toplamda %85,9 doğrulukla güvenilir mahsul haritaları sağlamıştır [14].

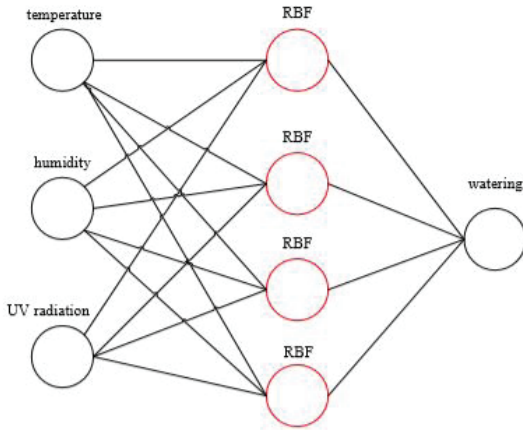
Chen ve arkadaşları derin öğrenmeye dayalı akıllı tarım üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada uygulamanın gerçekleştirildiği arazi üzerinde her gün ürün bilgisini toplayacak küçük model araçlar kullanılmaktadır. Araçlar önceden programlanmış güzergahlar boyunca devriye atmaktadır. Güzergâh üzerinde otomatik fotoğraflama yapmaktadır. Model araçların çarpışmasının önlenmesi sağlanmış bulunduğu alanın sıcaklık ve nem koşulları da ölçülmektedir [15].



**Şekil 9.** *Tasarlanan mobil araç*

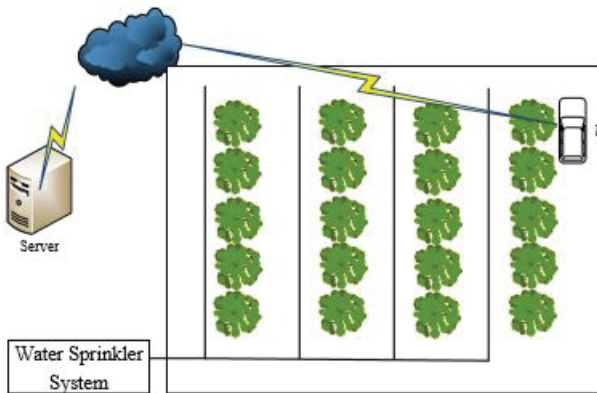
Çalışmada derin öğrenme esas olarak sıcaklık, nem ve hava durumu bilgilerine dayalı koşulların eğitim ve tahminine yönelik olarak kullanılmıştır.





**Şekil 10.** Uygulamanın derin sinir ağı yapısı

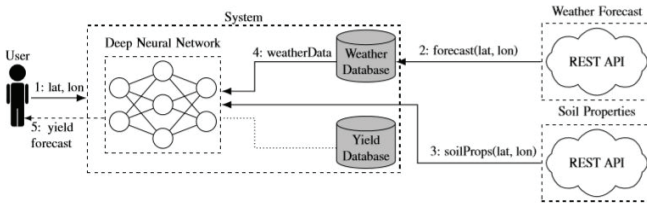
Sistem dış mekân çiftliklerine odaklanmaktadır. Minimum maliyet kullanarak, ihtiyaç duyulan algılayıcı sayısı, çiftlik ağma erişilebilirlik ve elektrik tesisatı gibi sorunları çözen akıllı bir tarım tesis eder. Sistemin bir ayağında da nesnelerin interneti teknolojisi bulunur. Gezen mobil araçlar topladıkları verileri internet vasıtası ile bir sunucuya göndermektedir. Duruma göre aktif edilecek sulama fiske sistemine veri yollanmaktadır [15].



**Şekil 11.** Uygulamanın sulama sistemi mimarisi

Varman ve arkadaşları kablosuz algılayıcı ağı kullanarak derin öğrenme ve nesnelerin interneti teknolojileri ile akıllı tarım uygulamaları üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının temel iki amacı vardır. Birinci amacı uygun ürünlerin yeni ürün aşamasında sulama tahminlerini gerçekleştirmek. İkinci amacı ise seçici alanlar ile sulamayı gerçekleştirmektir. Çalışmanın üst amacı ise alanları periyodik olarak gözlemleyebilmektir. Kablosuz algılayıcılar ortamın nemini, toprağın sıcaklığını ve ortamın sıcaklığını ölçüp bulut sisteminde depolamaktadır [16].

Oliveira ve arkadaşları tarım sezonu öncesi tarım verimi tahmini için ölçeklenebilir makine öğrenme sistemi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan uygulamada verim tahminleri gerçekleştirilebilmektedir. Bunu kullanıcının seçimlerine göre önbelleğe alınmış hava tahminleri ve var olan apilerden faydalanarak toprak özellik verilerini indirerek derin sinir ağı kullanarak yapabilir [17].



**Şekil 12.** Uygulamanın sistem mimarisi

Sistemde tahmin için toprağın sabit atmış beş sabit özelliği üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Sıcaklık değişkeninin ise ulaşılan en yüksek ve en düşük değerleri üzerinden veriler değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucu, tarım paydaşlarının önemli ölçüde daha az veri gereksinimi olan faydalı bilgilerden yararlanabileceğini ve faydalı doğruluk değerlerini koruyabildiğini göstermektedir [17].

| Study                                    | Crop                 | $R^2_{\alpha}$ | $MAPE_{\beta}$ [%] | $RMSPE_{\gamma}$ [%] | ML System                                        |
|------------------------------------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------------------|
| Kolotii, A <i>et al.</i> , 2015 [27]     | Wheat                | 0.50 - 0.80    | -                  | -                    | 0.55 - 0.75 $_{\alpha}$                          |
| Capa-Morcho, M <i>et al.</i> , 2016 [28] | Wheat, Maize         | -              | -                  | 2.1 - 13.2           | NA - 15.28 $_{\gamma}$                           |
| Meroni, M <i>et al.</i> , 2016 [29]      | Grain crops          | 0.62 - 0.91    | -                  | -                    | 0.55 - 0.75 $_{\alpha}$                          |
| Morelli, F <i>et al.</i> , 2016 [30]     | Maize                | -              | -                  | 20 - 34              | 2.85 - 15.28 $_{\gamma}$                         |
| Johnson, D 2014 [31]                     | Maize, Soybean       | 0.47 - 0.77    | -                  | -                    | 0.55 - 0.75 $_{\alpha}$                          |
| Pagani, V <i>et al.</i> , 2018 [32]      | Rice                 | 0.21 - 0.89    | -                  | -                    | 0.55 - 0.75 $_{\alpha}$                          |
| Kumar, N <i>et al.</i> , 2014 [33]       | Rice, Wheat          | 0.53 - 0.58    | -                  | -                    | 0.55 - 0.75 $_{\alpha}$                          |
| Bose, P <i>et al.</i> , 2016 [34]        | Wheat                | -              | 0.13 - 27.97       | -                    | 9.8 - 11.31 $_{\beta}$                           |
| Satir, O and Berberoglu, S, 2016 [35]    | Maize, Wheat, Cotton | 0.50 - 0.67    | 6.30 - 7.30        | -                    | 0.55 - 0.75 $_{\alpha}$ & 9.8 - 11.31 $_{\beta}$ |

$\alpha, \beta, \gamma$  subscripts indicate which metric is being shown for the ML System

Şekil 13. Uygulamanın Tahmin Tablosu

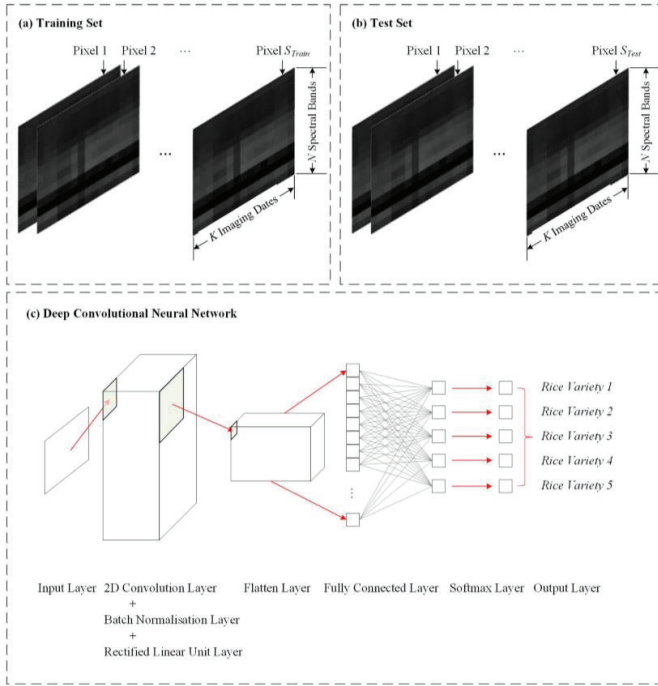
Panchbhaiyye ve arkadaşları tarımsal bitkileri tanımlamak için derin öğrenmeyi kullanmaya yönelik deneysel sonuçlar üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında CNN algoritmaları kullanan ekip 60.000 adet 32x32 boyutunda resim üzerinde deneyimler gerçekleştirmişlerdir. 60.000 resmin 50.000'i eğitim verisi 10.000'i test verisi olarak ayrılmıştır. Resimler CNN algoritmalarına uygun olan farklı veri gruplar üzerinde gerçekleştirilmiştir. CIFAR10 ve CIFAR100 veri gruplarında yapılan deneysel çalışmaların doğruluk sonuçları Şekil 14'te gösterilmiştir [18].

| CNN       | Parameters and Accuracy results |                                |                          |                         |
|-----------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|
|           | <i>Trainable parameters</i>     | <i>Custom dataset accuracy</i> | <i>CIFAR100 accuracy</i> | <i>CIFAR10 accuracy</i> |
| VGG 16    | 10,203,978                      | 23.00%                         | 64.49%                   | 90.17%                  |
| ResNet    | 458,378                         | 24.00%                         | 63.36%                   | 90.64%                  |
| Inception | 1,307,338                       | 32.00%                         | 58.99%                   | 88.70%                  |

Şekil 14. Veri gruplarının doğruluk tablosu

Guo ve arkadaşları pirinç çeşitlerinin derin sinir ağıları ile haritalanması üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada zaman serisi ve spektral alanları da dikkatle incelemişlerdir. Çalışmada hem spektral hem de zaman alanlarında derin bir evrimsel sinir ağı (CNN) oluşturulmuştur. Amaç, tarımsal zekayı hedefleyen yeni bir girişim olan, her bir pi-

rinç çeşidinin ilk özelliklerini, tayfsal öznitelik özellikleri ve büyüyen fenoloji açısından öğrenmektir [19].

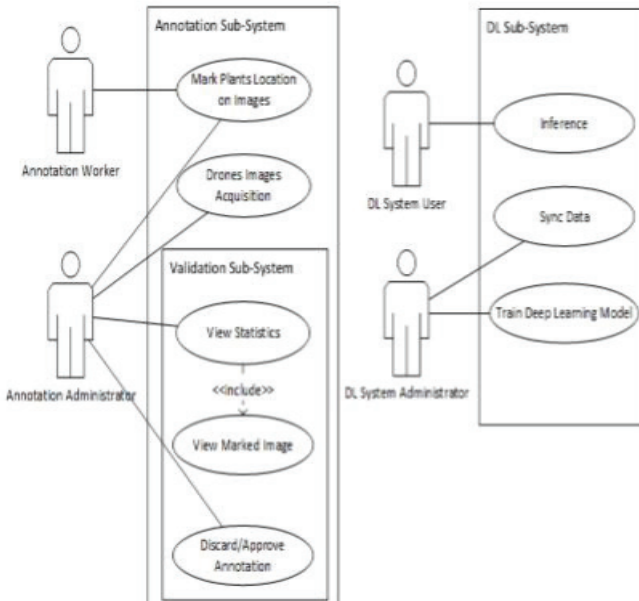


Şekil 15. Uygulamanın CNN model şeması

Deneyisel sonuçlar, önerilen yaklaşımla %92,87 iyi bir genel doğruluk elde edildiğini ve %57,49 bir doğruluk üreten standart bir destek vektör makine sınıfından daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Sherpa çeşidi, üreticinin en yüksek doğruluğunu %98,46 olarak göstermiştir. En yüksek kullanıcının doğruluğu Reiziq çeşidinde %97,93 olarak gözlenmiştir. Önerilen derin CNN öğrenmesiyle elde edilen sonuçlar, gelecekte pirinç haritalama için uzaktan algılanan görüntü zaman serilerinin uygulama bağlamında uygulanmasını sağlayacaktır [19].

Peng ve arkadaşları evrimsel sinir ağı kullanarak meyve sineği sınıflaması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Meyve sineğinin tanımlanması karantina çalışmalarında büyük önem arz etmektedir. Tanılama için CNN algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmanın deneysel sonuçlar, yöntemin *Bactrocera dorsalis*, *Bactrocera cucurbitae*, *Bactrocera tau*, *Bactrocera scutellata*'yı, %97,19 genel kesinliği ile tanımlayabildiğini ve iyi uygulama potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir [20].

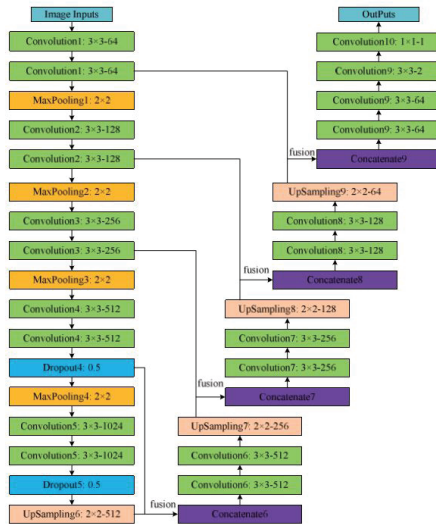
Cenggoroa ve arkadaşları derin öğrenmeye dayalı bitki sayma otomasyonu için bilgi sistemi tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Önerilen sistemimizin özel hedefi nedeniyle, plantasyon başına sadece bir nesnelerin interneti (IoT) cihazı kullanılmaktadır. Kullanılan IoT cihazı, plantasyonun havadan görüntülerini almak için kamerayla donatılmış bir drondur. Sistemin Use-Case diyagramı Şekil 16'da gösterilmektedir [21].



Şekil 16. Amaçlanan bilgi sisteminin Use-Case diyagramı

Genel olarak, önerilen sistemdeki işlemlerin dizisi, ek açıklama yöneticisi tarafından ek açıklama alt sistemindeki dron görüntü alımından başlar. Daha sonra, ek açıklama çalışanları, eğitim verisi olarak kullanılacak görüntülerin ek açıklamaları için tesislerin yerini işaretler. Açıklama yöneticisi daha sonra açıklamaları doğrular. Daha sonra, derin öğrenme sistem yöneticisi, eğitim verileri için görüntüleri ve ek açıklamaları çeker ve ardından derin öğrenme modelini bu verilerle eğitir. Son olarak, derin öğrenme sistemi kullanıcısı, eğitilmiş derin öğrenme modelini çıkartarak seçilen görüntüler için sayma sonucu alabilir. Çalışma benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında, önerilen sistem bitki sayımında belirli bir durum için diğer çalışmalardan daha fazla odaklanmıştır [21].

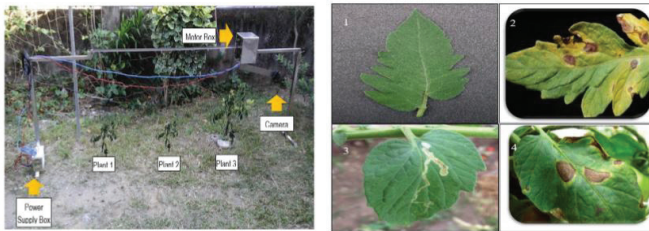
Zhuang ve arkadaşları derin sinir ağıları kullanarak tarlada yeşil sebze sınıflandırması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlar, sunulan yaklaşımın yeşil bitki örtüsünün sınıflandırılmasında etkili ve karşılaştırılabilir bir performans elde ettiğini göstermektedir.



Şekil 16. Sebze sınıflandırma için kullanılan sinir ağı mimarisi

Girdi olarak kullanılan resim verileri iki konvolüsyon ardından havuzlama grup işlemine üç kez tabi tutulmuştur. Ayrıca, baştan sona derin semantik bitki örtüsü öğrenme çerçevesi, tarlalarda tarım otomasyonu için mevcut olan gerçek zamanlı sınıflandırmak gerçekleştirmek için yeterince hızlıdır [22].

Luna ve arkadaşları derin öğrenmeye dayalı domates bitki yaprağı hastalıklarının tespiti ve tanınması için otomatik görüntü yakalama sistemi tasarlamışlardır. Kontrollü koşullar altında toplanan hastalıklı ve sağlıklı domates bitki yapraklarının 4.923 görüntü veri kümesini kullanarak, hastalık varlığını veya yokluğunu belirlemek için derin bir evrişimli sinir ağı eğitilmiştir. Sistem, izlenen domates bitkilerinde hangi domates hastalıklarının mevcut olduğunu belirlemek için Convolutional Neural Network'ü kullanmıştır. F-RCNN eğitilmiş anomali saptama modeli %80'lik bir güven puanı verirken, Aktarım Öğrenimi hastalık tanıma modeli %95,75'lik bir kesinliğe ulaşmıştır. Otomatik görüntü yakalama sistemi gerçek anlamda uygulanmış ve domates bitki yaprağı hastalıklarının tanınmasında %91,67 doğruluk göstermiştir [23].



**Şekil 17.** Görüntü yakalama sistemi prototipi ve hastalıklı domates yaprağı örnekleri

Tsuichihara ve arkadaşları derin öğrenme görüntü sınıflandırması kullanarak Drone ve GPS sensörlerine dayalı çayır yönetimi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı yetiştirilen inekleri kötü etkileyen geniş yapraklı yabancı otların sayısını ölçmek, verimli biçimde

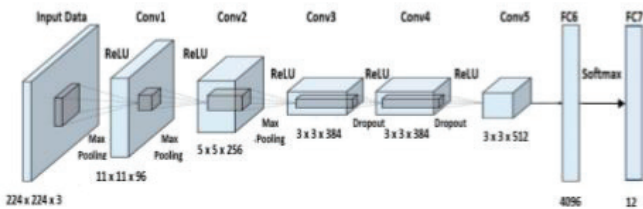
çiftlik bitkilerini artırmak ve yetiştiriciliği yapılan ineklerin sağlık durumunu gözlemlemektir [24].



Şekil 18. Zeminin normal görüntüsü ve etiketlenmiş görüntüsü

Bölge sınıflamasında geniş yapraklı yabancı otlar %80 civarında bir doğrulukla tespit edilebilmektedir. Sistemin otlayan bir inek grubu GPS verilerinden tespit edilip hastalıkların yayılmasını önleyeceği öngörülmektedir. Gelecekteki çalışmalarda yabancı otların daha havadan görüntülerini yakalamak hedeflenmektedir [24].

Alimboyong ve arkadaşları bitki fidelerinin görüntülerinin sınıflandırılması için ir derin sinir ağı geliştirmişlerdir. Derin sinir ağının mimarisi toplam yedi katmandan oluşur. İkiisi tamamen bağlı beş evrimsel katman mevcuttur [25].

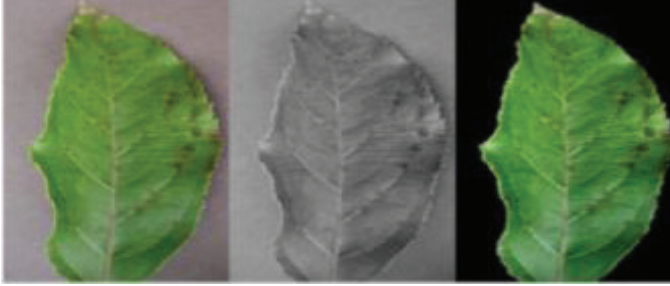


Şekil 19. Bitki fidesi tahmini için derin sinir ağı

Eğitimde on iki bitki türüne ait 4.234 bitki fidesi görüntüsü kullanılmıştır. Çalışmanın deneysel sonuçları, geliştirilen mimarinin toplam %90,15 doğrulukla sonuç vermiştir. Sonuçlar 111 dakika ve 36 saniyede elde edilmiştir.[25]



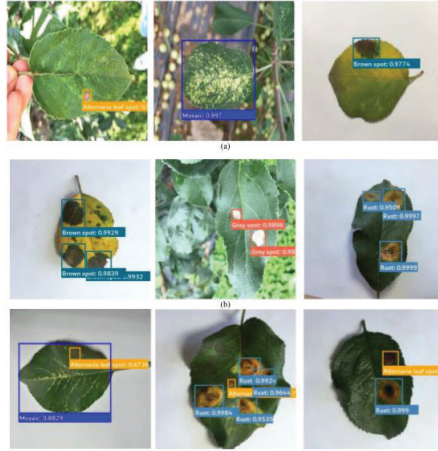
Kulkarni derin öğrenme yöntemleri ile ürünlerde hastalık tespiti üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada herkesin erişebileceği bir veri seti kullanılmıştır. Veri setinin içerisinde hastalıklı ve sağlıklı bitki yapraklarını içeren resimler mevcuttur.



**Şekil 20.** Yapragın orijinali- gri skala resmi – sınıflanmış resmi

Yapılan çalışmada sınıflama yapmak için evrişimsel derin sinir ağı kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada mobil cihazlar için de uygulama geliştirilmiştir [26].

Jiang ve arkadaşları elma yaprağı hastalıklarının tespiti için geliştirilmiş evrişimsel sinir ağına dayalı bir derin öğrenme yaklaşımı kullanmışlardır. Çalışmanın amacı elma endüstrisinde sağlıklı, doğru ve hızlı bir tespit sistemi bulunmamasıdır. Yapılan çalışmada CNN algoritmaları ile elma yapraklarının görüntüleri incelenmiştir [27].

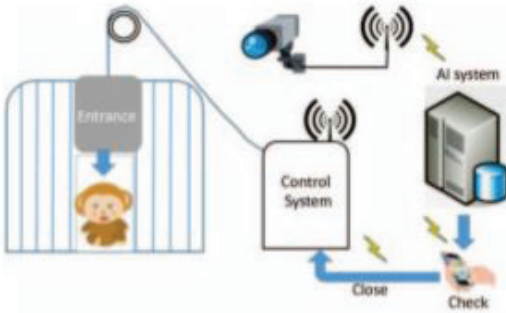


Şekil 21. Çalışmadaki tespit sistemi analiz görüntüsü

Sistemin eğitilmesi için toplamda 26.37 hastalıklı elma yaprağı resmi kullanılmıştır. Test sonuçlarında ise beş farklı elma yaprağındaki hastalıklar gerçek zamanlı olarak tespit edilebilmektedir [27].

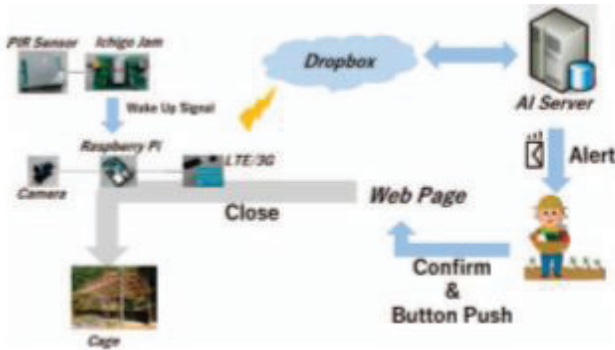
Francis ve arkadaşları evrişimsel sinir ağı kullanarak tarımsal bitkilerde hastalık tespiti ve sınıflandırması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Model, her biri birleştirme katmanı ve bunu bir araya getiren dört kattan oluşmaktadır. Tam olarak birbirine bağlı iki yoğun katman ve sigmoid işlevi, hastalığın var olma olasılığını belirlemek için kullanılmıştır. Eğitimde kullanılan veri setinde elma ve domates yapraklarını içeren 3663 resim bulunmaktadır. Yapılan testler sonucunda da %87 doğrulukla sonuç vermektedir [28].

Kamesaka ve Hoshino yaptıkları çalışmada derin öğrenme yaklaşımı kullanarak tarım ürünlerinin hayvanların zararlarından korunmasına yönelik bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem tarım ürünlerini maymunlardan koruma üzerine tasarlanmıştır. Sistemin genelinde kablosuz sensörler ve kızılötesi sensör kullanılmıştır [29].



Şekil 22. Çalışmanın sistem tasarımı

Tasarlanan sistem aynı anda sadece tek bir gövdeyi tespit edebilmektedir. Tespit edilmesi sonrasında zararları önleme olarak bir tuzak sistemi geliştirilmiştir. İstemin en önemli kısmı maymun ile insanı resimlerden ayırt edip tuzakı aktif hale getirebilmektir [29].



Şekil 23. Çalışmanın sistem mimarisi

Tespit gerçekleştirildiğinde yapay zekâ sistemi devreye girip 3G iletişim modülüne bağlı servera haber gönderilmektedir. Sonrasında ise server vasıtasıyla kullanıcıya e mail yolu ile uyarı gelmekte ve kullanıcı doğrulaması ile tuzakın kapısı kapatılabilmektedir [29].

|                  | $x_1$  | $x_2$  | $x_3$  | $x_4$  | $x_5$  | $E$   |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| <i>Accuracy</i>  | 91.6 % | 90.3 % | 90.7 % | 90.9 % | 90.8 % | 90.9% |
| <i>Precision</i> | 92.8 % | 87.7 % | 87.8 % | 87.1 % | 92.1 % | 89.5% |
| <i>Recall</i>    | 84.7 % | 86.8 % | 87.5 % | 87.5 % | 83.6 % | 86.0% |

**Şekil 24.** *Deneyisel sonuçlar tablosu*

Sistemin bazı sorunları mevcuttur. Geri çağırma durumu %90 veya daha az olmasıdır. Hassasiyet oranı ne kadar düşükse uyarı mekanizmasının devreye girmesi de o kadar düşük olmaktadır. Hassasiyetin düşük olması durumunda ise uyarı sistemi çok sık devreye girmektedir. Çalışma testlerinde %100 doğruluk beklenmesine rağmen sonuçlar farklıdır. Bunun sebebi de yeterli eğitim verisi ile çalışılmadığından dolayı tam anlamlı bir öğrenme gerçekleşmemiştir [29].

## Sonuç

Derin öğrenmenin ziraat alanındaki uygulamaları üzerine yaptığımız literatür tarama çalışmasında birçok farklı kaynak taraması yapılmıştır. Yapılan çalışmada görülmüştür ki bilim insanları ürünlerin yetiştirildiği ortamların ölçümleri ve ürünlerden alınan resimlerin işlenmeleri üzerine çalışmalarını geliştirmişlerdir. Genele olarak sınıflandıracak olursak, hastalık sınıflandırması, ürün sınıflandırması, hasar ve verim tahminleri, sulama sistemleri, ürün koruma yöntemleri üzerine çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir.

Gerçekleştirilen çalışmaların ileriki hedefleri incelenecek olursa mevcut çalışmalarda yakalanmış olan doğruluk oranlarının yükseltilmesi, sınıflandırma çalışmalarında ise ürün çeşitliliğinin artırılması en çok üzerinde durulan hedefler olmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] Kayaalp, K., & Süzen, A. A. (2018). Derin ve Türkiye’deki Uygula. IKSAD Publishing House.92p.
- [2] T. N. Sainath, R. J. Weiss, A. W. Senior, K. W. Wilson, & O. Vinyals, (2015). “Learning The Speech Front-End With Raw Waveform Cldnns,” Interspeech,.
- [3] A.-R. Mohamed, G. E. Hinton, And G. Penn, (2012). “Understanding How Deep Belief Networks Perform Acoustic Modelling,” Icassp, IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc.,.
- [4] Süzen, A.A., (2019). LSTM Derin Sinir Ağları ile Üniversite Giriş Sınavındaki Matematik Soru Sayılarının Konulara Göre Tahmini, Engineering Sciences (NWSAENS), 14(3):112-118, DOI: 10.12739/NWSA.2019.14.3.1A0436.
- [5] Kuwata K., Shibasaki R.,(2015). “Estimating Crop Yields With Deep Learning And Remotely Sensed Data”, Igarss, IEEE, 978-1-4799-7929-5/15.
- [6] Sakai Y., Oda T., Ikeda M., Barolli L., (2016). “A Vegetable Category Recognition System Usng Deep Neural Network”, IEEE, 978-1-5090-0984-8/16.
- [7] Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S., Shelestov A., (2017). “Deep Learning Classification Of Land Cover And Crop Types Using Remote Sensing Data”, IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters, Vol. 14, No. 5, May
- [8] Abdullahi H.S., Sheriff R.E., Mahieddinef.,(2017). “Convolution Neural Network İn Precision Agriculture For Plant Image Recognition And Classification”, IEEE, Intech 978-1-5090-3989-0/17.
- [9] Park H., Eun J., Kim S., (2017).“Image Based Disease Diagnosing And Predicting Of The Crops Through The Deep Learning Mechanism T”, IEEE, Ictc 978-1-5090-4032-2/17.

- [10] Zhou Z., Li S.,(2017). “Peanut Planting Area Change Monitoring From Remote Sensing Images Based On Deep Learning”, IEEE, Icsai, 978-1-5386-1107-4/17.
- [11] Ribera J., Chen Y., Boomsma C., Delp E.,(2017). “Counting Plants Using Deep Learning”, IEEE, Globalisip, 978-1-5090-5990-4/17.
- [12] Cup H., Suwa K., Fujita E., Kagiwada S., Uga H., Iyatomi H.,(2018). “A Deep Learning Approach for on-site Plant Leaf Detection”, IEEE, CSPA, 978-1-5386-0389-5/18.
- [13] Yalçın H., “Derin Öğrenme ile Fenoloji Tanıma”, IEEE, 978-1-5386-1501-0/18, 2018
- [14] Lavreniuk M., Kussul N., Novikov A., (2018). “Deep Learning Crop Classification Approach Based On Sparse Coding Of Time Series Of Satellite Data”, IEEE, IGARSS, 978-1-5386-7150-4/18.
- [15] Chen M., Chiu W., Wu H.,( 2018). “An Intelligent Agriculture Application based on Deep Learning”, IEEE.
- [16] Varman A., Baskaran A., Aravindh S., Parabhu E., (2017). “Deep Learning and IoT for Smart Agriculture using WSN”, IEEE, 978-1-5090-6621-6/17.
- [17] Oliveira I., Renato L., Cunha F., Silva B., Marco A., Netto S., (2018). “A Scalable Machine Learning System for Pre-Season Agriculture Yield Forecast”, IEEE, 978-1-5386-9156-4/18,
- [18] Panchbhaiyye V., Clara S., Ogunfunmi T., (2018). “Experimental results on using Deep Learning to identify agricultural pests”, IEEE, 978-1-5386-5566-5/18.
- [19] Guo Y., Jia X., Paull D.,(2018). “Mapping of Rice Varieties with Sentinel-2 Data via Deep CNN Learning in Spectral and Time Domains”, IEEE, 978-1-5386-6602-9/18.
- [20] Peng Y., Liao M., Huang W., Deng H., Ao L., Hua J., (2018). “Fruit Fly Classification via Convolutional Neural Network”, IEEE, 978-1-7281-1312-8/18.
- [21] Cenggoroa T., Budiartoa A., Rahutomoc R., Pardameanb B.,(2018). “Information System Design for Deep Lear-

- ning Based Plant Counting Automation”, IEEE, INAPR, 978-1-5386-9422-0/18.
- [22] Zhuang S., Wang P., Jiang B., (2018). “Segmentation of Green Vegetation in the Field Using Deep Neural Networks”, IEEE, 978-1-5386-7346-1/18.
- [23] Luna L., Dadios E., Bandala A., (2018). “Automated Image Capturing System for Deep Learning-based Tomato Plant Leaf Disease Detection and Recognition”, IEEE, 978-1-5386-5457-6/18.
- [24] Tsuchihiro S., Akita S., Ike R., Shigeta M., Takemura H., Natori T., Aikawa N., Shindo K., Ide Y., Tejima S., (2019). “Drone and GPS sensors-based grassland management using deep-learning image segmentation”, IEEE, IRC, 978-1-5386-9245-5/19.
- [25] Alimboyong C., Hernandez A., (2019). “An Improved Deep Neural Network for Classification of Plant Seedling Image”, IEEE, CSPA, 978-1-5386-7563-2/19.
- [26] Kulkarni O., (2018). “Crop Disease Detection Using Deep Learning”, IEEE, 978-1-5386-5257-2/18.
- [27] Jiang P., Chen Y., Liu B., He D., Liang C., (2019). “Real-Time Detection of Apple Leaf Diseases Using Deep Learning Approach Based on Improved Convolutional Neural Networks”, IEEE, 2169-3536.
- [28] Francis M., Deisy C., (2019). “Disease Detection and Classification in Agricultural Plants Using Convolutional Neural Networks –A Visual Understanding”, IEEE, 978-1-72811380-7/19.
- [29] Kamesaka R., Hoshino Y., (2018). “Development of a Prevention System for Beast Damage of Agricultural Products Using Deep Learning”, IEEE, CPS, 978-1-5386-2633-7/18.

# KOLESTERİK SIVI KRİSTAL FİLMLER VE UYGULAMALARI

Rıdvan KARAPINAR<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering, Department of Polymer Engineering, Burdur-Turkey.,  
rkarapinar@mehmetakif.edu.tr







# KOLESTERİK SIVI KRİSTAL FİLMLER VE UYGULAMALARI

**Rıdvan KARAPINAR<sup>1</sup>**

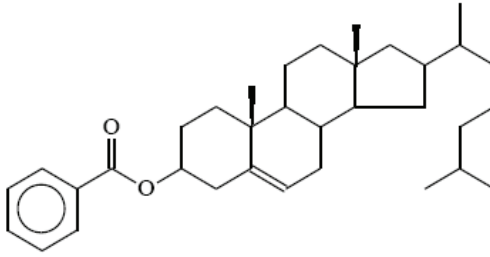
## 1. GİRİŞ

Kolesterik sıvı kristaller ilginç optik özelliklere sahip maddeler olarak, çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu faz, genellikle kolesterol türevlerinde gözleendiğinden dolayı ‘kolesterik sıvı kristal’ olarak adlandırılmıştır. Kolesterik sıvı kristal bir ortamdaki moleküller belirli bir yön vektörü boyunca yönelmekle beraber, ortam içerisinde helisel bir dönme hareketi sergiler. Bu helis yapısı ortamdaki her türlü dış etkiye bağlı değişim gösterir. Bu nedenle kolesterik sıvı kristal bir madde, ortamdaki sıcaklık değişimlerine bağlı olarak üzerine düşen ışınları yansıtması sonucu, kendine özgü bir renk değiştirme özelliği göstermektedir. Bu tür maddeler; termometrelerde, hastalıklı dokuların teşhisinde ve elektronik devrelerdeki yapısal kusurların belirlenmesi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Kolesterik sıvı kristal davranış genellikle kolesterol türevi maddelerde gözlenir; ancak bazı optikçe aktif bileşiklerin de bu davranışı sergilediği gözlenmiştir. Kolesterik maddeler, ayna simetrisine sahip olmayan moleküler yapıya sahiptir. Tipik bir kolesterik sıvı kristalin (kolesteril benzoat) molekül yapısı Şekil 1’de gösterilmektedir. Bu madde 145 °C - 179 °C arasında kolesterik faz göstermektedir.

---

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering, Department of Polymer Engineering, Burdur-Turkey.  
rkarapinar@mehmetakif.edu.tr



**Şekil 1.** *Kolesteril benzoat'ın moleküler yapısı.*

İlk olarak 1888 yılında Avusturyalı botanikçi F.Reinitzer, bitkilerde kolesterolün biyolojik işlevini incelerken kolesterol içeren bir organik maddenin iki ilginç davranışını gözlemiştir. Maddenin 145,5 °C' de türbit bir sıvıya ve 178,5 °C'de ise berrak bir sıvıya dönüştüğünü; buna ilaveten maddenin ortamdaki sıcaklık değişimine bağlı olarak mavi renkten başlayarak bir renk değişimi ortaya koyduğunu rapor etmiştir (Reinitzer, 1888). Alman fizikçi O.Lehmann bu madde ve benzer kolesterol türevlerini ısıtma sistemine sahip bir polarize mikroskop altında inceleyerek, maddenin kristal ve sıvı davranışlarını aynı anda sergileyen bu maddeyi sıvı kristal olarak adlandırmıştır (Lehman, 1900).

Kolesterik sıvı kristaller maddeler hakkında literatürde oldukça yoğun bilgi bulunmaktadır. Kolesterik sıvı kristal maddelerdeki faz geçişleri Lin (2000) tarafından araştırılmıştır. Kolesterik sıvı kristal maddelerin optik ve yapısal özellikleri üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Zharkova et al., 2001; Tien et al., 2009). Kolesterik sıvı kristal maddelerin faz geçişleri Lin et al. (2000) tarafından araştırılmıştır. Diğer taraftan kolesterik sıvı kristal bir filmde ışık yansıması Mitov et al., (1999) tarafından incelenmiştir. Yine kolesterik maddelerin dielektrik özellikleri araştırma konusu edilmiştir (Pawlus et al., 2001). Kolesterik bir maddenin spektroskopik olarak incelenmesi ile mole-

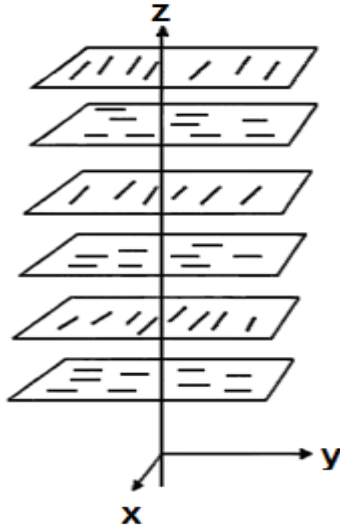
küler yapı analizi gerçekleştirilmiştir (Das et al., 2006). Kolesterik maddelerdeki ışık yansımalarının modellenmesi yapılmıştır (Yang et al., 2000). Polimer-kolesterik kompozit bir filmin elektrik alan etkisindeki ışık geçirgenliği incelenerek, bir ışık modülatörünün yapımı gerçekleştirilmiştir (Ma et al., 2010). Kolesterik sıvı kristal termografi ve renk analizi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Stasiek et al., 2006). Yansıtıcı sıvı kristal teknolojisi ile geniş bilgi Kato (1998) tarafından verilmiştir.

Kolesterik sıvı kristaller biyolojide önemli bir rol oynamaktadır. Düzen ve hareketliliğin birleşimi, canlı sistemlerde organizasyon ve yapı oluşumu için temel bir süreçtir. Kolesterik sıvı kristaller, canlı maddede yaşam için gerekli olan başlıca molekül tipleri olduğundan, sarmal yapının incelenmesi ile DNA yapısı hakkında önemli bilgiler edinilmektedir (Mitov, 2017).

Modern optik ve fotonik; küçük boyutlu, hafif ve etkili optik aygıtlar elde etmek için sürekli yeni malzemeler ve tasarımlar gerektirir. Temel optik bileşenlerden birisi ışın yönlendirmesi etkisidir. Bu amaçla kullanılan bir kırınım ağı kolesterik fazla mümkün olmaktadır (Ryabchun et al., 2018). Yine hızlı yanıt veren kısa helis adımına sahip kolesterik sıvı kristalli cihazların yapımı, çalışma ilkesi ve uygulamaları incelenmiştir (Tan et al., 2017). Hızlı ve düşük voltajda çalışmayı mümkün kılan yansıtıcı bir kolesterik sıvı kristalli ekranın yapımı gerçekleştirilmiştir (Tokunaga et al., 2019). Kolesterik sıvı kristallerin optik özellikleri ve uygulama alanlarını genel olarak açıklayan bazı yayınlar bulunmaktadır (Karapınar ve Gündüz, 1994; Karapınar, 2011). Kiral özellik gösteren simektik-C fazındaki polarizasyon olayını inceleyen bir çalışma bulunmaktadır (Karapınar, 1998).

## 2. Materyal ve Yöntem

Kolesterik sıvı kristal bir maddede moleküller arası kuvvetlerden ileri gelen tabakalı bir yapı söz konusu olup, her bir tabakadaki moleküller direktör adı verilen bir yön vektörü ( $\mathbf{n}$ ) boyunca dizilmişlerdir. Moleküller tabaka düzleminde helisel bir hareket yapmaktadır (Şekil 2). Bu helis hareketi bir civata içindeki vida somununun hareketine benzerlik gösterir. Vida somunu döndükçe civata eksenini boyunca ilerler. Moleküllerin bir tam dönmesi ( $360^\circ$ ) için aldığı yol, helis adımı ( $P$ ) olarak adlandırılır. Helis adımı, elektrik alan ve sıcaklık gibi her türlü dış etkiye duyarlıdır. Böylece sıcaklık değişimine bağlı olarak üzerine düşen ışığı yansıtarak bir renk değişimi gözlenir.



Şekil 2. Kolesterik sıvı kristalde moleküler düzen.

Kolesterik sıvı kristal ortamda moleküllerin yönelim doğrultusunu belirten direktörün kartezyen koordinat sistemindeki bileşenleri

$$\begin{aligned}
 n_x &= \cos(q_0 z + \varphi) \\
 n_y &= \sin(q_0 z + \varphi) \\
 n_z &= 0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

olarak yazılabilir. Burada  $q_0$  dalga vektörü P helis adımına bağlı olarak tanımlanır:

$$q_0 = \frac{2\pi}{P} \tag{2}$$

Eğer kolesterik film üzerine düşen ışığın dalga boyu  $P\varepsilon_1 < \lambda < P\varepsilon_2$  aralığında ise, ortamda yansıma gerçekleşir. Burada  $\lambda$  ışığın dalga boyu,  $\varepsilon_1$  ve  $\varepsilon_2$  ortamın optik eksene dik ve paralel olan dielektrik sabitlerdir. Böylece ortam üzerine düşen ışığı kuvvetle yansıtarak karakteristik bir renk değişimi gösterir. Helis adımının sıcaklığa bağlılığı oldukça belirgindir, öyle ki birçok kolesterik sıvı kristal madde tek renk ışık üzerine düştüğünde 0,001 °C'lik bir sıcaklık farkını algılayabilen görünür bir renk değişimi sergiler. Bu çeşitli uygulama alanlarında son derece öneme sahiptir. Beyaz ışık kullanılması durumunda ise 0,01 °C gibi küçük sıcaklık farklarını ayırt etmek mümkündür.

Helis adımı sıcaklıkla değiştiğinden, sergilenen renkler de sıcaklığa bağlı değişim gösterir. Yine, ışığın gelme ve yansıma açıları da önemlidir. Herhangi bir sıcaklıkta maksimum saçılan ışığın dalga boyu bu açılara bağlı olduğundan, kolesterik madde çok tabakalı bir girişim filtresi gibi davranmaktadır. Kolesterik sıvı kristallerin üzerine düşen ışığı çevirme gücü oldukça yüksektir. Örneğin, 1  $\mu\text{m}$  helis adımına sahip bir kolesterik maddenin üzerine düşen ışığı optik çevirme gücü, mm kalınlık başına 360000° dir. Oysa kuvars için bu değer mm başına 22° dir. Kolesterik sıvı kristal maddeler polarize mikroskop altında ilginç desenler ortaya koyar (Şekil 3). Şekilde kolesterik sıvı kristale ait parmak izi (fingerprint) deseni görülmektedir.



Şekil 3. Kolesterik sıvı kristale ait bir desen.

Kolesterik sıvı kristaldeki seçici ışık yansıması Bragg yansımasına benzerlik gösterir. Yansıyan dalgaların gelme düzleminde aynı faza sahip olması için gelen ışığın dalga boyunun  $\lambda = nP$  olması gerekmektedir. Burada  $n$  ortalama kırılma indisidir ve ortamın olağan ( $n_o$ ) ve olağanüstü ( $n_e$ ) kırılma indislerine bağlı olarak  $n = (n_o + n_e) / 2$  ile tanımlanır. Ortamdaki ışık yansımasına ait yansıma bant genişliği ise

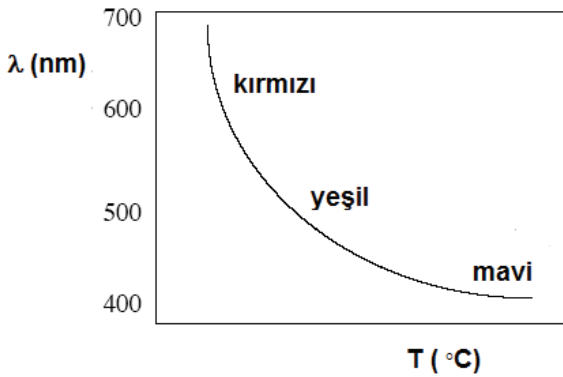
$$\Delta\lambda = \Delta nP \quad (3)$$

ifadesi ile verilir. Burada  $\Delta n$  maddenin optik anizotropisidir.

Deneyssel incelemelerde kolesterik sıvı kristal madde planar yönelime sahip iki paralel cam levha arasına konulmuştur. Deneylerde planar yönelimli bir film elde edilmesi amacıyla cam levhalara bir yüzey etkinlik işlemi uygulanmıştır. Cam levhalar arasındaki kalınlık mylar şeritler ile sağlanmıştır. Kolesterik filme ait yapısal desen görüntüleri bir polarize mikroskop ve buna bağlı bir kamera yardımıyla elde edilmiştir. Kolesterik filmlerde yansıyan ışığın dalga boyuna bağlılığı ise spektrofotometre ile elde edilmiştir. Böylece spektrofotometre yardımıyla ortamdaki ışık yansımasının dalga boyuna bağlı değişiminden gerekli analiz yapılmış ve yine yansıyan ışığın sıcaklığa bağlı değişimleri inceleme konusu edilmiştir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

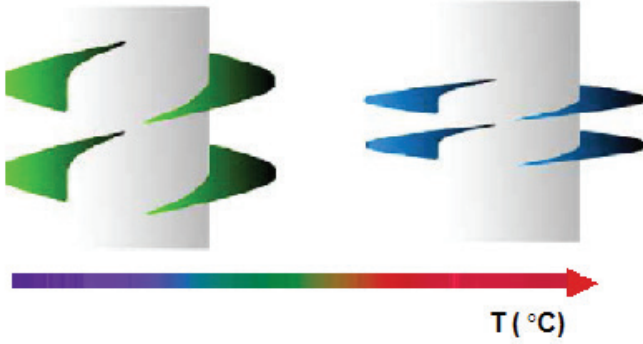
Kolesterik sıvı kristal özelliği, maddenin moleküler yapısı ile ilişkilidir. Kolesterik sıvı kristal faz kiral moleküllerden oluşmaktadır. Genel olarak kiral moleküllere sahip, yani ayna simetrisine sahip olmayan molekülerde gözlenir. Kiral özellik, sağ elin aynadaki görüntüsünün sol olarak görünmesi örneği ile açıklanabilir. Bu helisel yapı, kiral sıvı kristallerin olağandışı optik özellikler göstermesine neden olur. Helis adımının ışığın dalga boyuyla aynı mertebede olması sonucu yapıcı girişim oluşur ve optik dalga boylarında ilginç renkler gözlenir. Bu optik olay, ışığın su yüzeyindeki ince yağ filminden yansımaları sonucu oluşan girişim desenine benzerlik gösterir. Kolesterik sıvı kristal ortamdaki renk değişimi sıcaklığa bağlıdır. Bu tür maddeler termokromik olarak bilinir. Bir kolesterik sıvı kristalin helis yapısı sıcaklıkla değiştiğinden, yansıyan ışığın dalga boyu sıcaklığa bağlı değişim göstermektedir (Şekil 4). Düşük sıcaklıklarda görünür bölgede uzun dalga boylu kırmızı, yüksek sıcaklıklarda ise helis adımının küçük olması nedeniyle kısa dalga boylu ışık yansımaya uğrayacağından yansıyan ışın kısa dalga boylu mavidir.



Şekil 4. Kolesterik sıvı kristalde dalga boyuna bağlı renk değişimi.

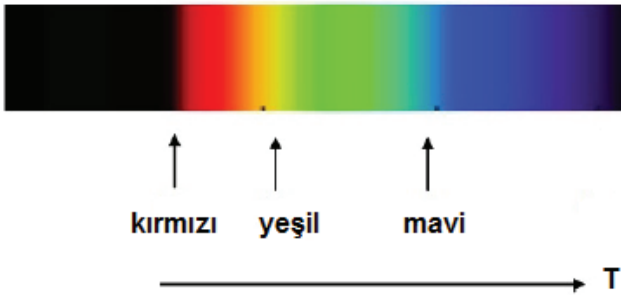


Kolesterik sıvı kristal maddelerin helis adımı sıcaklığın bir fonksiyonu olduğundan (Şekil 5), kolesterik bir filmin ışık yansıtma olayı sıcaklık değişimlerini belirlemede yararlı bir tekniktir.



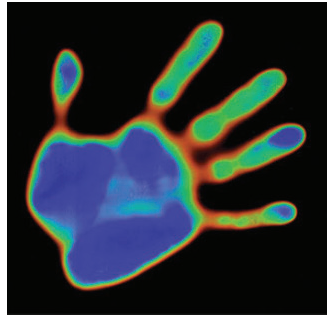
Şekil 5. Kolesterik sıvı kristalde helis adımının sıcaklıkla değişimi.

Bu özelliğinden dolayı kolesterik bir film herhangi bir yüzey üzerine kaplanarak maddenin yüzey sıcaklığını ölçmek amacıyla kullanılır. Sıcaklığa bağlı renk değişimi, sıcaklık yükselmesi veya düşmesine bağlı olarak farklılık gösterir. Örneğin, sıcaklık yükselmesi yönünde kırmızıdan maviye bir renk değişimi meydana gelmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Sıcaklık değişimi ile ortaya çıkan renkler.

Kolesterik sıvı kristallerin optik özelliklerinden yararlanarak renk değişimini gösteren termometreler yapılmıştır; örneğin bir odanın, bir akvaryumun veya bir insanın vücut sıcaklığını ölçen termometreler piyasada bulunmaktadır. Kolesterik sıvı kristal bileşikler, görünür bölgede helis adımına sahiptir. Ancak, maddenin bu fazı gösterdiği sıcaklık aralığı her bileşik için farklı olduğundan, uygun bileşiklerin karışımı yapılarak, ilgili sıcaklık bölgesinde farklı renk spektrumu gösteren ince şerit biçiminde kolesterik filmler yapılmaktadır. Böylece bu tür filmler, son derece küçük sıcaklık farklarını algılamaktadır. Örneğin insan derisi üzerine kaplanan kolesterik filmler ile derinin sıcaklık görüntüsü kolayca elde edilmektedir. Bu yöntemle insan vücudunun termal görüntülenmesi mümkün olmaktadır. Tıp alanında deri enfeksiyonları veya deri tümörleri bu yolla teşhis edilmektedir. Deri altı tümörler genellikle çevresindeki dokudan,  $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  daha sıcak olduğundan, ortaya çıkan renk değişimi ilgili teşhis için kullanılmaktadır. Yine kol veya bacakların kolesterik sıvı kristal filmle kaplanması ile kan akışı desenleri elde edilmektedir. Sıcaklık değişimlerinin gözlenmesi ile sinir ve damar yollarının açık olup olmadığı hakkında bilgi edilmektedir. Yine doğumun hemen öncesinde, gebe kadındaki plasantanın konumu tespit edilebilmektedir. Vücudun çeşitli bölgelerinin termal olarak görüntülenmede bir teşhis tekniği olarak kullanılmaktadır (Şekil 7).



**Şekil 7.** Derideki sıcaklık değişimi ile oluşan renkler.

Elektronikte, kolesterik sıvı kristal filmlerin kullanılması ile herhangi bir devrenin sıcaklık görüntülenmesi mümkün olmaktadır. Bundan yararlanarak, elektronik bir devrede çalışan devre elamanlarının sıcaklık dağılımı elde edilmekte ve ısı üreten bozuk elamanlar tespit edilmektedir. Bu teknik, özellikle çok sayıda devre elamanı içeren tımleşik devrelerdeki yapısal kusurların tespit edilmesinde oldukça yararlıdır. Yine elektriksel bir devrede, hatalı bağlantıların saptanması mümkün olabilmektedir. Bu bölgeler kolesterik film üzerinde mavi renkte göründüklerinden, kolayca ayırt edilebilmektedir. Aerodinamikte, hava araçlarının yüzeyindeki şok dalgalarının etkisi ve yüzey sıcaklıklarının ölçümünde kullanılmaktadır.

Bu tür filmler yüzey sıcaklık ölçümünde hızlı görsel gözlem yapma fırsatı verdiği için kullanışlıdır. Yine yüzey sıcaklığını ölçerken bir dijital kamera ile kullanılabilir. Kullanılan sıcaklık aralığı için 0,1 °C farkını ölçecek biçimde -30° C ile 120 °C aralığında ölçüm yapılması mümkündür. Kolesterik bir maddenin sıcaklık değişimine karşı verdiği tepki için belirli bir zaman gereklidir. Bu tür filmlerin optik yanıt süresi 100 ms civarındadır. Kolesterik sıvı kristal bir maddenin sıcaklık değişimine karşı gösterdiği yanıt süresi ve renk kalitesi gibi özellikler, tür uygulamalarda önemlidir. Benzer şekilde kolesterik maddenin üzerine kaplandığı yüzeye toz veya kir maddelerinin etkisi bu tür filmlerin sıcaklık ölçümündeki davranışlarını etkilemektedir. Bu nedenle yüzeylere uygulanan kolesterik filmlerin her türlü olumsuz etkilerden uzak tutulması gerekir. Bu tür filmler genellikle siyah renkte bir alt tabakaya sahiptir ve kolesterik madde iki ince plastik tabaka arasına konulur. Elde edilen film ilgili yüzeye kaplanarak gerekli ölçümler yapılır.

Kolesterik sıvı kristal davranış gösteren maddelerin elektro-optik cihazlardaki kullanımı üzerine son zamanlarda önemli çalışmalar yapılmaktadır. Belirli bir moleküler

yönelimin sağlandığı kolesterik filme bir elektrik alanı uygulandığında moleküler yönelimin bozulması nedeniyle ortam içinde yönelmemiş bölgecikler oluşmaktadır. Bu bölgecikler üzerine düşen ışığı saçılmaya uğratarak daha önceden berrak görünümlü olan ortamın süt rengi bir renk almasına neden olmaktadır. Bu özellikten yararlanarak, çeşitli elektro-optik cihazlar geliştirilmiştir. Kolesterik maddeler günümüzde renkli filtre ve polarizörlere gereksinim duymayan yansıtımlı çeşitli optik görüntüleme sistemlerinde kullanılmaktadır.

Kolesterik filmle kaplı yüzükler, kişinin o andaki farklı psikolojik durumunun belirtmesi açısından ilginçtir. Yine kolesterik filmler bazı renk değiştiren çocuk oyuncaklarında kullanılmaktadır. Yine, kozmetik amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Son olarak, resim alanında farklı kolesterik bileşikler kullanılarak, ilginç renkler gösteren tabloların yapılması mümkündür. Tablonun bulunduğu salonun sıcaklığındaki küçük değişimler, farklı ve canlı renklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Sonuç olarak, maddenin doğadaki renkli bir fazı olan kolesterik sıvı kristaller fizik açısından ilginç optik özelliklere sahip olup, çeşitli uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Das P., Sinha R.K., Basu S., Ultraviolet-visible-near infrared and mid-Fourier transform infrared spectroscopic studies of intermolecular interaction in cholesteryl oleyl carbonate in mesophases, *J. Chem. Phys.*, 124: 124514-124519, 2006.
- Karapınar R., Gündüz E., Kolesterik sıvı kristal: maddenin doğadaki renkli bir fazı, *Popüler Bilim*, 5, 33-35, 1994.
- Karapınar R., Kolesterik sıvı kristallerde seçici ışık yansımaları, 18. Yoğun Madde Fiziği Toplantısı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 25 Kasım 2011.
- Karapınar R., Measurement of spontaneous polarization of a smectic C liquid crystal cell, *Balkan Physics Letters*, 6, 121-125, 1998.
- Kato K., Tanaka K., Date M., Reflective Liquid Crystal Color Display Technologies, *Electronics and Communications*, 81: No. 8, 127-134, 1998.
- Lehman O., Ueber krystallinische Flüssigkeiten, *Ann. Phys. (Leipzig)*, 2, 649, 1900.
- Lin S.Y., Tseng H.Y., Li, M.J., Phase studies and thermal stability of binary systems of cholesteric liquid crystals. *Appl. Phys.*, A-70: 663-668, 2000.
- Ma J., Shi L., Yang D.K., Bistable polymer stabilized cholesteric texture light shutter. *Appl. Phys. Express*, 3: 21702-21705, 2010.
- Manohar R., Gupta M., Shukla J.P., Phase transition studies of some cholesteric liquid crystals and their mixtures using dielectric, optical transmittance and density measurement techniques. *J. Chem. Phys. Solids*, 61: 1465–1473, 2000.
- Mitov M., Boudet A., Sopena P., From selective to wide-band light reflection: a simple thermal diffusion in a glassy cholesteric liquid crystal. *Eur. Phys. J. B*8:327-330, 1999.
- Mitov M., Cholesteric liquid crystals in living matter, *Soft Matter*, 23, 4169-4312, 2017.

- Pawlus S., Zasada M., Rzoska S.J., Preliminary studies on the dielectric permittivity in the isotropic and mesophase of cholesterly oleyl carbonate. *Z. Naturforsch.*, 57a: 126-128, 2001.
- Reinitzer, F., Beiträge zur Kenntnis des Cholesterins, *Monatshefte für Chemie* 9, 421-41, 1888.
- Ryabchun A., Bobrovsky A., Cholesteric Liquid Crystal Materials for Tunable Diffractive Optics, *Advanced Optical Materials*, 6, 15, 2018.
- Stasiek, J., Stasiek, A., M. Jewartowski, M.W. Collins, Liquid crystal thermography and true-colour digital image processing, *Optics & Laser Technology* 38, 243-256, 2006.
- Tan G., Lee, YH., Gou, F., Chen, H., Huang, Y., Lan, Y.F., Tsai C.Y., and Wu, ST., Review on polymer-stabilized short-pitch cholesteric liquid crystal displays, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50, 49, 2017.
- Tien C.J., Huang C.Y., Kao Y.M., Yang P.C., Liu J.H., Planar texture improvement in cholesteric liquid crystal cells. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 48: 071301-071304, 2009.
- Tokunaga S., Zeng M., Itoh Y., Araoka F., Aida T., An Electrochemical Cholesteric Liquid Crystalline Device for Quick and Low-Voltage Color Modulation. *J. Vis. Exp.*, 144, 2019.
- Yang, D.K., Mi, X.D. Modeling of the reflection of cholesteric liquid crystals using Jones matrix, *J. Phys. D.*, 33: 672-676, 2000.
- Zharkova G.M., Samsonova I.V., Streltsov S.A., Khachaturyan V.M. Structural effect on optical properties in liquid crystal composites. *J. Structural Chem.*, 42(2): 315-318, 2001.



# NEMATİK SIVI KRİSTAL BİR FİLMDE FREEDERİCKSZ GEÇİŞİ

Rıdvan KARAPINAR<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering, Department of Polymer Engineering, Burdur-Turkey.  
rkarapinar@mehmetakif.edu.tr







# NEMATİK SIVI KRİSTAL BİR FİLMDE FREEDERİCKSZ GEÇİŞİ

Rıdvan KARAPINAR<sup>1</sup>

## 1. GİRİŞ

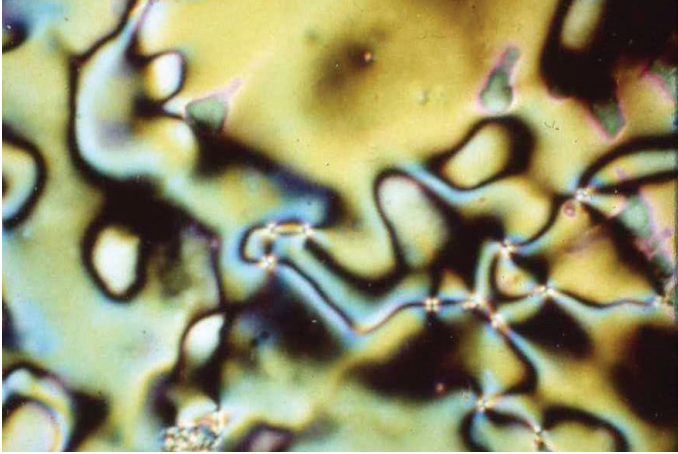
Doğada bazı organik bileşikler katı ile sıvı arasında basamaklı bir faz geçişi gösterirler. Bu fazlar sıvılara benzer akışkanlık özelliklerini ve kristal katılara ait anizotropik özellikleri aynı anda gösterir. Bu tür ara faz özelliği gösteren maddeler Sıvı Kristal (SK) olarak adlandırılır. SKlerin en belirgin özelliklerinden birisi optiksel anizotropiye sahip olmasıdır. Bu tür maddeler mikroskop altında ilginç girişim desenleri sergiler. SK maddeler düşük güç kayıpları ve çalışma verimleri gibi özellikleri nedeniyle kol saati, hesap makinesi gibi küçük bilgi içeriğinde sahip cihazların yanı sıra, televizyon ve bilgisayar gibi büyük bilgi içeriğine sahip çeşitli elektro-optik cihazlarda kullanılmaktadır (Funfschilling, 1991; Karapinar, 2017). SK gösterge teknolojisi alanında çığır açan gelişme, Schadt ve Helfrich tarafından icat edilen bükümlü nematik SK film olmuştur (Schadt and Helfrich, 1971). İlk olarak yedi segmentli rakamlardan oluşan siyah-beyaz küçük göstergeler ile başlayan uygulamalar, daha sonra süper bükümlü nematik göstergelerin ve aktif kodlama tekniklerinin kullanımı ile her bir görüntü elamanının etkin olarak çalıştığı büyük ekranlı cihazların yapımı gerçekleşmiştir.

SK maddeler genel olarak çubuk biçimli moleküllerden oluşur. Moleküller ortam içinde uzun menzilli bir yönelimsel düzene sahip olduğundan, madde anizotropik fiziksel özellikler gösterir. SKler genel olarak ortamdaki sıcaklık değişimine bağlı olarak nematik, simektik ve kolesterik

---

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering, Department of Polymer Engineering, Burdur-Turkey.  
rkarapinar@mehmetakif.edu.tr

fazlar olmak üzere sınıflandırılır. Bunlar arasında en yaygın kullanım alanına sahip olan nematik fazdır. Nematik SK bir madde polarize bir mikroskop ile incelendiğinde iplik görünümlü bir yapı gösterir (Şekil 1). Ortam içindeki bu ipliksi yapılar esneklik özeliğine sahiptir. Filme dokunmak sureti ile bu yapı kolayca bozulabilir. İplik görünümlü çizgisel kusurlar gösterdiğinden dolayı, bu faz Grekçe iplik anlamına gelen nema sözcüğünden türetilmiştir.



**Şekil 1.** Nematik fazın mikroskopik görüntüsü.

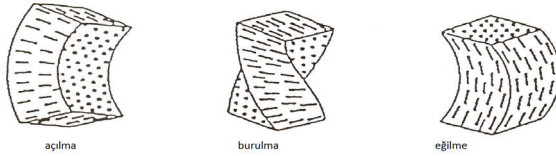
Nematik fazda moleküller ortalama olarak direktör adı verilen bir  $\mathbf{n}$  yön vektörü boyunca yönelirler. Çubuk biçimli moleküller için bu doğrultu, moleküllerin uzun-ekseni boyunadır. Nematik fazda sıcaklık arttığında yönelim derecesi azalır. Ortamda tercih edilen bir yönelim doğrultusu olmakla beraber, kütle merkezleri rastgele dağıldığından, nematik faz bir akışkan gibi davranır. Maddenin kendine özgü bir sıcaklık değerinde nematik fazdan izotropik faza geçiş olur. Son yıllarda nematik faz davranışı gösteren yüzlerce organik bileşik keşfedilmiştir. Elektro-optik cihazlarda tek SK bileşik yerine genellikle SK karışımlar kullanılır. Her bir bileşen farklı moleküler yapı ve faz geçişi sıcaklığına sahiptir. Bu nedenle bu tür karışımların

kullanımı uygulama amacına göre değişmektedir. Örneğin bir cep telefonunda daha geniş bir sıcaklık aralığına sahip karışımlar tercih edilmektedir.

Bu çalışmada SK alanında yapılan araştırmalardan yararlanarak, nematik SK bir filmin yapımı ve bu filmin elektro-optik özellikleri inceleme konusu edilmektedir. NSK bir filmde gözlenen Freedericksz geçişinden yararlanarak, filmin voltaj-kapasitans karakteristikleri incelenmektedir. Ayrıca, nematik SK bir filmin performansını etkileyen fiziksel parametreler hakkında bilgi verilmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Nematik bir maddeye elektrik veya manyetik alan uygulandığında, ortamda alan etkimeli bir şekil değişimi veya deformasyon gözlenir (De Jeu et al., 1997). Dış elektrik alan belirli bir eşik değerin üzerinde olursa, deformasyon gerçekleşir ve SK moleküllerin göreceli konumları değişime uğrar. Nematik bir ortamda genel olarak açılma, burulma ve eğilme türü şekil değişimleri ortaya çıkar (Şekil 2), (Deuling, 1972; Deuling and Helfrich, 1974).



Şekil 2. Nematik SK fazda şekil değişimleri.

SK sistem denge halinde olduğunda, minimum serbest enerjiye sahip olur. Ortamın serbest yoğunluğu SK ortamının birim hacmindeki serbest enerji olarak tanımlanır ve

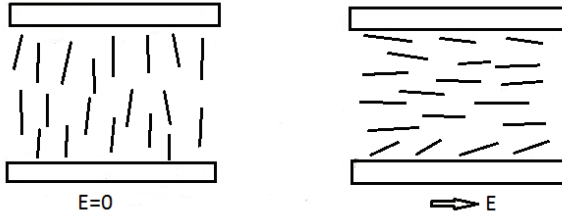
$$E = 1/2 [K_{11}(\nabla \cdot \mathbf{n})^2 + K_{22}(\mathbf{n} \cdot \nabla \times \mathbf{n})^2 + K_{33}(\mathbf{n} \times \nabla \times \mathbf{n})^2] \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada  $\mathbf{n}$  direktör,  $K_{ii}$  ( $i=1,2,3$ ) ise; sırasıyla açılma, burulma ve eğilme esnek biçim değişim-

lerine karşılık gelen esneklik sabitleridir. Her maddenin esneklik sabitleri farklıdır. Örneğin 5CB nematik bileşiği oda sıcaklığında  $K_{11} = 6.65 \times 10^{-12}$  N değerine sahiptir.

SK bir maddenin elastik sabitleri, SK hücreye bir dış elektrik alan uygulanarak belirlenebilir. Alan küçük olduğunda, sıvı kristal deforme olmaz, çünkü dış alanın neden olduğu tork, elastik şekil değişimi için gerekli torkdan küçüktür. Ancak eşik alanı değerinin üzerinde, moleküler yönelimin bozulması nedeniyle farklı geometrilere bağlı olarak esneklik sabitleri belirlenir. SK ortamın esneklik davranışı, katıların esneklik özelliklerine göre daha zayıf olduğundan, mekanik yolla ölçmek yerine, elektrik, manyetik veya optik yöntemler geliştirilmiştir (Karapınar and Gündüz, 1997). Bunlar arasında Freedericksz geçişi yöntemi kullanışlı bir yöntemdir. Bu yöntemde SK hücredeki moleküler yönelim durumuna bağlı olarak, eşik voltajının ölçümü yapılarak ilgili esneklik sabiti belirlenir. Esneklik sabitlerinin mutlak değerleri, elektro-optik bir cihazın çalışma hızını veya yanıt süresini belirlemede oldukça yararlıdır. Özellikle  $(K_{33}/K_{11})$  oranı elektro-optik cihaz için temel bir parametredir.

SK bir ortama elektrik veya manyetik alan gibi dış bir etki uygulandığında sistemin makroskopik özelliklerinde önemli değişiklikler ortaya çıkar. Nematik ortamdaki moleküler yönelimin bu alan kaynaklı yeniden düzenlemesi ilk olarak Freedericksz tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir ve bu nedenle Freedericksz geçişi olarak adlandırılmıştır (Freedericks and Zolina, 1933). Yeterli büyüklükteki bir elektrik alanının uygulanması ile homojen veya düzlemsel olarak yönelmiş bir nematik SK ortamda moleküler deformasyon gözlenir (Şekil 3). Elektrik alan uygulandığında moleküllerin hücre yüzeylerine paralel olarak yönelmesi için dielektrik sabitleri için  $\epsilon_{\perp} < \epsilon_{\parallel}$  olmalıdır. Burada  $\epsilon_{\perp}$  ve  $\epsilon_{\parallel}$  sırasıyla moleküllerin uzun eksenlerine dik ve paralel doğrultudaki dielektrik sabitleridir.

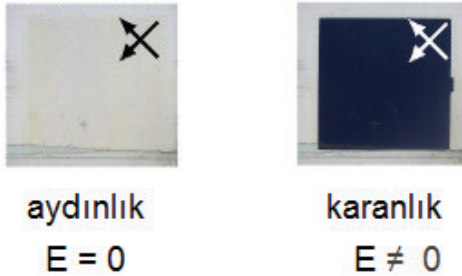


Şekil 3. Elektrik alan etkimeli Fredericks geçişi.

Nematik SK ortamdaki bu davranış başlıca iki tür tork ile belirlenir : (1) ortamdaki esneklik torku, SK molekülleri sınır yönelim şartları ile belirlenen eksen boyunca yönelime zorlar, (2) uygulanan alan etkimeli tork ise molekülleri alana paralel veya dik olacak şekilde yönelime zorlar. Bu torklardan yalnızca biri mevcut olduğunda, düzgün moleküler yönelim gerçekleşir. Her iki tork mevcut olduğunda, aralarında bir rekabet oluşur. Uygulanan alan şiddeti bir eşik değerini aştığında, düzgün bir SK yönelim oluşur ve Fredericks geçişi gerçekleşir. Moleküllerin yüzey üzerindeki yönelimi bağlanma enerjisi ile tanımlanır. Bu bağlanma enerjisinin büyüklüğüne bağlı olarak zayıf ve güçlü bağlanmalar söz konusudur. Bu bağlanma türleri farklı yönlendirme teknikleri ile sağlanmaktadır. Basitlik olması açısından güçlü bağlanma şartları tercih edilmektedir. Düzlemsel (planar) yönelim durumunda moleküller SK hücre yüzeyine paraleldir. Bu yönelimin sağlanması için yönlendirme tabakası olarak kullanılan ince polimer filmlere sürme işlemi uygulanır. Bazı uygulamalarda ise morötesi ışık ile yönlendirme yapılır (Hindmarsh, et al., 1999). Dik (homeotropik) yönelim için, hücre yüzeyleri bazı kimyasal maddeler ile kaplanır. Eğimli yönelimler için buharlaştırma teknikleri ile levha yüzeylerine silisyum oksit kaplamalar yapılır. Manyetik alan etkimeli Fredericks geçişi çeşitli araştırmalarda yer almaktadır (Petrescu and Bena, 2009). Son zamanlarda manyetik alan etkimeli geçişler karbon nanotüp katkılanmış SK maddelerde ince-

lenmiştir (Petrov et al., 2017). Yine, nanoparçacık katkılı ferroelektrik SK maddelerde yönelimsel geçişler araştırılmıştır (Shelestiuk et al., 2011). Ferronematik bir maddenin manyetik alandaki Freedericksz geçişi ile ilgili ilginç bir araştırma yapılmıştır (Zakhlevnykh, 2004). Diğer taraftan, uygulanan manyetik alanların neden olduğu dinamik denge-sizlik konusu araştırılmıştır (Chen et al., 2018).

Freedericks geçişi birçok SK cihazın çalışma ilkesini oluşturur. Elektro-optik cihazlarda SK maddenin dielektrik anizotropisi uygulanan elektrik alan ile değişime uğradığından, cihaz çalışır duruma geçer. Moleküler yönelimin bir dış etki ile kolayca kontrol edilmesi, elektro-optik cihazlarda temel olarak kullanılan bir tekniktir. Çapraz polarizörler arasında sandviç biçimli SK hücrelerin yapılması ile numune içindeki ışık geçirgenliği elektriksel olarak kontrol edilebilmektedir. Elektrik alan yokken ortam aydınlık, elektrik alan varken ise karanlık olacak şekilde hazırlanan bir SK hücrenin görüntüleri Şekil 4’de verilmektedir.



Şekil 4. SK bir hücrenin ışık geçirgenliği.

Eğer Freedericks geçiş voltajı küçük olacak şekilde bir SK madde kullanılırsa, düşük güç harcayan SK ekranların yapımı mümkün olmaktadır. Bükümlü nematik SK bir filmdeki bu tür geçiş üzerine çeşitli çalışmalar bulun-

maktadır (Yang, 1983; ). Fredericks geçişi fotonik uygulamalarda ise optik anahtarlama işleminde kullanılmaktadır (Miroshnichenko, 2006). SK ortamda optik alan etkimeli Fredericks geçişi birçok çalışmada inceleme konusu edilmiştir (Durbin, et al., 1981, Ong, 1983; Khoo, 1982).

SK hücre, ışığın pikselden geçmesine izin veren veya tüm ışığı engelleyen bir optik anahtarı temsil eder. Bu optik anahtar, yüksek çözünürlüklü ekran uygulamaları için kullanılmaktadır. Renkli görüntü elde etmek için sisteme renkli filtreler eklenmektedir.

Diğer taraftan SK maddenin kapasitans değerleri planar veya homeotropik yönelimlere bağlı olarak ölçülür (Şekil 5). İki iletken levha arasına dielektrik bir maddeden oluşan bir hücrenin kapasitansı ortamın dielektrik sabitlerine ( $\epsilon$ ), hücrenin yüzey alanının (A) ve hücre kalınlığına (d) bağlı olarak değişmektedir. Paralel levhalı bir kapasitörün sıgası

$$C = (\epsilon_0 \epsilon_r A) / d = Q / E \cdot d \quad (2)$$

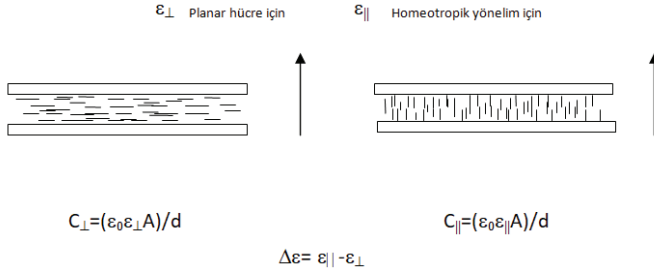
ile verilmektedir. Burada  $\epsilon_0$  serbest uzayın dielektrik katsayısı olup  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  F/m ve  $\epsilon_r$  göreceli dielektrik katsayısıdır. Q ise kapasitörde biriken yüküdür.  $\Delta\epsilon$  nin değeri SK madde ile elektrik alan arasındaki etkileşimin büyüklüğünü belirler. Bu nedenle dielektrik anizotropi veya dielektrik sabitleri SK maddenin önemli fiziksel sabitlerinden birisidir. SK bir cihazın çalışma voltajı dielektrik anizotropi ve esneklik sabitlerine bağlı değişim gösterir. Eşik voltajı için

$$V_c = \pi [k_{11} / \epsilon_0 \Delta\epsilon]^{1/2} \quad (3)$$

bağıntısı geçerlidir. Burada  $K_{11}$ , açılma türü esnek şekil değişimidir.  $V_c$  değerinden daha küçük voltajlarda esneklik enerjisi baskındır. Ancak  $V_c$  den büyük voltaj değerlerinde ise elektrik enerjisi etkin olmaktadır. Kapasitans

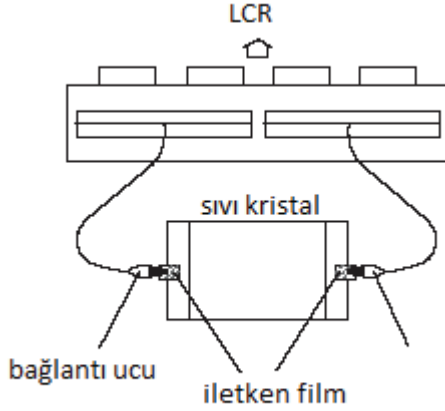


ölçümlerinde, C-V eğrisinden, SK hücreye uygulanması gereken eşik voltajı tayin edilmektedir (Karapınar, 2018).



**Şekil 5.** Farklı yönelimli SK hücreler için kapasitans ölçümleri.

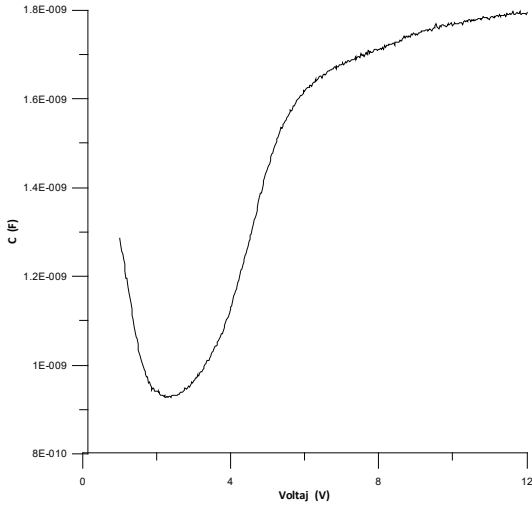
Deneylerde SK madde olarak 5CB nematik bileşiği seçilmiştir. Bu madde oda sıcaklığında nematik faz gösteren, siyanobifenil grubuna ait bir bileşiktir. Nematik fazdan izotropik faza geçiş sıcaklığı 35 °C dir. Madde pozitif dielektrik anizotropiye sahiptir ve  $\Delta\epsilon = 10.5$  civarındadır. SK hücrenin cam yüzeyleri ITO ile kaplandığından, iletken levhalar elektrot görevi yapmaktadır. Cam levha yüzeylerinde moleküler yönelim sağlamak için, levhalar bir polimer ile kaplanmış ve yüzey etkinlik işlemi yapılarak nematik ortamda düzgün bir yönelim sağlanmıştır. SK hücrenin yüzey alanı 1,5 cm<sup>2</sup> ve hücre kalınlığı 20 µm olarak ayarlanmıştır. SK filmlerdeki C-V ölçümleri Agilent impenedans analizörü ile yapılmıştır. SK hücrenin sırası boş ve madde varken her iki durumda ölçülmüştür. Sıga ölçümleri için 1 kHz frekanslı ve 10 V bias voltajına sahip sinüs dalgaları SK hücreye uygulanmıştır. Uygulanan sinyalin DC sinyal düzeyi 150 mV olarak seçilmiştir. Bu değer SK hücre için gerekli eşik voltajından oldukça küçüktür. Deney sisteminin şematik gösterimi Şekil 6'da verilmektedir.



**Şekil 6.** SK hücrenin kapasitansını ölçmek için kullanılan deneysel sistem.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

SK hücrenin boş iken ölçülen sığası  $C = 120$  pF değerindedir. Ancak nematik madde ile doldurulan NSK hücrenin kapasitansı uygulanan voltaja bağlı olarak değişim göstermektedir. Kapasitans değerleri minimum bir değerden başlayarak artmakta ve voltaja bağlı olarak bir doyum noktasına ulaşmaktadır. SK hücrenin elektriksel sığasının uygulanan voltaja bağlı değişimi Şekil 7’de verilmektedir.



**Şekil 7.** Nematik SK hücrenin voltaj- kapasitans değişimi.

Şekilde görüldüğü gibi, düşük voltajlarda olağandışı bir davranış gözlenmekte, SK hücrede istenmeyen gürültü etkisi veya olası yüklenmeden ileri gelen sığada bir artış görülmektedir. Ancak  $V_c = 2,1$  Volt değerinden sonra  $C$  değerleri artmakta ve yüksek voltajlarda doyum noktasına ulaşmaktadır. Bu deneyde  $V = 2,8$  Volt için  $C_{||} = 0.95$  nF,  $V = 12$  Volt için  $C_{||} = 1.79$  nF değerleri bulunmuştur. Bu değerler sırasıyla, SK direktöre dik ve paralel yönelim durumlarına karşı gelen kapasitans değerleridir. Elde edilen verilerden ve deneyde kullanılan nematik SK bileşiğin fiziksel sabitleri kullanılarak, eşik voltajını hesaplamak mümkündür. Hesaplamalarda  $V_c = 0,8$  V değeri bulunmuştur. Burada üzerinde çalışılan madde için  $K_{||} = 6$  pN değeri kullanılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçlar arasındaki özellikle eşik voltajı değerleri arasındaki farkın, SK hücrenin yüzeylerine uygulanan yönlendirme işleminin mükemmel olmaması ve buna bağlı olarak hücredeki yerel kusurlardan ileri gelebileceğini belirtmek gerekir.

Sonuç olarak, düzgün yönelime sahip nematik SK bir hücreye elektrik alan uygulandığında moleküler ortamda elastik bir şekil değişimi gözlenir. Bu Freedericks geçişi elektro-optik cihazların uygulama alanlarında önemli etkiye sahiptir. Yine SK maddelerin esneklik özelliklerini ve eşik voltajı, kapasitans değerlerini tayin etmede yararlı bir teknik olduğu görülmektedir. Yine maddenin dielektrik özelliklerini belirlemek veya frekansa bağlı dinamik değişimini incelemek bu yöntemle mümkün olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Chen Y, Kim S and Yu Y, Freedericksz transition in nematic liquid crystal flows in dimension two, *SIAM Journal on Mathematical Analysis*, 50:5, 4838-4860, 2018.
- De Jeu, W.H, Claassen, W.A.P., Spruijt, A.M.J., The determination of the elastic constants of nematic liquid crystals. *Mol.Cryst.Liq. Cryst.*, 37: 269-280, 1976.
- Deuling, H.J, Deformation of nematic liquid crystals in an electric field. *Mol.Cryst. Liq. Cryst.*, 19:123-131, 1972.
- Durbin S.D, Arakelian SM, Shen YR, Optical-field-induced birefringence and Freedericksz transition in a nematic liquid crystal. *Physical Review Letters* 47(19): 1411-1414, 1981.
- Deuling H.J, Helfrich W, Hysteresis in the deformation of nematic liquid crystal layers with homeotropic orientation. *Applied Physics Letters* 25: 129-130, 1974.
- Funfschilling J, Liquid Crystals and Liquid Crystal Displays, *Condensed Matter News*, 1:12-16, 1991.
- Freedericksz V, Zolina V, Forces causing the orientation of an anisotropic liquid. *Transactions of the Faraday Society* 29:919-930, 1933.
- Hindmarsh, P, Owen, G.J., Kelly S.M., Jackson P.O, O'Neill M and Karapinar, R, New coumarin polymers as non-contact alignment layers for liquid crystals, *Mol.Cryst.Liq. Cryst.*, **332**, 439, 1999.
- Karapinar, R, Bükümlü Nematik Sıvı Kristal Aygıtlar, *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 8 (1): 268-275, 2017.
- Karapinar, R, Capacitance of a liquid crystal doped with a nanoparticle, *Nanotechnology and Nanomaterials (Nano-2018)*, Kyiv. Ukraine, 27-30 August 2018.

- Karapınar, R, Gündüz, E, Determination of elastic ratios of the nematic liquid crystal, 8OCB, *Balkan Physics Letters*, 5, 17, 1997.
- Khoo I.C , Theory of optically induced molecular reorientations and Optical Fredericks Transition in a Liquid Crystal Layer quantitative experiments on wave mixing and the self-focusing of light. *Physical Review A* 25(3): 1636-1644, 1982.
- Miroshnichenko A.E, Pinkevych I, Kivshar Y.S, Tunable all-optical switching in periodic structures with liquid-crystal defects. *Optics Express* 14(7): 2839-2844, 2006.
- Ong H.L , Optically induced Fredericksz transition and bistability in a nematic liquid crystal. *Physical Review A* 28(4): 2393-2407, 1983.
- Petrov D.A, Skokov P.K, Zakhlevnyk AN, Magnetic field induced orientational transitions in liquid crystals doped with carbon nanotubes, *Beilstein J. Nanotechnol.* 8, 2807–2817, 2017.
- Petrescu E, Bena E, Surface anchoring energy and the Fredericksz transitions in ferronematics. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 321: 2757-2762, 2009.
- Schadt M, Helfrich, W, Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal, *Appl. Phys. Lett.*, 18, 127, 1971.
- Shelestiuk S.M, Reshetnyak V, Sluckin T, Frederiks transition in ferroelectric liquid-crystal nanosuspensions. *Physical Review E* 83: 041705, 2011.
- Yang KH, Fredericksz transition of twisted nematic cells. *Applied Physics Letters* 43: 171-173, 1983.
- Zakhlevnykh A.N, Threshold magnetic fields and Fredericksz transition in a ferronematic. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 269:238-244, 2004.



# BOR VE TÜREVLERİNİN DOĞAL VE SENTETİK TEKSTİL ÜRÜNLERİNDEKİ GÜNCEL YANMAZLIK UYGULAMALARI

Safiye Meriç AÇIKEL<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Doktor Öğretim Üyesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Deri Teknolojisi Programı 34320 Büyükçekmece/İSTANBUL, 0212 286 63 70, 43461, safiye.acikel@istanbul.edu.tr







## BOR VE TÜREVLERİNİN DOĞAL VE SENTETİK TEKSTİL ÜRÜNLERİNDEKİ GÜNCEL YANMAZLIK UYGULAMALARI

Safiye Meriç AÇIKEL<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Deri, tekstil ve plastik endüstrisinde kullanılan kimyasallar ve bu kimyasallardan üretilen ürünlerin çoğu alev almaya karşı dirençli değildir ve bu ürünler herhangi bir yangın esnasında hızlıca alev alıp tehlike oluşturmaktadır. Özellikle uçak, otomobil, gibi ulaşım araçlarından tehlikeye anında yaralıları kurtarmak için zaman kazanılmasında ya da itfaiyecilerin giysilerinde alev geciktiricilik özellik önem kazanmaktadır (Kozłowski., 2007; Munday and Ma, 1996; Acikel etc, 2017; Acikel etc, 2018a).

Ateş, egzotermik bir kimyasal reaksiyondur. Bu reaksiyon sırasında oluşan hızlı oksidasyon ısı çıkışına sebep olur. Ateş üçgeni, ateşi meydana getiren “yanıcı madde” “oksijen” ve “ısı”nın bir araya gelmesi ile oluşur ve alevi meydana getirir. Bu ısının kaynağı bir kıvılcım, mum, çakmak, şömine gibi, başka bir alev kaynağı ya da yoğun güneş ışığı gibi termal radyasyon olabilir (Atay ve Çelik, 2010; Acikel, 2018b). Yangının en kolay söndürülebileceği evre başlangıç aşamasıdır. Sıcaklığın gittikçe artması ile ortamdaki cisimler kendi tutuşma sıcaklıklarına ulaştıkları esnada kendiliğinden; alev almaya başlar ve yangın gittikçe büyümeye başlar. Alev geciktirici özelliğe sahip ürünler en çok bu safhada önem kazanmaktadır. Ürünlerin alev almaması veya daha yüksek sıcaklıklarda alev alması yangının büyümesini engellemekte ve yangın tehlikesini azalmaktadır. Alev geciktirici özelliğe sahip bir ürün alev

1 Doktor Öğretim Üyesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Deri Teknolojisi Programı 34320 Büyükdere/İSTANBUL, 0212 286 63 70, 43461, safiye.acikel@istanbul.edu.tr

geciktirici özelliği olmayan aynı ürün ile kıyaslandığında ısı çıkış zamanının daha geç olması beklenir. Alev geciktiricinin hacmindeki su miktarı artıkça, alev geciktirici malzemenin etkinliği artar. Kristal su muhteviyatı, endotermik özelliğinden dolayı ısıyı soğurmakta sıcaklık yükselmesini geciktirmektedir (Atay ve Çelik, 2010; Çoban, 1995).

Alev geciktirici kimyasalların çeşitlerine bakıldığında halojen içeren, halojen içermeyen olmak üzere iki çeşit karşımıza çıkmaktadır. Halojen içeren alev geciktirici kimyasallar gaz fazında C ve -OH radikallerini yakalayıp reaksiyona girmesini engelleyerek enerji miktarını azaltmaktadır (Zhang et al., 2015; Çoban 1999; Acikel, 2018c). Halojen içermeyen alev geciktirici kimyasallar ise; inorganik kimyasallar ve organo fosforlu bileşikler olmak üzere iki çeşide ayrılmaktadır. İnorganik alev geciktiriciler; yangın başladığı anda devreye giren ve hidroksit ve hidrokarbonatlar içerirler, 200-400 °C sıcaklıklarda kompozisyon değişikliğine uğrayarak su ve karbondioksit vererek açığa çıkan su yanıcı gazı sulandırır ve yanma için gerekli oksijene engel olur. Brom, Klor, Fosfor, Azot, Alüminyum, Antimon ve Bor dan oluşan yedi kimyasal element yanıcı malzemeye eklendiğinde veya karıştırıldığında yanıcı malzemenin yanmaya karşı dayanımının artırmaktadır (Zhang et al., 2015; Kaya ve Oz, 1999).

Dünya rezervlerinin %73,5'i Türkiye'de bulunan bor; cam, tarım, savunma, sağlık, nükleer, seramik sanayileri gibi birçok alanda kullanılan oldukça değerli bir elementtir. Bor elementi; tutuşma sıcaklığının yüksek olması, yanma sonucunda kolaylıkla aktarılacak ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması gibi bir çok önemli özelliğe sahiptir. Borun alev geciktirme etkisi birçok çalışmaya konu olmuştur ve günümüzde alev geciktirici olma potansiyeline sahip bir ürün özelliği taşımaktadır. Bor; toksik gaz salınımına neden olmaz ve düşük uçuculuk değerine sahiptir. Borlu alev geciktiriciler polimer zincir

oksidasyonu için bariyer görevi gören camsı koruma tabakasının oluşumuna neden olur. Yanan malzemenin üzerini oksijenle temasını kesecek şekilde kaplayarak yanmayı bastırırlar (Aydın vd., 2016; Çakal vd., 2012).

Borat bileşikleri; alev geciktirici, duman bastırıcı, korozyon geciktirici olarak polimerlerde ve kaplamalarda, halojenli polyester ve naylonlarda, kablolarda, yanmaya dayanıklı boyalarda, kumaşlarda, elektrik/elektronik parçalarda, yanmaya dayanıklı halı kaplamalarda, otomobil/uçak iç aksamalarında, tekstil ve kağıt endüstrisinde kullanılır. Yüksek dehidrasyon sıcaklığına sahip olduğu için yüksek sıcaklıklara dayanıklı plastik malzemelerin imalatında yaygın olarak kullanılır. Diğer alev geciktiricilerle karşılaştırıldığında çok daha etkili bir duman bastırıcı olması ve diğer alev geciktiricilere göre daha ucuz olması sebebiyle kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Çinko borat; duman emisyonunu azaltma yeteneğine sahiptir ve kömürleşmeyi çabuklaştırmaktadır. Çok çeşitli sayıda plastikte, etkili alev geciktirici olarak kullanılır, borun varlığı çinko boratı etkin bir alev bastırıcı yapar, zehirli özelliğe sahip değildir. Ek olarak bor kimyasallarının içinde barındırdıkları hidrat suları malzemenin yanma esnasında soğutup geç alev almasını sağlamaktadır (Aydın vd, 2016; Çakal vd, 2012; Acikel 2018d).

## **BOR KİMYASALLARI İLE YAPILAN YANMAZLIK UYGULAMALARI**

Kristalize çinko borat içindeki kimyasal yapısında yer alan su grupları sayesinde yanma esnasında malzemenin hidrasyon derecesini 290 °C sıcaklıklara çıkardığı için plastik ve kauçuk sektörlerinde etkili bir alev geciktirici kimyasal yapmaktadır. Ek olarak borik asit ve çinko borat kimyasallarının karışımında sinerjik alev geciktirici etkisi yaptığı literatürde bilinmektedir.

Alongi ve Malucelli yaptıkları çalışmalarında pamuklu kumaşların yanma dirençlerini geliştirmek için sol jel yöntemi ile pamuk liflerini silika film ile kaplamışlardır. Ancak bu silika filmlerin için çeşitli inorganik alev geciktiriciler ekleyerek hangilerinin en iyici duman önleyici özelliğe sahip olduğunu araştırmışlardır. Çalışmada silika filmi çinko oksit, çinko asetat dihidrat, çinko borat, amonyum pentaborat oktahidrat, baryum sülfat özelliklere sahip alev geciktiricilerle birlikte kullanılmıştır. Kumaşların yanıcılığını ve duman üretimini değerlendirmek için koni kalorimetresinden yararlanmışlardır. Koni kalorimetrisi, işlem görmüş kumaşların yanıcılığını ve duman üretimini değerlendirmek için uygun bir teknik olarak ortaya çıkmıştır (özellikle toplam duman salınımı, duman üretim hızı ve CO ve CO<sub>2</sub> verimleri söz konusu olduğunda). Koni kalorimetrisi ile değerlendirildiği üzere, çinko bazlı duman bastırıcıların varlığında, sadece silika kaplama ile işlem görmüş kumaşa göre CO ve CO<sub>2</sub> salımı önemli ölçüde azaltılmıştır. Özellikle, ZnO ve silisin ortak etkisi, CO ve CO<sub>2</sub> verimlerinin en önemli azalmasını sağlarken, silisin fosfor veya bor bazlı alev geciktiricilerle kombinasyonu, CO ve CO<sub>2</sub> üretiminde belirgin düşüşler sağlamamıştır (Alongi ve Malucelli, 2012).

Tekstil sektöründe polipropilen (PP) ve poliamid-6 (PA-6) lifleri en çok kullanılan sentetik liflerdir. Alev geciktirici PP ve PA-6 temelli tekstiller, çeşitli şekillerde üretilebilmektedir. Liflerin sentezi sırasında alev geciktirici monomerlerin kullanılması, alev geciktirici katkı maddelerinin polimere dahil edilmesi, eğirme işleminden önce (katkı yaklaşımı), alev geciktirici kimyasal terbiye olarak kumaşlara uygulanmaktadır. Her ne kadar tarafından elyaf üretimine katkı maddesinin eklentisi yaklaşımının daha ucuz olması muhtemel olmasında karşın bu tip üretim modeli düşük yıkama haslığı dezavantajına sahiptir. Ek olarak bu tarz sentetik kumaşlara uygulanacak alev geciktirici kimyasalların lif kalitesi üzerinde negatif bir etkiye sahip

olmaması gerekli olmakta olup lifin inceliğinde olumsuz yönde etkilememelidir. Bu sebeple bu tarz kumaşlarla yapılan son dönemdeki alev geciktirici kimyasallar nano teknolojik çalışmalarla gerçekleştirilmiştir. Nanopartiküllerin, özellikle katmanlı silikatın etkisi, alev geciktirici davranış üzerinde karbon nanotüpler ve silika konvansiyonel alevli ve alevsiz polimerik malzemelerin geciktiriciler yaygın olarak araştırılmaktadır. En önemli etkisi nanopartikül eklentisinin ısı yayılım pikini düşürdüğü ancak LOİ indeksini önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür. Doğan ve Bayramlı çalışmalarında sentetik özellikteki polipropilen ve poliamid kumaşlarının alev dayanımını arttırmak için life nanopartikül BorFosfat (BPO4) kimyasalını eklemişlerdir ve alev geciktirici özellikleri DSC, TGA ve MCC testleri ile incelenmiştir. Sonuçlara göre, BPO4 partiküllerinin dahil edilmesinin çok az etkisi vardır. Borfosfat partikülleri polipropilen liflerin termal stabilitesini değiştirmemiş ancak poli amid kumaşların termal stabilitesini düşürmüş ve yaklaşık 30 °C azaltmıştır. Borfosfat nanopartiküllerinin polipropilen sentetik liflerinde etkili bir sonuç verememiş ancak poliamid lifinin toplam ısı yayılım miktarını önemli ölçüde azaltmıştır (Doğan and Bayramlı, 2013).

Mohaddesa ve arkadaşlar; fosfar ve borik asit ilavelerini poliamid-6,6 (PA66) filmlerinin için esterleşme ile iyonik olarak eklemişler ve kömürlüşme derecelerini araştırmışlardır. Bunun için fosforik asit-borik asit ester karışımı farklı esterleme derecelerinde (ED) hazırlanmış ve esterleştirme için iki teorik mekanizma reaksiyon önerilmiştir. İyonik olarak aşılannmış polimer filmler, en yüksek ED değerinin esterinin katılmasıyla hazırlanmıştır. PA66-formik asit çözeltisini üç farklı işlemle: açık hava (soğuk) aşılama, ultraviyole ışınlama aşılama, ve sıcak vakumlu fırın aşılama. Tüm sentezlenmiş esterler ve filmler için termogravimetri yapılmıştır. Esterleşme derecesi ile kül seviyesi arasındaki karşılıklı ilişki incelendiğinde alev

direncinin fosforik asit, borik asit ve mannitol karışımlarından 0.5:1:0.5 oranlarının en iyi alev geciktirici etkiye sahip olduğu gözlenmiştir (Mohaddesa et al., 2014).

Bor suda çözünür, renksizdir ve ısı ile erime kabiliyetine sahiptir. 2300 C erime sıcaklığından dolayı bor yangına son derece dayanıklıdır, bu özelliği sayesinde bir çok alanda alev geciktirici bir malzeme olarak kullanılır. Akaslan bu sebeple yüksek erime sıcaklığına sahip alev geciktirici özelliğe sahip borik asiti pamuklu kumaşlarda nanopartikül halinde uygulanmış ve yanmazlık özelliklerini incelemiştir. 10 g/L, 20 g/L ve 30 g/L oranlarındaki borik asit solüsyonlarını emprenye yöntemi ile uygulamıştır. Çalışmada 45 o eğimle örnekleri DIN 54335 standartına göre yakmışlardır. Çalışma sonucunda kumaşların alev yayılım sürelerinin 2.4 saniyeden 4.2 saniye uzadığını tespit etmiştir (Akarslan, 2015)

Zhang ve arkadaşları; yün kumaşın alev geciktiriciliğini ve ısı kararlılığını arttırmak için, bir dizi bor katkılı silika taban bir tetraetil silikat inorganik prekürsörden hazırlamış ve yün kumaşa, alev geciktirici işlemle alev geciktirici bir kaplama olarak uygulamıştır. Alev geciktirici katkı maddeleri olarak borik asit, çinko borat ve amonyum borat kullanılmıştır. Bor içeren alev geciktiricili katkı katı kaplamaların yanma kabiliyeti, yanma davranışı ve işlenmiş yün kumaşın ısı özelliği üzerindeki etkisi sınırlı oksijen endeksi (LOI) testi, dikey yanma testi, termogravimetrik (TG) analiz, mikro kalorimetre yanma (MCC) ve duman yoğunluğu testleri ile araştırılmıştır. Yün kumaş üzerindeki alev geciktirici kaplamaların bir ısı yalıtım bariyeri görevi gördüğü, karbon artığını arttırdığı ve yanarken alevin yayılmasını yavaşlattığı ve böylece muamele edilen kumaşın alev geciktiriciliğini ve ısı kararlılığını arttırdığı bulunmuştur. Bu arada, duman yoğunluğu sonucu NH<sub>4</sub>H-B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> katkılı silika sol işlemlili kumaşın iyi duman bastırma özelliğine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, mekanik

özelliklerin sonucu, muamele edilmiş yün kumaşın çekme dayanımı ve hava geçirgenliği üzerinde herhangi bir hasar olmadığını göstermiştir (Zang et al., 2015).

Zang ve arkadaşları bir diğer çalışmada bir öncü olarak tetraetoksisilan (TEOS) ve alev geciktirici katkı maddesi olarak borik asit ( $H_3BO_3$ ) kullanılarak sol jel yöntemiyle bir hibrit silika sol hazırlamışlardır ve ardından ipek kumaşa uygulamışlardır. Dayanıklı alev geciktiriciliğine sahip ipek kumaşa sahip olmak için, hibrid silika sol ve ipek kumaş arasında kuvvetli bir bağlantı oluşumu uğruna çapraz bağlama maddesi olarak 1,2,3,4-bütanetrakarboksilik asit (BTCA) kullanmışlardır. Limit oksijen indeksi (LOI) ve duman yoğunluğu testi, işlenmiş ipek kumaşların iyi alevlenme ve dumanla bastırıldığını göstermiştir. Mikro kalorimetre yanma (MCC) testi ve termo gravimetrik (TG) analizi, muamele edilen numunelerin yüksek sıcaklıkta daha az ağırlık kaybına ve yanarken düşük ısı salma oranına sahip olduğunu göstermiştir. Yıkama dayanıklılığı değerlendirmesi, 30 kez yıkamadan sonra bile BTCA ile işlem gören ipek numunelerinde belirgin bir iyileşme olduğunu göstermiştir. Ek olarak, BTCA ve silika sol işleminin işlem sırasının bitmiş ipek kumaşın limit oksijen indeksi (LOI) üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Sonuçlar, önce BTCA ile muamele edilen numunenin ardından silika soluyla muamele edildiğini, muamele edilen muamele sırasına göre numunenin daha iyi LOI değeri (% 32.3) sergilediğini göstermiştir (Zhang,etc, 2016).

Diğer bir çalışmada ise boraks, amonyum polifosfat, aminosülfonik amonyum ve pentaeritritol-dihidrojenfosfat biester melamin ve fosfatlanmış amino reçine olmak üzere 5 adet alev geciktiricinin derideki etkileri araştırılmıştır. Dikey yanmazlık testinde tüm kimsallar deri üzerinde alev dayanımını geliştirmiş ancak en iyi etkiyi %12 lik amonyum polifosfatın verdiği tespit edilmiştir. LOİ sonuçlarında ise derideki performansları amonyum poli



fosfat, boraks, fosfat, amino reçine, pentaeritritol-dihidrojenfosfat biester melamin, aminosülfonik amonyum olarak sıralanmıştır. Ayrıca pentaeritritol-dihidrojenfosfat biester melamin derinin kalınlığında, tutumunda ve cildinde pozitif yönde etkilemiştir. (Zan et al., 2005)

Açikel yaptığı çalışmasında Ticari Alev Geciktirici kimyasalın özelliklerini geliştirmek için Bor kimyasallarından yararlanmıştır. Çalışmasında Grup 1 (Kontrol grup), Grup 2 (200 g/L Ticari Kimyasal), Grup 3 (200g/L Ticari Kimyasal+ 10g/L Borax+60 g/L Borik Asit), Grup 4 (200 g/L Ticari Kimyasal+10 g/L Çinko Borat+60 g/L Borik Asit) olarak deri üzerine denemiş ve derilerin alev dayanımını ölçmek için LOI testinden yararlanmıştır. Çalışma sonucunda; Grup 1 27.0%, Grup 2 28.5%, Grup 3 29.2 ve Grup 4 29.9% LOİ sonuçlarına ulaşmış ve Borlu kimyasalların hem derinin hemde ticari kimyasalın alev dayanım özelliklerini geliştirdiğine ulaşmıştır. (Acikel, 2018c).

Çakal ve arkadaşları; Borun pamuklu kumaşlardaki alev geciktirici etkileri üzerine çalışmışlardır. Güç tutuşurluk çözeltisi uygulanmış ve 5 kez yıkanmış kumaşların arasında en yüksek LOI, güç tutuşurluk çözeltisi olarak % 15 fosfor bileşiği, % 12 bağlayıcı ve % 1 boraks pentahidrat uygulandığında elde edilmiştir. Yıkama sonrası %98'in üzerinde borun kumaşın yapısında kaldığı tespit edilmiştir. Özellikle endüstriyel uygulamalarda borun pamuklu kumaşlarda güç tutuşturucu madde olarak kullanılabilirliği sonucuna ulaşmışlardır (Çakal vd., 2012).

İbibikcan ve Kaynak, çinko borat, bor oksit ve borik asitin polietilen temelli kablo yalıtım malzemelerinde alev geciktirici olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda alüminyum hidroksitin bor bileşikleri ile yer değiştirmesi çoğu alev geciktirici parametrelerinde artışa neden olabildiği görülmüştür (İbibikcan ve Kaynak, 2014).

Xie ve arkadaşları azot içerikli 2,4,6-tri[(2-hydroxy-3-trimetil-amonyum)propil]-1,3,5-triazine klorid (Tri-HTAC) bileşiğini borik asit ile modifiye etmiştir. Çalışmanın FTIR ve elemental analizlerde borik asidin çapraz bağlanarak reaksiyon meydana getirdiğini belirlemişlerdir. Zengin elektronik karaktere sahip azotun borik asitteki boşta olan bağ ile bir araya geldiğini ve kalıcı şekilde çapraz bağlandıklarını savunmuşlardır. Hazırladıkları karışımı pamuklu kumaşlara finisaj işlemi olarak uygulamışlardır. Çalışma sonucunda borik asit ve azot sinerjik etkiyle mükemmel bir alev geciktiricilik kazandırmışlardır. Kimyasal kovalent bağ ile selüloz liflerine bağlamışlar ve %22 LOI değerine sahip pamuklu kumaşların %27 LOI değerine ulaştığını görmüşlerdir (Xie etc, 2013).

Aydın ve arkadaşları; yaptıkları çalışmada çinko floroborat çözeltisi emdirilmiş kumaş numunelerine LOI testi uygulanmış, çinko floroboratin alev geciktirici özelliğini incelenmişlerdir. Çinko floroborat katkılı, diğer pamuklu kumaşlara göre yüksek yanmazlık özelliğine sahip çadır kumaşının LOI değerinin, LOI test cihazının çıkabildiği en yüksek değer olan %55 ‘ten daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu değer çinko floroboratin oldukça etkili bir alev geciktirici olduğunu göstermiştir. Bir diğer uygulama ise tahta parçalarını çinko borat pigmentli boya ile boyamışlardır ve tahta parçasının LOI değerinin %55’ten büyük olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca silikon esaslı bir boyaya magnezyum boratı katkı maddesi olarak eklemişlerdir ve LOI değeri %22 olan tahta parçasının, bu boya ile boyandığında LOI değerini %39’a çıktığını görmüşlerdir (Aydın etc, 2016).

Liu ve arkadaşları nano-silika sol malzemesini, sol-jel yöntemi ve borik asit, üre, siyano-guanidin, melamin siyanürat (MCA), 1-hidroksietan 1,1-difosfonik asit (HEDP) ve 6H-dibenz (C, E) ile hazırlamıştır. Alev geciktiriciyi fiziksel katkılı ve kimyasal bağlanma yoluyla modifiye

etmek için (1,2) oksafosforin-6-oksit (DOPO) silika soluna eklenmiştir. Yanıcılık parametrelerinin hesaplanması, limit oksijen indeksi, mikro kalorimetre, dikey brülör ve termogravimetrik analiz cihazı ile araştırmışlardır. B/N/P arasında sinerjik veya ilave bir etki olduğunu kanıtlamışlardır. Sonuçlar Silika-bor solun alev geciktiriciliğinin esasen endotermik reaksiyon ve eriyik kaplama reaksiyonundan kaynaklandığını göstermektedir. Silisyum-azot sol, endotermik reaksiyon, gazların salınması ve erime kapsamı boyunca bir alev geciktirici olarak işlev görmüştür. Silisyum-fosfor sol, bir karbon tabakası oluşumunu ve erime kapsamını teşvik etmek için bir asit oluşturarak alev geciktiriciliğini sağlamıştır. Silika sol ve diğer alev geciktiriciler, bileşikletirmeden sonra mükemmel alev geciktirici olduğunu kanıtlamışlar ve endüstriyel gelişim için uygun olduğunu göstermiştir (Liu etc, 2018).

Kundu ve arkadaşları; (3-Aminopropil) trietoksisilan (APTES) ve bor katkılı APTES sol çözeltilerinden bir sol-jel işlemi ile birlikte, birkaç biyo-bazlı polielektrolit, kitosan (CS) ve fitik asit (PA) birikimi içeren bir hibrit metodolojisi geliştirmişlerdir. Bu hibrit katmanları poliamid 66 (PA66) kumaş yüzeyleri üzerine bir alev geciktirici ve hidrofilik katman olarak kaplamışlardır. Bu yöntem ile muamele edilmiş sentetik PA66 kumaş numunelerinin dikey yanma testinde eriyik olarak damlamasını durdurabilmişlerdir.

Bor katkılı APTES sol işlem görmüş kumaş numuneleri, koni kalorimetri testinde düşük bir tepe ısı bırakma hızı (pHRR) % 22-30 azalmıştır ve termogravimetrik analiz testinde gelişmiş termal stabilite göstermiştir. Ek olarak, bor katkılı silika sol, işleminden geçirilmiş kumaşların hidrofilikliğini sadece silis sol işlemli kumaşlara kıyasla önemli ölçüde arttırabilir. Ayrıca, 5 çift tabaka biriktirilmiş kumaş numunelerinin, yıkamadan sonra dayanıklı alev geciktirici davranış sergilediği sonucuna ulaşmışlardır (Kundu et al., 2019).

## SONUÇ

Türkiye'nin önemli madenlerinden olan bor mineralinin çeşitli sektörlerde farklı kullanım amaçları bulunmaktadır ve bunlardan biri olan alev geciktiricilik etkisi günümüzde tekstil, plastik, mobilya, kauçuk, boya, deri gibi farklı birçok materyalde görülmektedir. Alev geciktirici etkiye sahip doğal veya sentetik kimyasallara göre çalışmalar incelendiğinde araştırılan materyale göre etkili alev dayanımı sağladığı tespit edilmiş olup bazı materyallerde ek avantajlarda sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak gelecekte yapılan araştırmalar genişletildike alev almaz veya alev geciktirici özellikteki tekstil ve deri ürünlerde; ülke-miz için milli bir kaynak olan bor mineralin kullanımının artacağından şüphe gözükmemektedir.

## KAYNAKLAR

- S.M. Açikel, C. Çelik, A.S. Gültek, A. Aslan, “The Flame Retardant Effect Of Tributyl Phosphate on the Leathers”, International Journal of Scientific and Technology Research, 6(10):44-48, 2017.
- S.M. Acikel, C. Çelik, D. Gürbüz, A. Çınarlı, “Determination of Flame Retardant in Vegetable Tanned Leathers by Tri Butyl Phosphate (TBP)”, 4th International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 2018), 2-6 May 2018,Kyiv, Ukraine, 2018a.
- S.M. Acikel, “Researching Properties of Gained Flame Retardancy on the Upholstery Leathers by Tributyl Phosphate Chemical”, Sakarya University Journal of Science, 22(5):1-7, 2018b.
- S.M. Acikel, “Flame Reterdancy And Flame Reterdancy Applications In The Leather”, Academis Studies in Engineering, Gece kitaplığı, Edit: Murat Hatipgöglü, Kadir Gündoğan, 7-15, 2018c.
- S.M. Acikel, “Development of Commercial Flame Retardant in Upholstery Leathers by Boron Derivative”, Journal of Ege University Textile and Apparel, 28(4):319-323, 2018d.
- S. Çoban, “Tekstil Mamullerinin Yanma Davranışı ve Güç Tutuşurluk Test Yöntemleri”, Tekstil ve Konfeksiyon, 2, 135-143, 1995.
- S. Çoban, “Güç Tutuşurluk Bitim İşlemleri, Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri”, Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir, 180-201, 1999.
- R. Kozłowski, B. Mieleniak, M. Muzyczek, R. Fiedorow, “Flammability and Flame retardancy of leather”, Leather International, 1-9, 2006.
- R. Munday and S. Ma, “The Production of a high Performance Leather with Integrated Fine and Water Resistance”, Part VI: Synthesis and Analysis of a High Perofrmance Finish, BLC, Leather Technology Center,323-324, 1996.

- G.Ö. Çakal, Z. Göğebakan, S. Coşkun, “Investigation of Synergistic Effect of Boron on Fire Retardancy of Cotton Fabrics”, *Textile and Apparel*, vol:18 (4), 547–553, 2012.
- H.Y. Atay ve F. Çelik, “Huntit/Hidromanyezit Mineralinin Plastiklerde Ateş Önleyici Olarak Kullanılması ve Boyut Dağılımının Alev Geciktirici Etkisinin İncelenmesi”, Mehmet Kemal Dedeman Araştırma ve Geliştirme Projesi Yarışması, Türkiye, 2010.
- F. Akarslan, “Investigation on Fire Retardancy Properties of Boric Acid Doped Textile Materials”, *Acta Physica Polonica A*, 28, 403-405, 2015.
- D.Y. Aydın, M. Gürü, B. Ayar, Çakanyıldırım, Ç., “Bor bileşiklerinin alev geciktirici ve yüksek sıcaklığa dayanıklı pigment olarak uygulanabilirliği”, *BORON*, 1(1), 33 – 39, 2016.
- Q., Zhang, W. Zhang, J. Huang, Y. Lai, T. Xing, G. Chen, G. Jin, H. Liu, B. Sun, “Flame retardance and thermal stability of wool fabric treated by boron containing silica sols”, *Materials and Design*, 85, 796–799, 2015.
- M. Kaya ve D. Oz, “Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastına Katkı Maddeleri”, 3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 14-15 Ekim 1999, 152-162, İzmir, Türkiye, 1999.
- J. Alongi and G. Malucelli, “Cotton fabrics treated with novel oxidic phases acting as effective smoke Suppressants”, *Carbohydrate Polymers* 90, 251– 260, 2012.
- M. Doğan and E. Bayramlı, “Effect of Boron Phosphate on the Mechanical, Thermal and Fire Retardant Properties of Polypropylene and Polyamide-6 Fibers”, *Fibers and Polymers*, 14(10), 1595-1601, 2013.
- F. Mohaddesa, L. Wanga, R. A. Shanksb and S. M. Fergussona, “Elevation of charring level of polyamide-6,6 films via ionic introduction of phosphoric acid and boric acid esters”, *Green Chemistry Letters and Reviews*, 7(2), 184–190, 2014.

- F. Akarslan, “Investigation on Fire Retardancy Properties of Boric Acid Doped Textile Materials”, *Acta Physica Polonica A*, 128, 403-405, 2015.
- ZAN, H., Lixin, L.L., Yinghong, W., Yunzhou, L., Wuyong, C., “Performance of flame retardants on leather”, *Journal Society of Leather Technologists and Chemists*, 89(6), 225-231, 2005.
- Q-h. Zhang , J. Gu, G-q. Chen, T-l. Xing, “Durable flame retardant finish for silk fabric using boron hybrid silica sol”, *Applied Surface Science* 387, 446–453, 2016.
- E. Ibibikan ve C. Kaynak, “Usability of three boron compounds for enhancement of flame retardancy in polyethylene-based cable insulation materials, *Journal of Fire Sciences*”, 32(2), pp:99–120, 2014.
- K. Xie, A. Gao, Y. Zhang, “Flame retardant finishing of cotton fabric based on synergistic compounds containing boron and nitrogen”, *Carbohydrate Polymers*, 98, 706– 710, 2013.
- C. Liu, T. Xing, B. Wei and G. Chen, “Synergistic Effects and Mechanism of Modified Silica Sol Flame Retardant Systems on Silk Fabric”, *Materials*, 11, 1842, 2018.
- C.K. Kundu, X. Wang, L. Liu, L. Song, Y. Hu, “Few layer deposition and sol-gel finishing of organic-inorganic compounds for improved flame retardant and hydrophilic properties of polyamide 66 textiles: A hybrid approach”, *Progress in Organic Coatings*, 129, 318–326, 2019.

# DOĞAL AFET YÖNETİMİNDE ZARAR AZALTMA FAALİYETLERİNİN TÜRKİYE ÖZELİNDE İRDELENMESİ

Uğur SERENCAM<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye,  
userencam@bayburt.edu.tr







# DOĞAL AFET YÖNETİMİNDE ZARAR AZALTMA FAALİYETLERİNİN TÜRKİYE ÖZELİNDE İRDELENMESİ

**Uğur SERENCAM<sup>1</sup>**

## GİRİŞ

Afet yönetimi, alışlagelmiş ölçüde afet sonrası kurtarma, hasar tespit ve zarar giderme çalışmalarını kapsamakta iken, artık günümüzde, afet öncesi risk çalışmaları ve hazırlık, afet sırasında müdahale ve operasyonel kurtarma, afet sonrasında ise iyileştirme, planlama ve zarar azaltma faaliyetlerini kapsamaktadır. Bu çalışmaların temelinde insan odaklı risk azaltma faaliyetlerinin ağırlıklı olduğu stratejiler vardır. Ülkemiz gibi doğal afet risklerinin (deprem, taşkın, heyelan gibi) can kaybı ve maddi zararlara yol açtığı ülkeler için öncelik zarar azaltma çalışmalarını esas alan planlamalardır. Bu planlamalarda afet yönetimi sorumluluğundaki tüm kurumlar koordineli olarak çalıştırılmalıdır.

Türkiye’de afet koordinasyonunun tek elden yapılabilmesi amacı ile AFAD Kurumu kurulmuştur. AFAD öncülüğünde, ilgili kurum paydaşlarınca çalışmaları devam eden afet risk haritalarının yapılması, erken uyarı sistemleri gibi teknik çalışmalar ile, toplumda çocukluk yaşlarından itibaren afet bilincinin geliştirilmesi toplumsal afet eğitimleri gibi sosyal çalışmalar ulusal afet yönetiminin esaslarını oluşturmaktadır. Asıl amaç, oluşabilecek afet zararların önceden analiz edilerek zararın asgariye indirilmesinin sağlanmasıdır.

Afet yönetiminin en temel unsuru, toplumun güvenle yaşayacağı yerleşim alanlarını tespit edilerek, mevcut olan

---

1 Dr. Öğr. Üyesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye,  
userencam@bayburt.edu.tr

afet tehlikelerini saptamak, gerekli önlemleri almak ve karşılaşılabilecek riskleri ortaya çıkartmaktır.

Türkiye’de, başta depremler olmak üzere heyelan, kaya düşmesi, taşkın, çığ gibi afetlerle sıkça karşılaşan ve bu afet olayları yüzünden çok büyük can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Bu durum, özellikle afet sonrası iyileştirme çalışmalarında çok büyük yatırımlar yapılmasını gerektirmiş, yerleşim alanlarının yeri değiştirilmiş alt ve üst yapılar yenilenmiş, insanlar Ülkenin başka yörelerine göç etmek zorunda kalmışlardır. Ülkenin, Karadeniz Bölgesi gibi eğimli arazi yapısına sahip alanlarında, heyelanlara, taşkınlara ve kaya düşmelerine çok sık maruz kalmış, bu riskleri insanların eğimli arazilere açtığı yollar, ormanlık alanlarının kesilerek çaylık ve tarım alanlarına dönüştürmesi tetiklemiştir.

Özellikle Doğu Anadolu’dan başlayıp, ülkenin iç kesimlerinden Marmara bölgesine kadar uzanan deprem fay hatları ise zaman zaman aktif hale geldiklerinden bu durum ağır hasarlı depremlere neden olmuş, mevcut yapıların depreme dayanıksız olması nedeniyle çok fazla can ve mal kaybına neden olmuştur. Oluşan afet kayıpları sadece fiziksel olmayıp sosyal ve psikolojik travmalara ve sakat kalmalara da sebebiyet vermektedir.

Günümüzün teknoloji ve bilgi birikimi ile depremlerin önceden tahmin edilmesi mümkün değildir ancak deprem zararlarının minimum seviyelere indirilmesi alınacak önlemlerle gerçekleştirilebilir. Deprem dışındaki diğer afet olayları da benzer şekilde olmasına karşın diğer afetlerin önceden tahmin edilebilme olasılığı mümkündür.

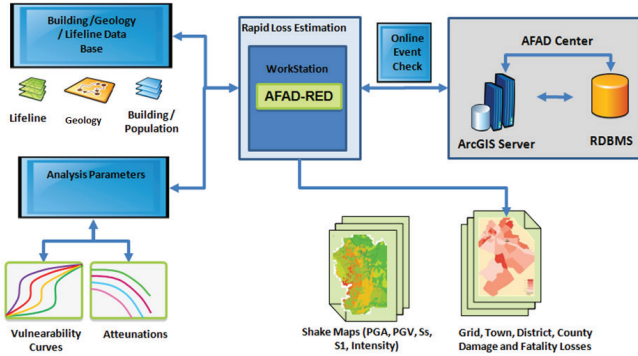
Bu çalışmada, doğal afetlere karşı alınabilecek tedbirlerin başında zarar azaltma faaliyetleri, hasar önleme faaliyetleri ve bütünleşik afet risk haritalarından bahsedilecektir. Doğal afetlerin çok fazla yaşandığı Türkiye’de, en

fazla can ve mal kaybına neden olan deprem, taşkın ve heyelan afetlerinin yönetiminde zarar azaltma faaliyetleri üzerinde durulacaktır.

### **Ön Hasar Tahmin Sistemleri:**

Ön hasar tahmin sistemleri; bir afet sonrası erken hasar tahminini yaparak bölgede müdahale ve iyileştirme çalışmalarına önemli bir katkı sağlamak amacıyla kurulmaktadır. Afet ile ilgili ön hasar tahmin sistemleri ağırlıklı olarak deprem olayında kullanılmasına rağmen kurulan yapı sağlığı izleme sistemleri veya erken uyarı sistemleriyle de bütünleşik olarak çalışmaktadır. Ön hasar tahmin sistemlerinin temeli; afet türüne göre beklenebilecek hasarın olacağı alanda farklı sensörler (gözlem istasyonları) yardımıyla eş zamanlı olarak oluşturulan merkeze verilerin aktarılması ve bu verilerin afet anında kullanılan azalım ilişkileri yardımıyla hasar alanlarının ve derecelerinin belirlenmesi mantığına dayanmaktadır.

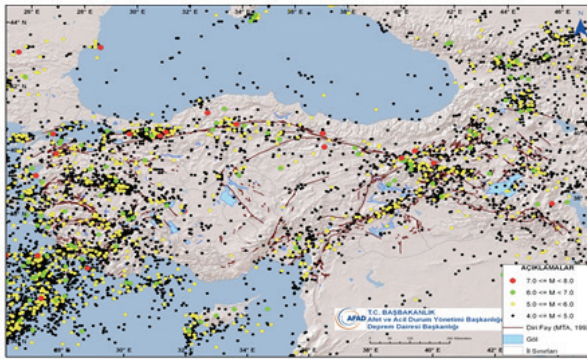
Ön hasar uyarı sistemleri, depremler risklerinin yanında, diğer afet olayları için de kurulabilir. Bunlar, baraj gibi kritik tesislerin ani su yükselmesinin takibi, ani yağış veya kar erimesi sonucu akarsu yataklarında oluşabilecek taşkınların yatak sensörleri ile tespiti, yüksek hızlı tren gibi ulaşım ağlarının sürekli gözlenerek çığ düşmesi, heyelan gibi doğa kaynaklı bir afet olayında olabilecek hasar riskleri hızlı ve güvenilir şekilde değerlendirilebilecektir. Kurulabilecek bu sistemlerin birbiri ile entegrasyonu sağlanarak doğal afet durumunda tek elden yönetim, koordinasyon ve kurtarma çalışmaları yapılabilir. Ülkemizde ön hasar tahmin sistemine örnek olarak AFAD Başkanlığınca kurulmuş olan AFAD-Red sistemi verilebilir (Şekil 1). Bu sistem ülkemizin önemli bir deprem potansiyeli olan Doğu Anadolu Fay sisteminin Kahramanmaraş-Hatay illeri arasına kurulmuş olup sistem sürekli geliştirilmektedir.



Şekil 1: AFAD-Red sisteminin temel çalışma prensibi.

## Deprem Afet Gözlem Sistemleri:

Deprem olayları sonucunda ülkemizde AFAD Başkanlığının istatistiksel değerlendirmelerine göre yaklaşık 90 bin vatandaşımız hayatını kaybetmiş yaklaşık 500 bin konutumuz ağır hasar görmüştür. Bir deprem ülkesi olan Türkiye, AFAD Başkanlığı Deprem Araştırma Dairesinin ulusal deprem gözlem istasyonları ağından elde edilen verilerin istatistiksel dağılımına bakıldığında yıllık çözümü yapılan deprem sayısının 22000 ile 25000 arasında değiştiği ve oldukça yoğun bir deprem aktivitesinin varlığı saptanmıştır ( Şekil 2).



Şekil 2: AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı verilerine göre 1900 den günümüze kadar depremlerin ( $M \geq 4.0$ ) dağılımı.

Afet kaynaklı olaylarla sıkça karşı karşıya kalan ülkelerde afet zararlarını azaltmak için son yıllarda ileri teknoloji ürünleri sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Maliyet açısından daha düşük ve her türlü iletişim kanallarına açık gözlem sistemleri, bir afet esnasında afetin boyutu ve risk hesaplamalarını hızlıca kriz yöneticisine aktaran bilgi sistemleri ve afet öncesinde risk azaltma çalışmalarına altlık olacak toplum odaklı tehlike ve risk haritaları bu teknolojilerden öne çıkanlarıdır.

Doğa kaynaklı afet olaylarının tahmin edilebilirliği çok parametreliliği ölçüm istasyonlarının kurulmasına bağlıdır. Bunlardan, deprem gözlem istasyonları temelde yerkabuğunda depreme neden olan sarsıntıları ölçmek ve depremin genel özellikleri hakkında bilgi sağlamak temel amacıyla kullanılmaktadır. Depremler meydana gelmeden önce doğadaki diğer parametrelerinde sürekli gözlemlenip birbirleri arasındaki ilişkilerin ortaya konması gerekir. Örneğin basıncın, hava ve su sıcaklığının, nemin, iletkenliğin, radon miktarının, gerilmelerin vb. Parametrelerin ölçülüp sürekli gözlemlenmesi afet olaylarının önceden tahmininde ve ikincil afetlerin izlenmesinde çalışılması gereken önemli konulardır.

Doğa kaynaklı afet olaylarında özellikle depremlerden önce meydana gelen kabuktaki yükselme, alçalma, eğilme, gerilme ve gerilme değişimleri gibi kabuk deformasyonlarının aranmasına eskiden beri süre gelen bir ilgi vardır. Kabuktaki deformasyon ölçümleri düşey kabuk deformasyonu ve yatay kabuk deformasyonu ölçümleri olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Bu deformasyonların belirli alanlardaki değişimlerini tespit etmek için tiltmetre ve gerilme ölçerlerle ölçümler yapılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3: Deprem erken uyarı sistemlerinin genel kullanım alanları.

Depremlerden önce oluşan gerilme birikimini ölçmek için gerilme ölçerler ile santimetreden daha az olan seviyelerde yapılan ölçümler hem zemin tabanlı hem de uydu tabanlı teknikler kullanarak yapılabilir. Fakat gerilme ölçümü, bir depremin başlangıcı için gerekli olan gerilme miktarı bilinmediği için depremlerin tahmininde doğrudan yardımcı olamaz (Turcotte, 1991).

Cicerone et all., (2009)' a göre yüzey düzleme (surface leveling) ve lazer uzaklık belirleme jeodezik ölçümleri, ölçülerde onlarca kilometre uzakta olan bölgeler üzerindeki deformasyonları göstermek için en doğru yoldur. Fakat bu tarz ölçümler zaman alıcı ve masraflıdır ve bu ölçümler arasındaki zaman aylar hatta yıllar sürmektedir. Günümüzde modern GPS ve uydu tabanlı SAR interferometre ölçümleri ile günlere hatta dakikalara varan ölçeklerde yer kabuğunda meydana gelen jeodezik konum değişikliklerini ortaya koymak mümkündür.

Depremlerden önce kabukta meydana gelen deformasyon değişimleri özellikle Çin, Japonya, Amerika Birleşik

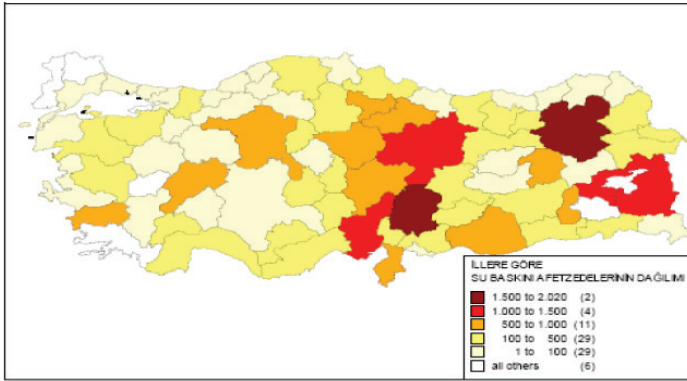
Devletleri ve eski Sovyetler Birliği'nde rapor edilmiştir. Bunun en tipik örneklerinden birisi 1964' te Japonya'da 7.5 büyüklüğünde meydana gelen Niigata Depremi ile ilişkili olanıdır. Tekrarlanan nivelman araştırmaları sonucunda deprem meydana gelmeden 7-8 yıl önce bir kaç noktada yükselmeler olduğu keşfedilmiştir. Depremin merkez üssü ile anormallik gözlenen noktalar arasındaki mesafenin onlarca kilometreyi bulduğu gözlenmiştir.

### **TAŞKIN RİSK ANALİZLERİ:**

Taşkın risklerinin belirlenebilmesi için, taşkına sebebiyet verebilecek akarsuların çeşitli tekerrür süreli taşkın verileri analitik ve istatistiki analizlerinden yararlanılır. Analitik yöntemlerde, taşkınlarla havza ve iklim parametreleri arasında analitik ilişkiler kurulup, bu ilişkiler yardımıyla taşkın tahminleri yapılmaktadır (örnek birim hidrograf). İstatistik yöntemlerde ise, taşkınlar rastgele değişkenler olarak ele alınıp meydana gelme ihtimalleri çeşitli olasılık dağılım fonksiyonları yardımıyla taşkın tahminleri edilmektedir.

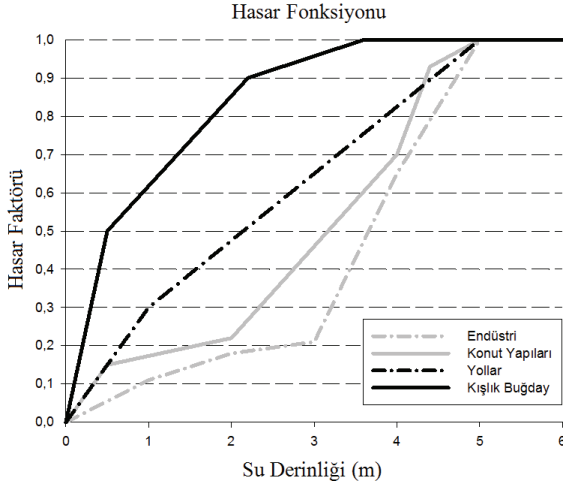
Yeterli yağış ve akım verilerinin bulunduğu havzalarda, eğer taşkın hidrografi da gerekli ise, birim hidrograf (BH) modeli uygun olmaktadır. Ancak, bu yöntemin en önemli sakıncası, BH'nin elde edilmesinde bazı kabullerin yapılmasıdır. İstatistiksel yöntemlerin en büyük sakıncası ise, gözlenen değerlerin belli bir teorik dağılıma uyduğunun kabul edilmesidir. Ayrıca, gözlem süresi çok kısa ise uzun süreli taşkınların tahmininde çok büyük hatalar yapılabilir.(Serencam, 2013)





**Şekil 4.** Taşkından etkilenen illerin afetzede sayısı bazında dağılımı, Afad 2008.

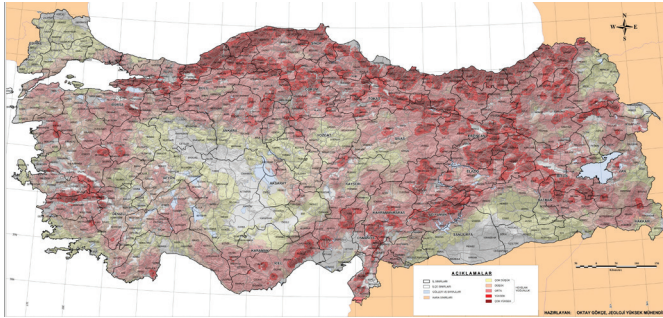
Taşkınların sebep olabileceği zararların değerlendirilmesi için, inceleme yapılacak alandaki topoğrafik verilerden faydalanılarak taşkın yayılma haritası ile taşkın derinlik haritası birleştirilerek ayrıntılı bir arazi örtüsü haritası hazırlanmalıdır. Ön zarar değerlendirmesi ve taşkın doğru olarak modellenebilmesi için, bu harita üzerinde tüm altyapı ve üst yapı tesisleri belirtilmelidir. Beklenen taşkın zararı, çoğu defa, ortalama derinlik-zarar fonksiyonları şeklinde ifade edilir. Bu fonksiyonlar, genellikle, değerli mallarda (binalar, işyerleri, araçlar, yollar vb altyapı tesisleri) oluşan zararları veya zarar yüzdelelerini (oranlarını) su derinliğine bağlı olarak gösterir. Bu fonksiyonların kullanılması çeşitli taşkın senaryolarının analiz edilmesi ve taşkın zararlarını azaltma önlemlerinin etkinliğinin incelenmesi gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. Mark [12]. Literatürde yapılan çalışmaların çoğunda bu genelleştirilmiş ilişki kullanılmasına rağmen müstakilde Van-Eck ve Kol ile Moel ve Aerts tarafından oluşturulmuş derinlik-zarar eğrileri de mevcuttur. (Şekil 4).



Şekil 5. Van Eck ve Kok'un derinlik-zarar eğrileri

## HEYELAN RİSK ANALİZLERİ:

Heyelanlar, özellikle eğimli arazilerde, meteorolojik, jeolojik ve insan kaynaklı olayların yerçekimi etkisi ile yamaç dengesinin (stabilitesinin) bozulması ile oluşur. Özellikle yerleşim yerlerine yakın oluşan heyelanlar büyüklüklerine göre can ve mal kayıplarına yol açar. Doğal yolla oluşan heyelanlar, özellikle kil katmanlı arazilerde, sağanak yağışların eğim etkisi ile hareketi, bitki örtüsü zayıf zeminlerin daha fazla aşınıp daha kolay su doygunluğuna ulaşması, donma çözünme, erozyon ve deprem gibi olaylar heyelanları tetikleme vazifesi yaparlar. İnsan etkisi ile oluşan heyelanlarda ise, eğimli arazinin topuk veya yüzey kısmının tünel, baraj, yol, yapay patlatma ve bitki örtüsünün tahrip edilmesi ile oluşur.



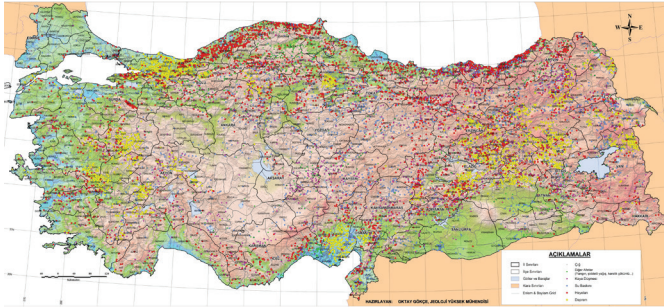
**Şekil 6:** Afad, Türkiye heyelan yoğunluk haritası (1950-2008).

Yerleşim yeri planları veya alt yapı çalışmaları yapılacak bölgelerde heyelan risklerinin belirlenerek heyelan risk haritalarının hazırlanması gerekir. Heyelan risk haritasının hazırlanmasında en önemli noktalardan biri faktörlerin uygun şekilde seçilmesidir. Bir çalışma alanında heyelan risk haritasının oluşturulması için eğim, litoloji, yükseklik, bakı ve arazi kullanım yoğunluğu parametreleri belirlenmelidir. Analiz sonucunda oluşacak heyelana duyarlı alanların doğruluğunun saptanması amacıyla mevcut heyelan envanteri haritalarından da faydalanılabilir. Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelan alanlarının alansal dağılım ve özelliklerinin gösterildiği haritalardır (Çevik ve Topal 2003, Yalçın 2007, Reis et al., 2009).

Heyelan risk analizinde topoğrafik, jeolojik ve diğer tematik etmenlerin yanı sıra, arazi kullanım yoğunluğu ve önemi tartışılması gereken bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Arazi kullanım yoğunluğu insan ve doğal etkenlerden kolayca etkilenen ve değişime uğrayan bir özelliğe sahiptir. Önemli değişim süreçlerine sahip toprak hidrolojisini içinde barındıran arazi yoğunluğu heyelan duyarlılığının analizinde dikkate alınması gereken bir faktördür (Yalcin et al.2011).

## Bütünleşik Afet tehlike Haritaları

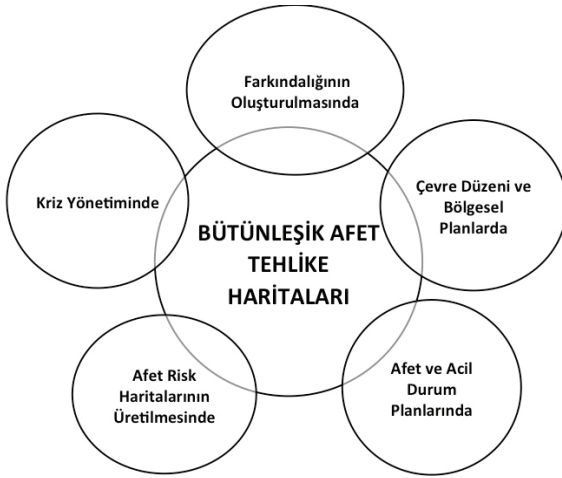
Bütünleşik afet tehlike haritaları literatürde “multi-hazard mapping” konulu yurtdışı araştırmaların bir ürünü olarak ülkemizde kullanılmaya başlanmıştır. Bütünleşik afet tehlike veya risk haritaları ile ilgili yurtdışında çok sayıda araştırmaya rastlanılmaktadır (FEMA, 1997, ISDR, 2004, Schmidt, J. 2011, Zhongqiang L. et al. 2015). Ülkemizde 2000 li yıllarda kapatılan Afet İşleri Genel Müdürlüğü bünyesinde bu çalışmalar başlamış olup (AİGM 2001, 2007 ve 2009 ) günümüzde Türkiye’nin bütünleşik afet tehlike haritalarının özellikle yerleşim yerlerini kapsayan kısımları önemli ölçüde tamamlanmıştır. (Şekil 5).



**Şekil 7:** Afete uğramış yerleşim birimleri haritası (1950-2008).

Doğal afet riskleri bazı durumlarda tüm havzaı da kapsayabildiğinden bütünleşik afet tehlike haritaları küçük ölçekli olarak (1/25.000-1/100.000 arası) hazırlanırlar. Bunun faydası, havzada bulunan yerleşim alanlarının sağlıklı planlanması, bu alanlarda yapılacak özellikle büyük hacimli (Baraj, Arıtma Tesisi) gibi yapıların imalatlarda tüm doğal afet risklerinin analiz edilmesi ve gerekli tedbirlerin imalatlar başlamadan alınabilmesidir. İstenildiğinde detay yapıları için bu haritalardan daha büyük ölçekli haritalarda türetilir.

Ölçeği (1/5.000-1/25.000 arası) olabilecek bu haritalarla da, kentlerin afet tehlikelerini belirleyerek afet risklerinin hesaplanması, afet acil yardım planlarına esas olacak bilgilerin hazırlanması, bölgesel ve çevre düzeni planlarının hazırlanması için plancılara gerekli olabilecek afet ile ilgili bilgilerin düzenlenmesi, karar verici ve uygulayıcı mekanizmaya doğru, hızlı, güvenilir ve güncel sonuçları aktarmak, pratik uygulamayı sağlamak amacıyla yapılmaktadır.(Şekil 6).



**Şekil 8:** *Bütünleşik afet tehlike haritalarının kullanım alanları.*

Bütünleşik afet tehlike haritalarının kullanımının temel faydaları;

a) Mekansal planlama: Bütünleşik tehlike haritaları toplum ve yerel mekansal planlama işlemleri için temel göstergelerdir,

b) Risk azaltma önlemleri: Bütünleşik afet tehlike haritaları boyut ve konum açısından tehlikelerden korunma yöntemlerine (taşkın korunma yapıları, çığ bariyerleri vb.) destek sağlarlar.

c) Acil durum planlarında bir araç olarak kullanılırlar: Afet tehlike haritaları en büyük riskin nerede ve hangi sıklıkla olabileceğini göstermektedir. Bu bilgiler acil durum planlarında temel veri olarak kullanılabilir.

d) Toplumda farkındalığın yükseltilmesinde: Bütünleşik afet tehlike haritaları toplumda potansiyel risklerin algılanmasında ve koruyucu tedbirler veya müdahale planlarındaki farkındalığın artırılmasına yardım eder.

Bütünleşik afet tehlike haritalarının üretilmesinde en önemli aşama “veri tabanı” yani envanter oluşturmaktır. Çalışmanın diğer temel aşamaları modelleme, analiz ve haritaların üretilmesidir. Bütün çalışmalarda olduğu gibi “eğitim” göz ardı edilmemesi gereken önemli bir gerçektir. Envanterin toplanmasında, haritanın oluşturulmasında, analiz ve güncellemelerin yapılmasında, bütün bilgilerin coğrafi bilgi sistemlerine aktarılmasında ve yönetilmesinde konusunda uzman eğitilmiş kişilerden oluşan ekiplere ihtiyaç vardır. Bir diğer önemli hususta karar vericilerinde (Vali, Belediye Başkanı, Kaymakam, İl Afad Müdürü gibi) mutlak surette oluşturulacak bu sistemi kullanabilmeleri, çıktı haritaları yorumlayarak hızlı kararlar vermesi sağlanmalıdır.

Günümüzde bütünleşik afet tehlike haritaları yalnız başına bölgenin/yerleşim alanının tehlikelerini ortaya koyan bir harita özelliği ile beraber risk analizini de içeren bir şekilde yapılmasıdır. Yani oluşturulan tehlike haritalarından hareketle özellikle karar verici mekanizmaya daha çok bilgi verebilmek amacıyla bu tehlikelerin gerçekleştiğinde bölgede/yerleşim alanında nasıl bir can ve mal kaybıyla karşılaşılacağı, ikincil afetlerin etkilerinin ne olacağı hakkında da bilgileri içeren türev haritalar bu başlık altında üretilmektedir. Bir çeşit risk haritaları olan bu türev haritalarının yanı sıra kriz yöneticisinin hazırlıklı olmasını sağlamak amacıyla tehlike haritalarından farklı olaylar oluşturularak senaryolar da üretilmektedir.

## SONUÇLAR

Afet yönetiminde temel amaç; toplumun güvenli yerleşimlerde afet olaylarında en düşük seviyede zarar almalarını sağlayacak sistemleri kurmaktır. Bu amaç doğrultusunda toplum odaklı olmak üzere afet gözlem sistemleri, hasar ve erken uyarı sistemleri ile risk haritalamaları sürekli geliştirilerek bireyin hizmetine sunulmaktadır. Unutulmaması gereken bir diğer önemli hususta bireyin afet konusunda farkındalığını artırmak olmalıdır. Yerleşim alanlarında deprem afeti açısından «Güvenli Yaşam Güvenli Yerleşim» standartlarına ulaşmak için;

a) Deprem bölgesine ait otomatik ve manuel hesaplama yapabilen tahmini şiddet, hız ve ivme dağılım haritalarının yanı sıra farklı derecelerdeki yaralanmalar, can kaybı ve yapıların hasar durumları hakkında bilgi verecek «Ön Hasar Tahmin ve Erken Uyarı Sistemleri» oluşturulmalı,

b) Yerleşim alanlarında bu sistemlere veri sağlayacak gerekli gözlem ağı kurulmalı,

c) Mevcut veya yeni kurulacak yerleşim alanlarında taşkın risklerinin belirlenmeli, bu riskler göz önüne alınarak hazırlanacak taşkın tehlike haritalarına uygun planlamalar yapılmalıdır.

d) Eğimli araziler potansiyel heyelan riski altındadır. Heyelan riski altındaki bölgelerde taşkın gibi heyelan risk haritaları oluşturulmalı ve bu haritalara uygun altyapı çalışmaları planlanmalıdır.

e) Yerel yöneticiler, sorumlu oldukları yerleşim alanının tüm verilerini mekânsal olarak sayısal ortama aktarmalı, sorumluluk alanlarındaki yerleşimlerin bütünleşik afet tehlike haritalarının hazırlanmasında öncülük yapmalı ve afet planlarını güncel tutmalıdırlar.

## KAYNAKLAR

- [1]AFAD, Bütünleşik afet tehlike haritalarının hazırlanması: Çığ temel kılavuzu, 130 s., 2015.
- [2]AFAD, Bütünleşik afet tehlike haritalarının hazırlanması: Heyelan-Kaya düşmesi temel kılavuzu, 152 s., 2015.
- [3]AİGM, Kastamonu İlının Afet Tehlikesi ve Riskinin Belirlenmesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Yayınları, 2 Cilt., 2001
- [4]AFAD, Türkiye afete uğramış yerleşim birimleri haritası (1950-2008), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Dairesi, Haritalar, Ekim 2008.
- [5]AİGM, Bartın İlının Afet Tehlikesi ve Riskinin Belirlenmesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Yayınları, 2009.
- [6]FEMA, Multi-Hazard Identification and Risk Assessment: The Cornerstone of the National Mitigation Strategy. Washington, D.C. <http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=2214>, 1997.
- [7]International Strategy for Disaster Reduction, Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives. Annexes. Vol. 2 (Vol. 2). United Nations Publications, 2004.
- [8]Nurlu, M., Kuterdem, K. ve Öz Saraç, V., Multi-hazard Approach to Disaster Risk Reduction in Regional Level by Using Geographic Information Systems and Remote Sensing, 2007 Geohazards Week, 5-9 November 2007, Frascati., 2007.
- [9]Schmidt, J., Matcham, I., Reese, S., King, A., Bell, R., Henderson, R., & Heron, D., “Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk Modeling.” *Natural hazards*, 58(3), 1169-1192, 2011.
- [10]Zhongqiang Liu, Farrokh Nadim, Alexander Garcia-Aristizabal, Arnaud Mignan, Kevin Fleming and Byron Quan Luna, A three-level framework for multi-risk assessment, *GeoRisk*, Volume 9, Issue 2, 59-74 p, 2015.



- [11]UDSEP, Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2012.
- [12]Mark, O., Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding, Journal Of Hydrology, 51 526–538,2004.

**TÜRKİYE’NİN ÇEŞİTLİ ŞEHİRLERİNDE  
YAPILAN ELEKTRİK VE MANYETİK  
ALAN ÖLÇÜMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ  
VE ÖLÇÜM SONUÇLARININ İNCELENİP  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Ali Recai ÇELİK<sup>1</sup>**



---

<sup>1</sup> Dr., Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
eeecalicelik@gmail.com





# **TÜRKİYE’NİN ÇEŞİTLİ ŞEHİRLERİNDE YAPILAN ELEKTRİK VE MANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ VE ÖLÇÜM SONUÇLARININ İNCELENİP DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Ali Recai ÇELİK<sup>1</sup>**

## **1. GİRİŞ**

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte, kablosuz iletişim sistemlerindeki hücresel sistemlerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Buna paralel olarak baz istasyonlarının da sayısı yükselmektedir. Ayrıca FM ve TV vericilerinden kaynaklı elektromanyetik (EM) alan maruziyetleri de bulunmaktadır. Bu nedenle, düşük ve yüksek frekans kaynaklı elektrik ve manyetik alan ölçümlerinin yapılması büyük önem arz etmektedir. EM radyasyon seviyelerinin ölçülmesi, değerlendirilmesi ve olası tedbirlerin önceden alınması insan sağlığı açısından elzemdir.

Gerek yüksek gerilim hatları, trafolar ve baz istasyonları, gerekse de GSM, UMTS, FM ve TV vericilerinin toplumsal yaşam alanlarında oluşturdukları EM kirlilik seviyelerinin ölçüldüğü çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmada, 2008-2018 yılları arasında Ankara, İstanbul, Bursa, Konya, Kayseri, Samsun, Rize, Malatya ve Diyarbakır gibi Türkiye’nin değişik coğrafi bölgelerinde yer alan farklı nüfus yoğunluklarına sahip şehirlerinde gerçekleştirilen ve bilimsel çalışma olarak yayımlanmış olan elektrik ve manyetik alan ölçümlerinin derlenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmalarda genel olarak şehir merkezlerindeki belirli konumlarda EM alan maruziyet seviyelerinin tespit

---

<sup>1</sup> Dr., Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
eealicelik@gmail.com

edildiği ve detaylı olarak paylaşıldığı görülmüştür. İncelenen çalışmalarda ölçümler özetlenmiş, sonuçlar hakkında yorumlamalar yapılmıştır. Ayrıca kullanılan bazı ölçüm cihazları tanıtılarak, ölçüm yöntemlerinden de bahsedilmiştir. Farklı şehirler için ortalama elektrik ve manyetik alan değerlerine göre oluşan maruziyet seviyeleri paylaşılmıştır. Yapılmış olan ölçümler neticesinde elde edilen değerlerin, Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) tarafından belirlenen halk ve mesleki maruziyet seviyelerine göre karşılaştırmaları da yapılmıştır.

## 2. Elektrik ve Manyetik Alan Ölçümleri

Ölçülmek istenen kaynağın frekans bandına ve özelliklerine göre ölçüm yöntemleri değişmektedir. Örneğin, UMTS ve GSM gibi mobil haberleşme sistemlerinin yaymış olduğu elektrik ve manyetik alan şiddeti değerleri çok değişken olabilmektedir. Görüşme anında baz istasyonu ile cep telefonu kullanıcıları arasındaki mesafe veya baz istasyonu üzerinden görüşme yapan kullanıcı sayısı ortamdaki EM alan şiddeti seviyesini etkilemektedir.

Ölçülmek istenen gerilim hattının özelliklerine göre de ölçüm yöntemleri değişebilmektedir. Örneğin, yüksek, orta ve alçak gerilim hatları ölçülürken genellikle elektrik alan değeri ölçülür. Fakat şehir merkezinde insanların yaşam alanlarının çok yakınından geçen orta gerilim hatlarının hem elektrik alan hem de manyetik alan değerleri ölçülmesi gerekebilir. Havai tip trafoların, yer tipi trafoların, trafo dağıtım merkezlerinin ve şalt sahalarının ise manyetik alan değerlerinin ölçülmesi daha uygun olabilir. Elektrik ve manyetik alan ölçümlerinde genellikle Spektрум Analizör isimli cihaz veya iç yapısında bu cihazı barındıran ölçüm aletleri kullanılır. Örnek olarak bazı ölçüm cihazları Şekil 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Narda firmasına ait EHP50C ve SRM3006 elektromanyetik alan ölçüm cihazları (Narda, 2018)

### 3. ICNIRP Kılavuzu

EM radyasyonun zararlı etkilerinden insanların korunmasını konu alan çalışmalar için kontrol ve denetim hususları önem arz etmektedir. Bu nedenle, başta ısı etki parametresine göre olmak üzere birçok parametre yönünden radyasyon değerlerinin üst sınır seviyelerinin ne olması gerektiği öncelikle uluslararası standart hazırlama kuruluşları tarafından belirlenir.

Daha sonra her ülke bu üst sınırları aşmayacak şekilde kendi sınırlarını belirleyebilir. İşte bu uluslararası kuruluşlardan biri de ICNIRP'dir.

ICNIRP tarafından yüksek ve düşük frekanslar için olmak üzere, aralarında Türkiye'nin de bulunduğu birçok ülke tarafından referans olarak kabul edilen 2 adet kılavuz hazırlanmıştır. Elektrik alan ve manyetik alan için mesleki ve halk maruziyet limitleri detaylı olarak bu kılavuzlarda yer almaktadır. Mesleki maruziyet sınır değerleri Tablo 1'de, halk maruziyeti sınır değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir (ICNIRP, 2003), (ICNIRP2, 2009).

**Tablo 1.** 1 Hz-300 GHz frekans aralığı için ICNIRP tarafından belirlenen mesleki maruziyeti sınır değerleri

| Frekans Aralığı | Elektrik Alan Şiddeti ( $V m^{-1}$ ) | Manyetik Alan Şiddeti ( $A m^{-1}$ ) | Manyetik Akı Yoğunluğu ( $\mu T$ ) |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1 Hz'e kadar    | —                                    | $1.63 \times 10^5$                   | $2 \times 10^5$                    |
| 1-8 Hz          | 20000                                | $1.63 \times 10^5 / f^2$             | $2 \times 10^5 / f^2$              |
| 8-25 Hz         | 20000                                | $2 \times 10^4 / f$                  | $2.5 \times 10^4 / f$              |
| 0.025-0.82 kHz  | $500 / f$                            | $20 / f$                             | $25 / f$                           |
| 0.82-65 kHz     | 610                                  | 24.4                                 | 30.7                               |
| 0.065–1 MHz     | 610                                  | $1.6 / f$                            | $2 / f$                            |
| 1-10 MHz        | $610 / f$                            | $1.6 / f$                            | $2 / f$                            |
| 10-400 MHz      | 61                                   | 0.16                                 | 0.2                                |
| 400-2000 MHz    | $3 f^{1/2}$                          | $0.008 f^{1/2}$                      | $0.01 f^{1/2}$                     |
| 2-300 GHz       | 137                                  | 0.36                                 | 0.45                               |

**Tablo 2:** 1 Hz-300 GHz frekans aralığı için ICNIRP tarafından belirlenen halk maruziyeti limit değerleri

| Frekans Aralığı | Elektrik Alan Şiddeti ( $V\ m^{-1}$ ) | Manyetik Alan Şiddeti ( $A\ m^{-1}$ ) | Manyetik Akı Yoğunluğu ( $\mu T$ ) |
|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1 Hz'e kadar    | —                                     | $3.2 \times 10^4$                     | $4 \times 10^4$                    |
| 1-8 Hz          | 10000                                 | $3.2 \times 10^4/f^2$                 | $4 \times 10^4/f^2$                |
| 8-25 Hz         | 10000                                 | $4000/f$                              | $5000/f$                           |
| 0.025-0.8 kHz   | $250/f$                               | $4/f$                                 | $5/f$                              |
| 0.8-3 kHz       | $250/f$                               | 5                                     | 6.25                               |
| 3-150 kHz       | 87                                    | 5                                     | 6.25                               |
| 0.15-1 MHz      | 87                                    | $0.73/f$                              | $0.92/f$                           |
| 1-10 MHz        | $87/f^{1/2}$                          | $0.73/f$                              | $0.92/f$                           |
| 10-400 MHz      | 28                                    | 0.073                                 | 0.092                              |
| 400-2000 MHz    | $1.375/f^{1/2}$                       | $0.0037f^{1/2}$                       | $0.0046f^{1/2}$                    |
| 2-300 GHz       | 61                                    | 0.16                                  | 0.20                               |

Nüfus yoğunluğunun bulunduğu yaşam alanlarında oluşan EM kirliliğin tespiti daha önemli olduğundan dolayı, Şekil 3'de gösterilen ve frekansa bağlı olarak değişen halk maruziyet sınır değerlerinin referans alınarak incelenmesi daha öncelikli olmalıdır. Buna göre;

Örneğin 87.5–108 MHz frekans aralığına sahip FM bandı ve 174–230 MHz frekans aralığına sahip TV3 bandı için ICNIRP'nin belirlemiş olduğu elektrik alan halk maruziyeti seviyesi 28 V/m'dir. 170–862 MHz frekans aralığına sahip TV4-5 bandı için ICNIRP'nin belirlemiş olduğu elektrik alan halk maruziyet seviyesi ise yaklaşık olarak 40 V/m'dir. Benzer şekilde, düşük frekanslar için de elektrik ve manyetik alan maruziyet seviye değerleri hesaplanabilir.

Hesaplanan bu değerler, araştırmacılar tarafından yapılan ölçümlerde limit değerleri aşan yerler olup olmadığı incelenirken referans olarak kabul edilirler.



### 3. Türkiye'nin Farklı Şehirlerinde Yapılan Bazı Ölçümler

Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de EM kirlilik seviyelerinin araştırılması amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır. Çalışmaların tümünü incelemek ve derlemek mümkün olmayacağına göre, Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerindeki büyükşehirlerde yapılmış olan bazı çalışmaları özetlemek yararlı olacaktır. Çalışmalar yayım tarihleri eskiden yeniye doğru kronolojik olarak sıralanacaktır.

(Özen, Helhel, & Başaran, 2008) tarafından Antalya'da yerleşim alanlarından geçen enerji iletim ve dağıtım hatları ile TV vericileri, radyo ve telsiz antenleri ve cep telefonu baz istasyonları için ölçümler yapılmıştır. Örneğin apartmanlara çok yakın konumda bulunan TV verici kuleleri için yapılan bir ölçüm Şekil 4'de verilmiştir.



**Şekil 4.** Antalya ili Kepez ilçesindeki TV kulelerine ait bir görüntü  
(Özen ve ark., 2008)

Enerji iletim ve dağıtım hatlarının geçtiği bölgelerde ve konutlar içerisinde 0.4-1.1 MikroTesla arasında ölçülen manyetik alan seviyelerinin, ICNRP'nin genel halk maruz sınır değeri olan 100 MikroTesla değerinden oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Ancak yapılan bazı çalışmalar

özellikle çocuklar için enerji hatları yakınında 0.4 Mikro-Tesla ve üzerindeki manyetik alan seviyelerinin leukemia riskini artırdığını göstermiştir (Linnet, et al., 1997), (Brain, et al., 2003), (Henshaw & Reiter, 2005).

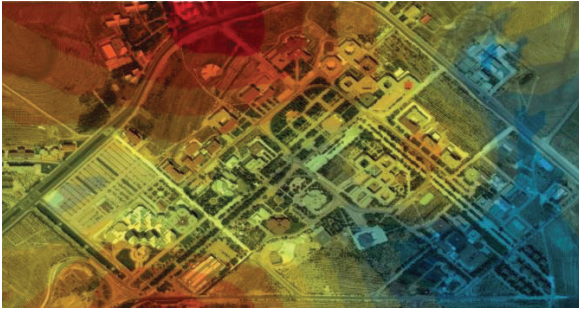
Bu nedenle Hollanda başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde 0.4 T değerinin referans alınması yönünde çalışmalar yapıldığı vurgulanmıştır. Baz istasyonları için yapılan ölçümlerde ise, elektrik alan değerlerinin genel olarak 1-5 V/m arasında kaldığı görülmüş, nadiren de olsa 5-10 V/m değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler sınır değerlerin altında kalmıştır. Ancak araştırmacılar, yoğun nüfusa sahip bölgeler ve özellikle çocuk park ve bahçeleri ile okul ve kreş yakınlarında anten kurulumları için konum seçiminin titizlikle yapılması gerektiğini tavsiye etmişlerdir.

(Bilim, Kabalcı, & Develi, 2011) tarafından Kayseri Erciyes Üniversitesi'nde GSM 900 MHz bandındaki EM yoğunluğun günün farklı zaman dilimlerinde incelenmesine yönelik yapılan çalışmada öncelikle GSM'in genel yapısı ve çalışması hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra GSM 900 frekans bandının haberleşme yoğunluğuna bağlı olarak oluşan EM kirlilik detaylı bir biçimde incelenmiş, gece ve gündüz saatleri arasındaki farklılık gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen ölçümlerde Spectran HF-6065 model taşınabilir RF spektrum analizörü kullanılmıştır. Yapılan inceleme sonuçlarına göre, gün içinde GSM kullanımının yoğun olduğu mesai saatlerinde frekans bandının kullanımının arttığı ve dolayısıyla EM kirliliğin de artış gösterdiği raporlanmıştır.

(Seyfi, 2013), Konya ilinde rastgele seçilen apartmanlarda 1 hafta süresince 24 saatlik ölçümler gerçekleştirmiş, maruz kalınan EM radyasyon seviyelerini gözlemlemiştir. 100 kHz–3 GHz frekans bandındaki ortalama ölçüm sonuç değerlerinin sınır değerlerin altında kaldığını tespit etmiş-

tir. Ancak, sonuçların günlere göre değişimini incelerken zirve yapan değerlerin 6.9 V/m'ye kadar yükseldiğini gözlemlemiştir. Dolayısıyla kısa süreli ölçümlerin düşük hassasiyete neden olabileceğini belirterek, daha doğru sonuçlar elde edebilmek için uzun ölçümler yapılması gerektiğini tavsiye etmiştir. Konya ilinde (Yaldız, Seyfi, & Nacaroglu, 2015) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, Selçuk Üniversitesi kampüsünün EM kirlilik haritasının oluşturulması ve böylece temiz bir güzergah belirlenmesi amaçlanmıştır.

Narda firması tarafından üretilmiş olan EMR-300 cihazı kullanılarak 111 değişik noktada ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde elde edilen değerlerin görsel olarak paylaşılması ve Türkiye'de en fazla öğrenci ve personel yoğunluğuna sahip üniversitelerden birinin kampüsünde radyasyon seviyesinin tespit edilmesi faydalı ve önemlidir. Çalışmada paylaşılmış olan 'Kampüs Üzerine İşlenmiş Kirlilik Haritası' Şekil 5'de verilmiştir.



**Şekil 5.** Selçuk Üniversitesi kampüsü üzerine işlenmiş EM kirlilik haritası

Diyarbakır il merkezi için yapılan çalışmalardan birinde (Cansız, Çelik, & Kurt, 2014) tarafından düşük frekans kaynaklı elektrik ve manyetik alan maruziyet seviyeleri ölçülürken, diğer bir çalışmada ise (Cansız, Abbasov, Çelik, & Kurt, 2016) tarafından UMTS bandının mobil ölçümü ve istatistiksel analizi yapılmıştır. Düşük frekans kay-

naklı ölçümlerde EHP-50C isimli cihaz kullanılarak 50 farklı noktadan değerler alınmış ve sonuçlar 6 dakikalık ölçümlerin ortalama değeri alınarak hesaplanmıştır. Bazı konutların yakınından geçen orta gerilim iletim hatlarının etrafında yapılan ve Şekil 6’da gösterilen ölçümlerde, manyetik alan şiddeti değerlerinin, ICNIRP’nin belirlemiş olduğu halk maruziyeti limit değerini aştığı tespit edilmiştir. Bu nedenle orta gerilim hatlarının yer altına alınması önerilmiştir. UMTS bandı için yapılan mobil ölçümlerde ise, araç üzerine monte edilen izotropik anten, Narda SRM3006 spektrum analizör cihazı, bağlantı kabloları ve dizüstü bilgisayar kullanılmıştır.

Ölçüm sonuçlarına göre UMTS bandının yaymış olduğu elektrik alan şiddeti değerlerinin çok değişken olduğu belirtilmiş, ayrıca ölçüm günleri arasında bir ilişki olup olmadığı incelenerek detaylı olarak analizler yapılmıştır.



*Şekil 6. Diyarbakır ilinde halk maruziyeti limitini aşan bir noktada yapılan ölçüm*

(As, Dilek, Şahin, & Karan, 2014) tarafından Rize ilinde bulunan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi’nde farklı günlerde ve farklı saatlerde ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde 400 MHz – 6 GHz aralığında çalışabilen Narda SRM3006 spektrum analizör ve 3 eksenli anten kullanılır.

mıştır. Elde edilen sonuçlar, ölçülen değerlerin sınır değerlerin oldukça altında olduğunu göstermiştir. Ölçümlerin öğrencilerin yoğun bulunduğu bir Üniversite kampüsünde yapılması yönüyle faydalı bir çalışma olmuştur.

Türkiye'nin en kalabalık nüfusuna sahip olan İstanbul ilinde yer alan farklı semtlerde, hastanelerde, okullarda, üniversitelerde ve daha birçok konumda EM radyasyon seviyelerinin tespitine yönelik yapılmış olan çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmada örnek olarak (Yılmaz & İspirli, 2015) tarafından İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi için gerçekleştirilmiş olan EM kirlilik ölçümlerinden bahsedilecektir. Ölçümler, Narda NBM-550 model ve frekans aralığı 100 kHz-3 GHz olan kompakt bir spektrum analizör cihazı kullanılarak 17 farklı noktada yapılmıştır.

Beklenildiği üzere öğrenci sayısının arttığı ve yeni nesil akıllı telefonların yoğun olarak kullanıldığı zaman dilimi olan öğle arası saatlerinde EM alan değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Diğer zaman dilimlerinde ölçülen değerlerin ise, uluslararası EM alan sınır değerlerinin altında kaldığı belirlenmiştir. Araştırma laboratuvarları ve mühendislik fakültesi gibi çok sayıda elektronik cihazın bulunduğu binalarda EM alan değerinden daha az etkilenmesi için gerekli önlemlerin alınması gerektiği tavsiye edilmiştir.

Bursa-Nilüfer Belediyesi ile yapılan ortak projeler çerçevesinde beldedeki gerek düşük frekans kaynaklı gerekse de yüksek frekans kaynaklı elektrik ve manyetik alan ölçümlerine yönelik çok sayıda çalışma raporlanmıştır. Bu çalışmaların en önemlilerinden biri, GSM verici antenlere yakın evlerde yaşayan insanların EM alan maruziyet seviyelerinin 3 yıl gibi uzun bir sürece gözlemlenip incelenmesiyle ilgili (Cerezci, Kanberoglu, & Yener, 2015) tarafından yapılan çalışmadır. 250 farklı noktada 412 ölçümün yapıldığı çalışmada, baz istasyonlarının yıllara

göre artmasına ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak, ölçülen ortalama değerlerin her yıl belirli bir oranda arttığı belirlenmiştir.

Ölçüm sonuçlarına göre, ölçülen değerlerin %97'si 5 V/m'den, %92'si 3 V/m'den ve % 84'ü 2 V/m'den düşüktür. 412 ölçümün 10'unda ise 5 V/m veya daha büyük değerler görülmüştür. Ölçüm değerlerinden hiçbirinin IC-NIRP referans seviyesini aşmadığı ve sadece bir değer ulusal kriterleri belirleyen Bilgi Teknolojileri Kurumu (BTK) referans seviyesinden büyük olduğu tespit edilmiştir. Ancak, araştırmacılar ICNIRP tarafından açıklanan eşik sınırlarının oldukça esnek kabul edildiğine ve bu nedenle sınırların gözden geçirilmesine ihtiyaç duyulduğuna dair görüşlerini paylaşmışlardır.

İsviçre, Polonya ve İtalya gibi bazı ülkelerin daha az sınır seviyelerini referans aldıkları ve sistemlerini bu değerlere göre başarıyla düzenleyebildikleri bilgisini paylaşarak, Türkiye'deki ilgili kurumların da bu ülkeleri örnek alması gerektiğini tavsiye etmişlerdir.

Malatya şehir merkezindeki GSM/UMTS baz istasyonlarının çevresindeki EM radyasyon seviyesinin ölçümü, analizi ve modellenmesi için (Karadağ, Yüceer, & Abbasov, 2016) tarafından önemli bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada yüksek frekanslı EM alanların tespitine yönelik hem anlık hem de sürekli ölçümler gerçekleştirilmiştir. Gündüz saatlerinde mobil haberleşme trafiğinin yoğun olmasından kaynaklı olarak elektrik alan seviyelerinin %25 oranında artış gösterdiği bilgisi paylaşılmıştır. Saatlik, günlük ve haftalık olarak elde edilen ölçüm sonuçlarının incelenmesi neticesinde, ölçülen değerlerin modellenemeye uygun olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, baz istasyonlarından elde edilen mobil iletişim trafiği değerleri ile ortamlardaki sıcaklık ve nem değerlerine dayanan bir tahmin modeli de aynı çalışmada geliştirilmiştir.

Samsun ilinin en kalabalık ilçelerinden olan İlkadım ve Atakum ilçelerinde ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kuru-  
pelit Kampüsü'nde EM kirlilik ölçümüne yönelik önemli  
çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda; (Gül & Kurnaz,  
2015) İlkadım ilçesinin 67 farklı konumunda 8 farklı za-  
man diliminde PMM 8053 EMR cihazı ile 1000'den fazla  
ölçüm yapmış ve en yüksek elektrik alan şiddetini 7.32  
V/m olarak ölçmüşlerdir. (Yıldız, Kurnaz, & Karagöl,  
2015) Atakum ilçesinin 46 farklı konumunda 2 farklı gün-  
de, günün üç farklı zaman diliminde (sabah, öğle ve ak-  
şam saatlerinde) PMM 8053 EMR cihazı ile ölçümler yap-  
mış ve en yüksek elektrik alan şiddetini 5.18 V/m olarak  
gözlemlemişlerdir. Öğlen ve akşam saatlerinde görülen  
sonuçların, sabah saatlerinde görülenlerden daha yüksek  
olduğu bilgisini paylaşmışlardır.

(Kurnaz, 2018) ise, 3 yıl boyunca Üniversite kampüsü-  
nün 60 farklı konumunda PMM-8053 ve SRM-3006 ci-  
hazları ile ölçüm yapmış ve en yüksek elektrik alan şidde-  
tini 4.20 V/m olarak elde etmiştir. Ayrıca, toplam elektrik  
alanı yüksek oranda bir doğrulukla karakterize etmek için  
yeni bir model önermiştir. Samsun ili için bahsedilen üç  
çalışmada da ölçülen değerler ICNIRP ve BTK tarafından  
belirlenen sınır değerlerin altında olmakla birlikte, bazı  
Avrupa ülkeleri için belirlenen sınır değerlerin ise üzerin-  
de kalmıştır.

(Kurnaz & Aygün, 2018) tarafından Ankara ilinin Yeni-  
mahalle ilçesinde iki farklı günde ve 100 farklı konumda  
EM radyasyon ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde PMM-  
8053 EMR ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümlerde en  
yüksek elektrik alan şiddeti 7.84 V/m, en yüksek ortalama  
elektrik alan şiddeti ise 2.61 V/m olarak belirlenmiştir. Her  
ne kadar ölçülen E değerleri ICNIRP ve BTK tarafından  
belirlenen limitlerin altında olsa da; maruz kalınan E sevi-  
yelerinin halk sağlığını tehdit etmeyecek seviyelerde tutul-  
ması açısından düzenli aralıklarla ölçülmesi ve izlenmesi

önerilmiştir. Araştırmacıların yaptıkları ölçümlere ait paylaştıkları örnek bir görüntü Şekil 7’de verilmiştir.



**Şekil 7.** *Ankara ili Yenimahalle ilçesinde yapılan EM radyasyon ölçümlerinden bir görüntü*

#### 4. Tartışma

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte her geçen gün hayatımıza daha fazla dahil olan elektrikli cihazlar nedeniyle çevremizde oluşan EM kirlilik artmaktadır. Ayrıca nüfusun artmasıyla birlikte, başta haberleşme sistemleri olmak üzere elektrik ve manyetik alan kaynağı olan sistemlerin kullanımının artması da maruz kalınan EM radyasyon seviyelerini yükseltmektedir. Türkiye’nin farklı şehirlerinde yapılan ve bu çalışmada özetlenen ölçümlere göre, gözlemlenen değerler genel olarak ICNIRP sınır değerlerinin altında kalmıştır. Ancak, belirlenen sınır değerlerin de tartışmaya açık olduğu belirtilmiş, bu nedenle Türkiye’deki referans değerlerin İsviçre, Hollanda, İtalya gibi ülkelerde olduğu gibi yeniden düzenlenmesi gerektiği tavsiye edilmiştir. Yıllar sonra ortaya çıkabilecek bazı sağlık problemlerinin, bugün maruz kalınan EM kirlilikten kaynaklanabileceği unutulmamalıdır.



## KAYNAKÇA

- As, N., Dilek, B., Şahin, M.E. & Karan, Y. (2014). Electromagnetic pollution measurement in the RTE university campus area. *Global Journal on Advances in Pure & Applied Sciences*, 3, 65-72.
- Bilim, M., Kabalcı, Y., Develi, İ. (2011). FEEB 2011, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu. *GSM 900 Mhz Frekans Bandındaki Elektromanyetik Yoğunluğun Günün Farklı Zaman Dilimleri İçin Ölçülmesi Ve Değerlendirilmesi*, 195-199. Elazığ.
- Brain, J.D., Kavet, R., McCormick, D.L., Poole, C., Silverman, D.B., Smith, T.J., Weaver, J.C. (2003). Childhood leukemia: electric and magnetic fields as possible risk factors. *Environmental health perspectives*, 111(7), 962–970.
- Cansız, M., Abbasov, T., Çelik, A.R., Kurt, M.B. (2016). Diyarbakır İl Merkezi'nde UMTS bandının mobil ölçümü. *Dicle Üniversitesi Müh. Fak. Mühendislik Dergisi*, 7(1), 85-92.
- Cansız, M., Çelik, A.R., Kurt, M.B. (2014). 50 Hz Şebeke Frekansında Elektrik ve Manyetik Alan Şiddetlerinin Ölçülmesi ve Ölçüm Sonuçlarının ICNIRP'nin Halk Maruziyeti Limitlerine Göre Karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Muhendislik Bilimleri Dergisi*, 20(8), 294-299.
- Cerezci, O., Kanberoglu, B., Yener, S.C. (2015). Analysis on trending electromagnetic exposure levels at homes and proximity next to base stations along three years in a city. *Journal Of Environmental Engineering And Landscape Management*, 23, 71-81.
- Gül, B.K., Kurnaz, Ç. (2015). *Samsun İlkadım İlçesindeki Elektromanyetik Kirliliğin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi* Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu. 219-222
- Henshaw, D.L., Reiter, R.J. (2005). Do magnetic fields cause increased risk of childhood leukemia via melatonin disruption? *Bioelectromagnetics*. , 86-97.

- ICNIRP. (2003). *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0 Hz-100 kHz)*. Munich: International Commission on Non-ionizing Radiation Protection.
- ICNIRP. (2009). *Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)*. Germany: International Commission on Non-ionizing Radiation Protection.
- Karadağ, T., Yüceer, M., Abbasov, T. (2016). A large-scale measurement, analysis and modelling of electromagnetic radiation levels in the vicinity of GSM/UMTS base stations in an urban area. *Radiation Protection Dosimetry*, 168(1), 134-147.
- Kurnaz, Ç. (2018). An Empirical Modeling of Electromagnetic Pollution on a University Campus. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 33(1), 111-114.
- Kurnaz, Ç., Aygün, T. (2018). Elektromanyetik Kirlilik Seviyesinin Belirlenmesi: Ankara Örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 650-659.
- Linnet, M.S., Hatch, E.E, Kleinerman, R.A., Robison, L.L., Kaudine, W.T., Friedman, D.R., Severson, R.K., Haines, C.M., Hartsock, C.T., Niwa, S., Wacholder, S., Tarone, R.E. (1997). Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *N. Engl. J. Med.*, 337(1), 1-7.
- Narda. (2018). <https://www.narda-sts.com/en/>
- Özen, Ş., Helhel, S., Başaran, C. (2008). IV. URSI Türkiye Bilimsel Kongresi, Akdeniz Üniversitesi, ANTALYA. *Farklı Frekanslı Kaynak Tipleri İçin Antalya İli Elektromanyetik Alan Seviyeleri Ve Risk Analizi*, 300-303.
- Seyfi, L. (2013). Measurement of electromagnetic radiation with respect to the hours and days of a week at 100kHz–3GHz frequency band in a turkish dwelling. *Measurement*, 46(9), 3002-3009.

- Yaldız, E., Seyfi, L., Nacaroğlu, C. (2015). Elektromanyetik Alanlar Ve Etkileri Sempozyumu, Mersin. “*Selçuk Üniversitesi Kampüsünde Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması Ve Temiz Güzergah Belirlenmesi*”, 192-194
- Yıldız, D., Kurnaz, Ç. Karagöl, S. (2015). Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu. *Samsun Atakum İlçesine Ait Elektromanyetik Kirlilik Ölçümleri Ve Değerlendirmeler*.
- Ersoy Yılmaz, A., İspirli, M.M. (2015). Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu Emanet2015 . *İstanbul Üniversitesi Avcılar yerleşkesi için Elektromanyetik kirlilik ölçümleri*.



[www.gecekitapligi.com](http://www.gecekitapligi.com)

 /gecekitapligi

 /gecekitapligi

 /gecekitap



9 786058 022911 >