



# MÜHENDİSLİKTE ARAŞTIRMA VE DEĞERLENDİRMELER - II *Aralık 2022*

Editörler

Prof. Dr. Coşkun ÖZALP

Doç. Dr. Nurettin AKÇAKALE

**İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız**  
**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel**  
**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı**  
**Editörler / Editors • Prof. Dr. Coşkun ÖZALP**  
**Doç. Dr. Nurettin AKÇAKALE**  
**Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2022**  
**ISBN • 978-625-430-560-3**

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin  
almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

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**

**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

**web:** [www.gecekitapligi.com](http://www.gecekitapligi.com)

**e-mail:** [gecekitapligi@gmail.com](mailto:gecekitapligi@gmail.com)



**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

**Mühendislikte  
Araştırma ve  
Değerlendirmeler II -  
Aralık 2022**

Editörler

Prof. Dr. Coşkun ÖZALP  
Doç. Dr. Nurettin AKÇAKALE





# İÇİNDEKİLER

## **BÖLÜM 1**

### **GLUTENSİZ EKMEĞİN BESİNSEL DEĞERİNİN VE BİYOAKTİVİTESİNİN ARTIRILMASI**

*Hatice Aybüke KARAOĞLAN* ..... 1

## **BÖLÜM 2**

### **MAKİNE ÖĞRENME SİSTEMLERİ İLE EV KİRASINI TAHMİNİ**

*Metin ÖZŞAHİN, Kazım Burak YILMAZ, Serap AKCAN* ..... 23

## **BÖLÜM 3**

### **BETON VE NANOTEKNOLOJİ**

*Aylin AKYILDIZ* ..... 37

## **BÖLÜM 4**

### **SU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNİN OTOMASYONUNDA ENDÜSTRİ 4.0, NESNELERİN İNTERNETİ, BULUT BİLİŞİM, MAKİNE ÖĞRENİMİ VE OPTİMİZASYON UYGULAMALARI**

*Rifat KURBAN* ..... 49

## **BÖLÜM 5**

### **MRI VE BT GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİYLE BEYİN TÜMÖRÜNÜN TEŞHİS VE SINIFLANDIRILMASINDA KULLANILAN DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARININ İNCELENMESİ**

*Aynur SEVİNÇ, Buket KAYA* ..... 71

## **BÖLÜM 6**

### **GIDA TEKNOLOJİSİNDE VAKUM EMİRME TEKNİĞİ**

*Hatice HAYAT GİRĞİN, Bilge ERTEKİN FİLİZ* ..... 95

## **BÖLÜM 7**

### **İKİ KADEMELİ BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMİNDE KONDENSER VE SOĞUTUCU AKIŞKAN TÜRÜNÜN PERFORMANS KATSAYISI ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ANALİZİ**

*İsmail TUNÇİL, Mutlu Tarık ÇAKIR..... 119*

## **BÖLÜM 8**

### **SERAMİK SINIRLAMA TİPLERİNİN BALİSTİK PERFORMANSA ETKİLERİ VE FARKLI SONUÇLARIN SEBEPLERİ**

*Melek Duygu UYKUN EŞKARA..... 135*

## **BÖLÜM 9**

### **MİKROENKAPSÜLASYON VE GIDALARDA UYGULAMA ALANLARI**

*Alican AKÇİÇEK, Merve METE, Dilek DÜLGER ALTINER..... 157*

## **BÖLÜM 10**

### **NANO-MALZEMELERİN GEOPOLİMER BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

*Necip Altay EREN..... 185*

## **BÖLÜM 11**

### **YBCO KÜLÇE SÜPERİLETKENLERİNDE TUZAKLANAN MANYETİK ALAN**

*Burcu SAVAŞKAN, Sait Barış GÜNER..... 203*

## **BÖLÜM 12**

### **HİDROFOBİK/ SÜPER HİDROFOBİK NANO KAPLAMALAR VE SON ZAMANLARDAKİ UYGULAMALARI: KISA BİR DERLEME**

*Emine Gizem YILDIZ, Yasemin YILDIZ..... 217*

### **BÖLÜM 13**

## **AKILLI ŞEHİR ÇALIŞMALARI KAPSAMINDA TARİHİ HAMAMÖNÜ EVİNİN ÜÇ BOYUTLU MODELLENEREK WEB ORTAMINDA SUNULMASI**

*Zeynep Nur DERELİOĞLU, Cevdet Coşkun AYDIN ..... 233*

### **BÖLÜM 14**

## **SERAMİK ELEKTRONİK ISI ALICI ALTLIK ÜRETİMİ İÇİN MALZEME TETRAHEDRONU KULLANILARAK ÜRETİM TASARIMI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME**

*Pınar UYAN ..... 261*

### **BÖLÜM 15**

## **KIRŞEHİR İLİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIMDA BİSİKLET KULLANIMI YAYGINLIĞI VE BİSİKLET YOLLARININ ANALİZİ ÜZERİNE ARAŞTIRMA**

*Hatice Canan GÜNGÖR, Yüksel YÖNET, Sultan HASKILIÇ..... 275*



## **BÖLÜM 1**

### **GLUTENSİZ EKMEĞİN BESİNSEL DEĞERİNİN VE BİYOAKTİVİTESİNİN ARTIRILMASI**

*Hatice Aybüke KARAOĞLAN<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü <https://orcid.org/0000-0002-0790-186X>

## 1. Giriş

Son yıllarda glutensiz ürünlere yönelik artan talep,  olyak hastalığında veya gluten tüketime karşı diğer alerjik reaksiyonlarda görülen belirgin artışla paralellik göstermektedir.  olyak hastalığı, birkaç önemli besin maddesinin emilim bozukluğuna ve bağırsak mukozasında hasara yol açan ince bağırsağın iltihaplanması ile ilişkilidir.  olyak hastalığının tek etkili tedavisi, kişinin yaşamı boyunca glutensiz bir diyete sıkı sıkıya bağlı kalması ile ilişkili olup, bu durumun zamanla klinik ve mukozal iyileşme ile sonuçlandığı belirtilmektedir (Gallagher et al., 2004).

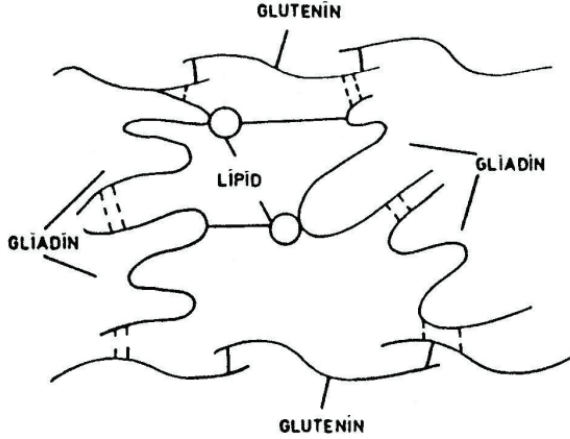
Glutensiz ekmek üretiminde gluten yerine koyulabilecek tek bir ham madde, bileşen veya katkı maddesi  nerilemediğinden glutensiz ekmek üretimi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. alışmalar genellikle farklı bileşenlerin glutensiz ekmek formülasyonuna katılmasıyla ekmeğin reolojik, kalite, tekstür ve duysal özelliklerindeki değişiminin incelenmesi  zinedir. Fakat unutmamak gerekir ki gluten intoleransına neden olan maddelerin (buğday, avdar, arpa ve yulaf) kullanılmaması, nihai üründe lif, B vitaminleri ve minerallerde önemli bir azalmanın ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ayrıca, glutensiz ürünlerin yüksek besin kaynaklı ürünlerden üretilse dahi gluten intoleransı olan kişilerin zamanla bağırsak villuslarında bozulmalar meydana gelir ve bu da gıda bileşenlerinin normal kişilere göre daha düşük sindirilebilirliğine neden olur. Dolayısıyla, glutensiz beslenen kişilerde yeterli besin ögelerini alamaması durumu ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada besin değerinin ve biyokativitesinin artırılması amacıyla glutensiz ekmeğe eklenen farklı bileşenler ve bileşenlerin glutensiz ekmek üzerine etkileri ortaya koyulmuştur.

## 2. Glutensiz Ekmekte Besinsel İçerik ve Biyoyararlılığın  nemi

Pazar araştırması, şu anda piyasada bulunan glutensiz ekmeklerin çoğunun çok düşük kalitede olduğunu göstermektedir. Buğday ekmeğinde gluten o kadar geniş bir işlev yelpazesine sahiptir ki, buğday unu yerine tek bir malzeme koymak mümkün değildir. İyi kalitede glutensiz ekmek, yalnızca glutenin viskoelastik özelliklerini taklit eden bir dizi un ve polimerik maddenin glutensiz formülasyona dahil edilmesi durumunda  retilbilir. İyi duysal ve dokusal özelliklere sahip ürünler elde etmek için tek bir un yerine bir dizi glutensiz un kullanılması önerilir. Glutensiz bir formülasyona belirli bir oranda nişastanın eklenmesi, glutensiz ekmeğin genel kalitesini kesinlikle artırır. Bu amaçla buğday nişastasından ziyade pirinç, patates veya tapyoka gibi doğal olarak glutensiz nişastalar kullanılmaktadır(Arendt et al., 2008).

Gluten temel belirleyicileri; üç boyutlu bir protein kompleksi olan ve bazı tahıl unlarında bulunan prolamınler ve glutenin proteinleridir (Şekil 1). Prolaminler; buğdayda gliadin, çavdarda sekalin, arpada hordein ve yulafta avenin olarak isimlendirilir ve çölyak hastalarında immün reaksiyonlarından sorumludurlar. Glutenin teknolojik özellikleri, unlar suyla yoğrulduktan sonra, hamura viskozite, kohezyon ve elastikiyet kazandırmak, nihai ürünlerin yapısal, duyuusal ve besleyici özelliklerini etkilemektedir (Difonzo et al., 2022). Unlu mamullerin önemli bir bileşeni olarak bu ürünlerden glutenin çıkarılması, arzu edilen tekstür, duyuusal özellikler ve genel kalitenin düşmesine neden olacaktır (Kırbaş et al., 2019). Glutensiz ekmek formülasyonunun geliştirilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Glutensiz ekmek formülasyonunu tam olarak verebilmek hala çok zordur çünkü glutenin yerini alabilecek tek bir ham madde, bileşen veya katkı maddesi tam olarak belirlenememiştir (Martins et al., 2020).



Şekil 1 Buğday glutenin temel yapısını oluşturan gliadin ve glutenin proteinlerinin konumlanması (Lasztity, 1996).

Glutensiz gıdalar söz konusu olduğunda, gluten intoleransına neden olan maddelerin (buğday, çavdar, arpa ve yulaf) ortadan kaldırılması, nihai üründe lif, B vitaminleri ve minerallerde önemli bir azalmaya yol açar. Sağlıklı beslenme için ekmeklerin bu içerikler yönünden desteklenmesi gerekmektedir (Difonzo et al., 2022; Kinsey et al., 2008; Tricia Thompson, 2000). Bu ürünlerin besin değerlerlerinin artırması için amaranth, karabuğday, darı, kinoa, soya fasulyesi veya sorgum tohumları gibi çeşitli ek hammaddeler, lifli ürünler, süt tozu, yumurta proteini veya yumurta tozu eklenebilir (Regula et al., 2018). Bununla birlikte, araştırmalar çölyak hastalığından muzdarip insanların enterositlerinde metal birikimini gösterdiğinden, ekmeğin zenginleştirilmesi dikkatli yapılması gerektiği de belirtilmektedir (Elli et al., 2018).

Unlu mamullerden glutenin çıkarılmasının, tokluk kan ekerinde artışa neden olabileceğini öne sürülmektedir (Scazzina et al., 2015). Bu durum, glutensiz ürünlerde kullanılan, karbonhidrat mevcudiyetini ve nişasta sindirilebilirliğini etkileyebilen unların içerdiği nişasta, protein, enzim ve hidrokolloidlerin karmaşık yapıları ve birbirleriyle olan etkileşimleri ile açıklanabilir (Stantiall & Serventi, 2018). Bir gıda ürününde bulunan nişasta, kolay sindirilebilir (30 dakika içinde hidrolize edilir), yavaş sindirilebilir (30-120 dakika içinde hidrolize edilir) veya dirençli (16 saatte hidrolize olmamış halde kalır) nişasta olarak sınıflandırılabilir (Matos Segura & Rosell, 2011). Kolay sindirilebilen nişasta kısa sürede jelatinleşir ve sindirim sisteminde hızla parçalanarak yemek sonrası kan ekeri seviyelerinde ve insülin sekresyonunda ani bir artışa neden olur. Bu nedenle, diyetlerde dirençli nişasta tercih edilir (Stantiall & Serventi, 2018). Dirençli nişasta, kolondaki probiyotik bakterilerden özellikle *Bifidobacterium* ve *Lactobacillus* türleri tarafından fermente edilebilen nişastanın lineer kısmından (amiloz) oluşur, bu da kolorektal kanserin önlenmesinde anahtar rolü olan bütirik asit başta olmak üzere kısa zincirli yağ asitlerinin üretimini beraberinde getirmektedir (Amini et al., 2016).

Glutensiz gıdaların bir diğer önemli beslenme yönü, glisemik indekstir (GI). GI, bir gıdadaki sindirilebilir karbonhidrat miktarının ve kan ekeri konsantrasyonu üzerindeki tokluk, kümülatif etkinin bir ls d r (Glade & Smith, 2015). Lif, protein ve yağ dahil olmak üzere birden fazla bileşen bir gıda ürününün GI'sini etkiler. Rafine buğday, pirinç ve mısır unları gibi bileşenler, yüksek GI'yi indükleyen daha hızlı hidrolize nişastalar içerir. Glutensiz ekmeğin oz n r DL ve dirençli nişasta ile zenginleştirmesi, olyak hastalığı ve insüline bağımlı diyabeti olan kişiler için oldukça arzu edilen glutensiz ekmeğin glisemik yanıtını azaltabilir (Capriles et al., 2016).

Glutensiz ekmek üzerine yapılan araştırmalar daha çok glutensiz ekmeğin dokusunu, duysal özelliklerini ve besin değerini geliştirmeye yönelik olsa da, glutensiz ekmeklerde bulunan minerallerin yüksek biyoyararlanımını elde etmek hala büyük bir zorluktur. Gluten intoleransı ile mücadele eden kişilerde, zamanla bağırsak villuslarında bozulmalar meydana gelir ve bu da gıda bileşenlerinin normal kişilere göre daha düşük sindirilebilirliğine neden olur (Rogaska et al., 2021). Regula et al., (2018) glutensiz ekmekten biyoyararlılığın %9 Ca, %21 Mg, %38 Fe, %50 Zn ve %62 Cu olarak belirtmektedir.

Minerallerin biyoyararlılığı yaş, cinsiyet ve fizyolojik durum gibi bireysel özellikler gibi birçok faktöre bağlıdır. Ayrıca, mineral bileşenin kaynağı ve her bir elementin birbirine kantitatif oranı da biyoyararlılık üzerine çok önemlidir (Suliburska & Krejpcio, 2014). Gıdaya mineral eklenmesiyle ilgili en önemli sorun minerallerin birbiri ile etkileşimleridir.



Örneğin; çinko ilavesi bakır emilimini engellerken, demir ilavesi de çinko emilimini engeller (Rogaska et al., 2021). Çalışmalar, ürünlerdeki demir-çinko oranı 25:1değerini aştığında çinko emiliminin azaldığını, bu durumun ürünlere tek tek bileşenlerin eklenmesini de sınırladığını belirtmektedir (Regula et al., 2018). Temel besinlerin emilimindeki azalma zamanla ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Kalsiyum eksikliği osteoporoz olasılığını artırıp, serum folatı veya B12 vitamini eksikliği anemiye neden olurken, ishal, yorgunluk, düşük kemik mineral yoğunluğu ve bağırsak malignite de karşılaşılabilecek sağlık sorunlarından (Gupta et al., 2015). Hem formundaki demir yaklaşık %20-30 oranında emilirken, hem olmayan formunda gıda bileşenlerine güçlü bir şekilde bağlıdır (Stantiall & Serventi, 2018). C vitamini, hidroklorik asit, sorbitol, etanol, laktik asit ve tartarik asit demir emilim artışına yardımcı olur. E vitamini, fitatlar, polifenoller, lif, yumurta albümini, kazein, baklagil proteinleri, bakır, kalsiyum, magnezyum karbonat, çay, kahve ve sigara emilimin azalmasına neden olmaktadır (Bjørklund et al., 2017). Bakır emilimi ortalama %35-40 olup, fruktoz ve hayvansal protein varlığında emilim artışı gözlenir. Çinko, demir, kadmiyum ve molibden, yüksek dozda C vitamini, bitkisel protein, fitatlar, kükürt bileşikleri, askorbik asit ve antasitler varlığında bakır emilimi azalır (Regula et al., 2018). Çinko genellikle hayvansal ürünlerden ortalama %20-40 oranında emilir. B6 vitamini, D ve hidroklorik asit emilimin artmasına neden olurken, fitatlar, lif, alkol, oksalatlar, bakır, demir, kalsiyum ve fosfatlar emilimi azaltır (Brown et al., 2002; Della Lucia et al., 2014). Baklagil-tahıl bazlı gıdalar, fosfat grupları Fe, Zn ve Ca iki değerlikli metal iyonlarını güçlü bir şekilde şelatlayarak insan tarafından emilmelerini engelleyen bir antibesin olan fitat (miyo-inositol hekzafosfat) açısından zengindir (Gupta et al., 2015).

Glutensiz ekmeğin tekstürel, fonksiyonel, duyuşal özelliklerinde iyileştirmesi üzerine yapılan çalışmalar dışında besin değerinin ve biyoaktivitesinin artırılması amacıyla ilave edilen bileşenler Diyet lif (DL) ilavesi, meyve ve sebzelerin yan ürünlerinin ilavesi, proteinlerin ilavesi ve katkıları olarak birkaç kategoride incelenebilir. Burada unutulmaması gereken bir konu var ki bazı bileşenlerin ilavesi birden fazla kategoride incelenebilir. Örneğin meyve ve sebze yan ürünü olarak glutensiz ekmeğe eklenen bir sebze kabuğu aynı zamanda DL ilavesi de olmaktadır. Bu anlamda her bir kategoriye örnek teşkil eden farklı araştırma örnekleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de glutensiz ekme formülasyonuna giren ürünlerin polifenolik veya DL içeriği yüksek veya iyi bir protein kaynağı olduğu görülmektedir. Aynı zamanda meyve ve sebze yan ürünlerinin de yüksek polifenolik içerikleri ve daha birçok olumlu özellikleri nedeniyle glutensiz ekme üretiminde olumlu etkilerinin bulunduğunu gösteren çalışmalara Tablo 1'de yer verilmiştir.

### 3. Diyet Liflerin İlavesi

Diyet lifleri (DL), glutensiz ekmek yapımında en çok üzerinde araştırma yapılan besinsel ve fonksiyonel bileşenlerdir. Bazı formüllerde, DL ayrıca ekmeğin fiziksel ve duyuşal niteliklerini, raf ömrünü ve besinsel bileşimini geliştirir. Özellikle, DL'nin yüksek su bağlama kapasitesi nedeniyle DL ile zenginleştirilmiş unlu mamul formülasyonlarında genellikle su miktarının arttırılması gerekir. Su miktarının arttırılması, pişirme sırasında gerekli olan yeterli hamur viskozitesini, nişasta jelatinizasyonu ve protein denatürasyonu sağlar (Capriles et al., 2016). DL, düşük katı konsantrasyonlarında viskoelastik tepkileri ve yüksek akma gerilim özellikleri nedeniyle jel oluşumunu ve viskoziteyi arttırmak için ideal bir bileşen olarak görülebilir (Kırbaş et al., 2019). Bitkisel lifler, daha yüksek biyoaktif bileşik, çözünebilir ve toplam lif içeriği, daha iyi su ve yağ tutma kapasiteleri ve daha düşük fitik asit içeriği ve kalori değeri nedeniyle, tahıllarda bulunan liflere göre daha iyi besin kalitesine sahiptir (N. O'Shea et al., 2015).

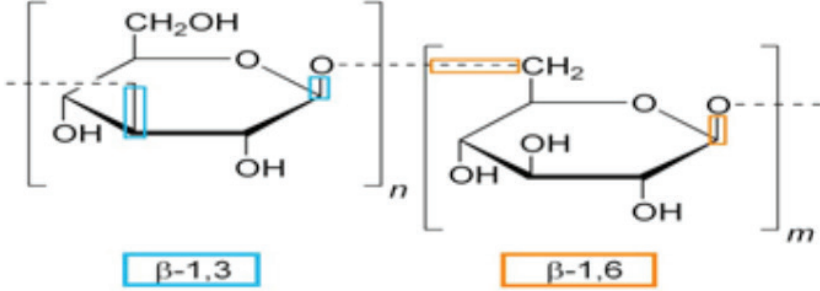
Bazı kanser türleri, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve gastrointestinal bozukluklar gibi kronik hastalıklara karşı koruyucu etkileri nedeniyle DL tksetimi tavsiye edilmektedir. Günlük diyetle 25-30 g/gün miktarında DL'nin alınması önerilir (Sabanis et al., 2009). Glutensiz diyet ile beslenen kişilerin önerilen günlük lif miktarının %67'sini karşıladığı bildirilmektedir (T. Thompson & Simpson, 2015).

Glutensiz ekmeğe diyet liflerin eklenmesinde iki yaklaşım vardır; i) ham maddeleri tam tahıl olarak kullanmak, ii) izole edilmiş DL kaynaklarını rafine una eklemek. Nihai ürünün dokusal, besleyici ve duyuşal kalitesi üzerindeki etkiler farklı olsa da her iki yaklaşım da nihai ürünlerin besin kalitesini artırma potansiyeline sahiptir. Temel besin maddelerinin çoğunu içeren izole edilmiş DL kaynaklarının (kepek fraksiyonları) eklenmesinin avantajı, i) uygun bir öğütme fraksiyonunun seçilmesine ve ii) ilave miktarının kontrolüne ve fonksiyonel özellikler üzerindeki etkisinin incelenmesine ve optimizasyonuna izin vermesidir (Phimolsiripol et al., 2012a). Doğal DL kaynağı olarak tahıllar (pirinç, mısır, sorgum, teff ve darı), yalancı tahıllar (karabuğday, kinoa ve amaranth) ve tahıl dışı (mercimek gibi bakliyat, muz gibi meyveler, patates gibi sebzeler ve kestane gibi kuruyemişler) sayılabilir (Torres et al., 2017).

Chia ve karabuğday unu içeren unlu mamullerin, düşük karbonhidrat içeriği ve yüksek protein ve çözünmez lif içeriğine sahip oldukları için seker ve obezite hastaları için yararlı olabilir. Ekmek yapımında karabuğdayunun kullanılması glisemik ve insülin indekslerinin düşürülmesine başlıca üç farklı şekilde katkıda bulunabilir: i) karabuğdayunun ısıtılmasından sonra sindirilemeyen nişasta oluşumu ii) karabuğday ununda

proantosiyanidinlerin varlığına bağlı olarak a-amilaz gibi sindirim enzimlerinin inhibisyonu ve iii) d-chiro-inositol yoluyla insülin direncinin iyileştirilmesi yoluyla. Chia tohumlarıyla güçlendirilmiş ekmekteki yüksek DL içeriği sayesinde yemek sonrası tokluğu artırmak, sonrası açlığı azaltmak, kabızlıktan kurtulmaya katkıda bulunmak ve son olarak prebiyotik olarak işlev görmek gibi sağlık üzerine olumlu etkilerden bahsedilebilir (Costantini et al., 2014).

$\beta$ -glukan, D-glikoz monomerlerinin  $\beta$ -glikozidik bağlarla birbirine bağlanmasıyla oluşan; sahip oldukları molekül kütlesi, viskozite, çözünürlük, ve konfigürasyonları nedeniyle farklılık gösteren nişasta dışı polisakaritlerdir (Şekil 2) (Şimşekli, 2014). İnsan ve hayvan sağlığı üzerindeki immün-uyarıcı, antiinflamatuvar, antimikrobiyal, antitümöral, hepatoprotektif, kolesterol düşürücü ve ayrıca antifibrotik, antidiyabetik ve hipoglisemik aktivite gibi olumlu etkiler sağlayan bir hidrokolloiddir (Zeković, Kwiatkowski, Vrvic, Jakovljević ve Moran, 2005). Bununla birlikte, literatürde ekmek yapımına dahil edildiği bildirilen  $\beta$ -glukanların çoğu, çoğunlukla yulaf, arpa veya buğdaydan ekstrakte edilen tahıl  $\beta$ -glukanlarıdır (Kittisuban et al., 2014). Tahıl  $\beta$ -glukanlarının dahil edilmesi, çölyak hastaları için gerekli olan glutensiz ekmeklerdeki DL seviyelerini arttırmaktadır (Lazaridou et al., 2007).



Şekil 2.  $\beta$ -glukanın kimyasal formülü ve  $\beta$ -glikozit bağlarının gösterimi

#### 4. Meyve ve Sebze Yan Ürünlerinin İlavesi

Meyve, sebze, tahıl, yağlı tohumlar ve baklagillerin işlenmesiyle çok çeşitli bitki kaynaklı gıda atıkları ve yan ürünleri oluşmakta olup, özellikleri kökenlerine göre farklılık göstermektedir. Meyve ve sebze bazlı yan ürünler önemli miktarda besin (proteinler, vitaminler ve mineraller) ve ayrıca fonksiyonel (diyet lifi) ve biyoaktif bileşikler (karotenoidler, fenolik bileşikler ve glukosinolatlar) içermektedir (N. O'Shea et al., 2015). Bunların arasında fitokimyasallar, antioksidan ve antimikrobiyal özellikler gibi önemli biyo-

lojik aktiviteler sergiler ve böylece bulaşıcı olmayan insan hastalıklarının önlenmesinde ve tedavisinde rol oynayabilir (Krupa-Kozak et al., 2021).

Meyve ve sebzeler taze tüketicilerinin yanı sıra genellikle reçeller, meyve suları, atıştırmalıklar ve salatalar üretmek için işlenmektedir. Meyvelerin işlenmesi, kabuklar, tohumlar, prina ve küspe gibi çok sayıda yan ürün üretir. Bir çok yararlı etkisi bulunan fenolikler, karotenoidler, flavonoidler, biyojenik aminler, fitosteroller ve diğer fitokimyasallar meyve ve sebzelerin posasında veya kabuğunda bulunabilir (Difonzo et al., 2022). Biyoaktif bileşikler ekstra besinsel avantajlara sahip olup yararlı biyolojik etkilerini probiyotik büyümeyi uyararak ve kardiyovasküler hastalık ve kanserin önleyerek göstermiş olurlar (Amini Khoozani et al., 2019).

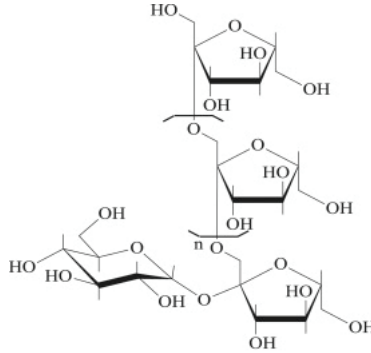
Meyvelerin sahip olduğu besinsel içerikler incelendiğinde glutensiz ekmek yapımında besinsel özelliklerin desteklenmesi amacıyla iyi potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır. Muz, doğru boyuta ve olgunluk aşamasına ulaştıktan sonra çokça tüketicilerin tropikal bir meyvedir. Muzun yan ürünleri (yeşil muz ve kabukları), flavonoidler, vitaminler, karotenoidler ve diyet gibi biyoaktif bileşikler açısından zengindir. DL içerisindeki  z n r (pektin) ve  z nmeyen bileşenlerden (selüloz, lignin ve hemiselüloz) oluşur; içeriği ve bileşimi meyvenin olgunluk aşamasına göre değişir (Wachirasiri et al., 2009). Muz kabuğunda DL içeriği %53'e (kuru ağırlık) kadar çıkabilirken, olgunlaşmamış muzların posasında maksimum %15'e, ileri olgunlaşma durumundakiler için %18'e ulaştığı belirlenmiştir (Amini Khoozani et al., 2019). Ayrıca, yeşil muzdan elde edilen unun bileşiminde %74'e yakın oranda dirençli nişasta bulunmaktadır (Zandonadi et al., 2012). Teknolojik açıdan bakıldığında, muz kabuğu DL konsantresi, yüksek su tutma kapasitesi (WHC) ve yağ tutma kapasitesi (OHC) ile karakterize edilir, bu da onu viskoziteyi veya dokuyu değiştirebilen potansiyel bir gıda katkı maddesi yapar. Eklendiği gıdaların yağ tutma ve kolesterol emilimini artırma özelliği gösterir (Wachirasiri et al., 2009). Tüm meyvenin %60'ını oluşturan çarkıfelek meyvesi kabuğu, %11–20 pektin içeriği nedeniyle iyi teknolojik özelliklere de sahiptir (Bussolo de Souza et al., 2018). Bu nedenle bazı ticari hidrokolloidlerin yerini almak için glutensiz ekmek yapımında kullanılabilir. Esas olarak meyve suyu üretiminde kullanılan elma ve portakalların işlemesi sırasında büyük oranda posa, çekirdek ve kabuğun yer aldığı prina (meyve/sebze ezmesi) yan ürün olarak açığa çıkar. Bu yan ürünler büyük miktarda toplam DL'i içermektedir. Portakalda, bu yan ürünler meyvenin %45-60'ını oluşturabilir.  z m kabuğu, antosiyaninler, hidrokisisinamik ve hidrokisibenzoik asitler, kateşinler ve flavonoidler (flavonoller, antosiyaninler ve flavan-3-oller), tanenler, proantosiyanidinler ve stilbenler açısından zengin bir kaynaktır. Özellikle antosiyaninler, hidrokisisinamik asitler, kateşinler ve flavonoller, düşük yoğunluklu lipoprotein oksidasyonunun inhibisyonuna katkıda bulunan

yüksek bir antioksidan aktivite gösterir (Iuga & Mironeasa, 2020). Üzüm polifenolleri, eklendikleri gıdanın glisemik indeksini düşürerek nişasta sindirimini azaltma yetenekleri de göstermektedir (Moser et al., 2016). Üzüm kabuğu ayrıca gıdaların besleyici, fonksiyonel ve yapısal gelişimini artıracak selüloz, hemiselülozlar, pektin, şeker, proteinler ve mineraller de (potasyum, magnezyum ve kalsiyum) içerir (Iuga & Mironeasa, 2020).

Berrak meyve suyu üretiminden berraklaştırmak için kullanılan pektinazların, polifenoller ile pektin veya diğer hücre duvarı yapıları arasındaki bağları kırması nedeniyle ekstrakte edilebilir polifenollerin miktarı artırdığı, böylece polifenol konsantrasyonunun, prınada daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Waldbauer et al., 2017). Kırbaş et al., (2019) portakal prınasının (cv. Washington navel) %82,2 ve elma pirinasının %64,84 (cv. Red Delicious) kuru madde (d.m.) içeriğine sahip olmaları nedeniyle besleyici ve teknolojik özelliklerini iyileştirmek için glutensiz ekmek yapımında yenilikçi bileşenler olarak kullanılmaya iyi birer alternatif olduklarını belirtmişlerdir. Daha çok sütü ve yağı tüketilen hindistancevizinin atıklarındaki yüksek yağ, DL, protein ve kalsiyum, sodyum, potasyum ve magnezyum gibi mineraller de bu atıkların değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Diana Widiastuti et al., 2016).

## 5. Fonksiyonel Bileşenlerin İlavesi

İnülin tipi fruktanlar, çeşitli yenilebilir meyve ve sebzelerin doğal bileşenleridir. Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan inülin, hindibadan elde edilir ve  $\beta$  (2  $\rightarrow$  1) bağları ile bağlanan fruktoz birimlerinden oluşan oligosakkaritler ve polisakkaritlerden oluşur (Şekil 3). İnülin tipi fruktanlar, insan ince bağırsağı sindirim enzimleri tarafından hidrolize karşı direnç gösterir ve bağırsak mikroflorası tarafından fermente edildikleri kalın bağırsağa neredeyse bozulmadan ulaşır. Seçici olarak sağlık ve iyi yaşam ile ilişkili bağırsak bakterilerinin büyümesini ve/veya aktivitesini uyarır (Hager et al., 2011).



Şekil 3 İnülinin kimyasal yapısı (Moldoveanu, 2021).

İnülin ve oligofruktoz gibi prebiyotikler, mineral emilimini, kemik mineral içeriğini (BMC) ve kemik yapısını iyileştirdikleri için giderek daha fazla ilgi görmektedir (Harrington et al., 2001; Scholz-Ahrens & Schrezenmeir, 2007). Ayrıca, oligo- ve polisakkaritlerin varlığı glutensiz ekmeklerin DL içeriğini iyileştirebilir (Schwab et al., 2008). Çözünmeyen DL, temel olarak bağırsak düzenlemesi ve su emilimi ile ilgilidir, oysa  z n r DL, kolesterolü düşürme ve gelişmiş diyabetik kontrol ve orta düzeyde yemek sonrası glisemik tepkiler ile ilişkilidir (Phimolsiripol et al., 2012b). Sindirilemeyen ve gastrointestinal yolun üst kısmında emilmeyen oligosakkaritler kalın bağırsağa girerek burada bağırsak mikrobiyotası tarafından fermente edilirler. Fermantasyonun bir etkisi olarak, laktik asit ve kısa zincirli yağ asitlerinin, özellikle propiyonat, asetat ve b tiratin üretiminin bir sonucu olarak pH'da azalma meydana gelir. Daha düşük pH'da, bağırsak lümeninde daha fazla mineral çözünür ve bu nedenle bağırsak mukoza hücresinden daha kolay emilir (Krupa-Kozak et al., 2012).

Diyete eklenen inülin tipi fruktanlar, kalsiyumun tüm vücutta tutulmasını arttırmaktadır (Raschka & Daniel, 2005). Younes et al., (2001) farelerde inülin ve dirençli nişastanın bağırsak fermantasyonunu inceledikleri çalışmalarında, bu iki mineralin plazma seviyesini değiştirmeden, Ca ve Mg emiliminin ve dengesinin arttığını bildirmişlerdir.

## 6. Proteinlerin İlavesi

Proteinler, gıdaların besin değerine katkıda bulunan temel bileşenlerdir. Proteinlerin kalitesi, protein sindirilebilirliği ile birleştiğinde besin değeri amino asit bileşimleri aracılığıyla tahmin edilir. İn vitro sindirilebilirlik, protein hidrolizatlarının stabilitesi ve sindirime karşı direnç hakkında bilgi verir.

Buğday proteinlerinin viskoelastik bir matris geliştirme yeteneği, buğdayı ekmek yapımı için en uygun tahıl yapan özelliktir. Glutenin gelişiminde yer alan protein fraksiyonları, toplam proteinlerin sırasıyla %40 ve %46'sını oluşturan prolaminler ve gluteninlerdir (Marco & Rosell, 2008).

Son yıllarda, glutenin viskoelastik özelliklerini taklit edebilmesi, ekmeklerin yapı, ağızda bıraktığı hissi, tüketicinin kabul edilebilirlik ve raf ömrünü artırmak amacıyla nişasta, süt proteinleri ve hidrokolloidlerin glutensiz unlara (pirinç ve mısır unu) dahil edilmesi yaklaşımını içeren glutensiz ekmeklere artan ilgi olmuştur (Lazaridou et al., 2007). Gluten-siz ekmek yapımında g cl  protein ağının oluşturulabilmesi için protein içeriği yüksek tahıl ürünlerinden elde edilen unlar kullanılabilir. Örneğin pirinç unu, hipoalerjenik proteinleri, yumuşak tadı ve beyaz rengi nedeniyle glutensiz ekmek yapmak için bir alternatif olarak önerilmiştir (Pedrosa Silva Clerici et al., 2009) ancak pirinç ve mısırdan elde edilen

unların gluten ile aynı viskoelastik ve yapısal özelliklere sahip olmadığı (Renzetti & Arendt, 2009), ekmeğin daha düşük hacimli ve sert iç kısımlara sahip olduğu bildirilmiştir (Gujral, Guardiola, et al., 2003).

Ekmek yapımına süt ve yumurta bileşenlerinin eklenmesi, proteinlerinin oldukça işlevsel olması ve hamura kolayca dahil edilebilmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bileşenler ekmekte hem besleyici hem de fonksiyonel faydalar için kullanılabilir (Storck et al., 2013). Süt içeriği maddeleri ekmekte, artan kalsiyum içeriği ve protein etkinlik oranı ile besinsel faydalar, lezzet ve doku geliştirmenin yanı sıra depolamayı iyileştirme gibi fonksiyonel faydalar da sağlamaktadır (Krupa-Kozak et al., 2012; Moroni et al., 2009). Peynir altı suyu proteinleri, 70°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda termal kararsızlıkları ve termal jelleşme özellikleri nedeniyle glutensiz ekmeklerin pişirme performanslarında önemli gelişmeleri göstermektedir (Nunes et al., 2009). Proteinlerle zenginleştirilmiş glutensiz ürünlerini geliştirmeden, önermeden veya tüketmeden önce alerji veya (laktöz) intoleransı sorunları göz önünde bulundurulmalıdır (Capriles & Arêas, 2014). Laktaz enzimi gluten intoleransı bulunan hasarlı bağırsak villusları tarafından üretilemediğinden, glutensiz ekmeklerin yüksek laktözlu süt içerikleriyle desteklenmesi, genellikle laktoza karşı toleranssız olan çölyak hastaları için uygun değildir (Gallagher et al., 2004).

Glutensiz ekmek yapımında formülasyonlara farklı enzimlerin eklenmesi üzerine birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Fakat bu çalışmalar glutensiz ekmeklerin besinsel değerinin veya biyoyararlılığının artırılmasına üzerine değil de daha çok glutensiz ekmeğin fonksiyonel veya reolojik özelliklerinin geliştirilmesine yöneliktir. Örneğin Siklodekstrin glikosil transferaz (CGTaz) ve amilaz her iki enzim de nişastayı hidrolize etmesi ve geri dönüşünü azaltması nedeniyle glutensiz ekmeklerin raf ömrünü uzattıkları belirlenmiştir (Gujral, Haros, et al., 2003). Benzer şekilde, lipazların kullanımı da bayatlama önleyici özellikler de sunar (Martínez et al., 2013).

## 7. Katkılar

Günümüzde tüketicinin temiz etiketlere olan talebi, araştırmaların odağını, katkı maddelerine ihtiyaç duymadan yüksek kaliteli glutensiz ekmeklerine izin veren alternatif teknolojiler bulmaya yöneltmiştir. Bu amaçla, eski zamanlardan bu yana ekmek yapımında kullanılan ekşi maya uygulaması yeniden ilgi görmeye başlamış eski bir tekniktir (Moroni et al., 2009).

Fermantasyon işlemi, protein sindirilebilirliği ve mineral içeriğinde artışa, biyoaktif peptitlerin ve serbest amino asitlerin salınmasına ve glisemik indeksin düşmesine neden olması ile glutensiz ekmeğin genel beslenme ve fonksiyonel kalitesinin artmasına neden olduğu bildirilmiştir



(Sozer et al., 2019). Laktik asit bakterilerinin (LAB) bahsedilen özelliklerini  $\gamma$ -aminob terik asit (GABA)  reterek yaptığı  n görülmektedir (Liao et al., 2013; Verni et al., 2019). Sozer et al., (2019) fermente edilmiş ve fermente edilmemiş bakla unları ile yapılan glutensiz ekmeklerde, yüksek  $\beta$ -glukosidaz aktivitesine sahip LAB suşu ile gerçekleştirilen 48 saatlik fermantasyondan sonra glutensiz ekmeklerin pirimidin glikozitlerinin bozunmasının tamamladığını ve ayrıca ağlikon türevlerinin (aynı zamanda toksik) tespit edilmediğini belirtmişlerdir.

Ekmek yapımında ekşi maya fermantasyonunun kullanılmasıyla, esas olarak LAB'nin varlığına bağlı olarak, glutensiz ekmeğin bayatlamasında gecikme gibi birçok özelliğini olumlu yönde etkileyecektir. LAB'nin enzimatik aktiviteler (proteoliz, lipoliz ve fitaz), asitleştirme ve ekzopolisakarit gibi çeşitli aktiviteleri vardır. Ekşi hamurun asitleştirme, amilolitik ve proteolitik aktiviteleri bayatlama sürecini geciktiren başlıca sebeplerdir. Öte yandan, fitaz enziminin aktivitesi, mineral bileşenlerin biyoyararlanımını artırarak bu ekmeklerin besinsel özelliklerini geliştirmektedir (Axel et al., 2015; Di Cagno et al., 2008). Mayalar, ekşi hamur fermantasyonu sırasında aktif olarak CO<sub>2</sub>  retirken, hamurun ana asitlenmesi, LAB tarafından üretilen laktik ve asetik asitle ilişkilendirilir. Bu yan ürünler, nişasta ve arabinoksilanlar gibi ana yapı bileşenlerini etkileyerek hem protein çözünürlüğünü artırmakta hem de daha yumuşak i dokulu ekmeğe yol açarak hamur özelliklerini değiştirmektedir (Bender & Schönlechner, 2020). Yapılan çalışmalarda, laktik asit fermantasyonunun, sorgum ve tef mayası ekmeği için in vitro nişasta hidroliz oranını azalttığı, kinoa ve karabuğday ekşi mayası ekmeği için artırdığı ebltilmiştir (Shumoy et al., 2018; Wolter et al., 2013).

## 8. Sonuç

Glutensiz ekmek üretimde, glutenin ekmekte oluşturduğu üç boyutlu yapıyı sağlayacak tam bir bileşen bulunmaması glutensiz ekmek  retilimi üzerine çalışmaları artırmaktadır. Bu amaçla içerisinde gluten içermeyen birçok tahıl, bu tahıllardan elde edilen unlar, baklagiller, meyve ve sebze bulunmakta ve glutensiz ekmek yapımında bu ürünlerin kullanımları araştırılmaktadır. Çeşitli nişasta ların glütensiz ekmek yapımında kullanılabilirlikleri tekstürel ve reolojik açıdan olumlu cevap vermiş olsa da ekmeklerin yüksek karbonhidrat içerikleri nedeniyle tüketilmeleri sakıncalı olabilir. Düşük karbonhidrat, yüksek protein ve çözünmez lif içeriğine sahip ürünlerin glutensiz ekmek yapımında seçilmesi şeker ve obezite hastaları için yararlı olacaktır. Ayrıca bu ürünlerin sahip olduğu besinsel lif içerikleri bağırsak faaliyetlerini düzenleme veya uzun zamanda sindirilme açısından faydalı olacaktır.



Glutenin ekmek formülasyonundan çıkmasıyla kullanılan unlar nedeniyle ekmeğin enerji değeri çok artarken, besinsel özelliklerinin azaldığı görülmektedir. Glutensiz beslenmeye dikkat etmek zorunda olan veya bu şekilde tercih eden kişilerin diyetlerinde eksik aldığı besin öğelerini tamamlamaları gerekmektedir. Minerallerin biyoyararlılığına bakıldığında, bazı minerallerin ya da bileşiklerin birbirlerinin emilimlerinin azalmasına neden oldukları, bu nedenle mineral ilavesinin iyi incelenmesi gerektiği ortaya koyulmuştur. Ayrıca, gluten intoleransı ile mücadele eden kişilerde, zamanla bağırsak villuslarında bozulmalar meydana gelebilir ve bu da gıda bileşenlerinin normal kişilere göre daha düşük sindirilebilirliğine neden olur.

Glutensiz ürünlerde protein içeriğini desteklemek amacıyla katılan süt ürünlerinin alerji veya (laktoz) intoleransı sorunları göz önünde bulundurulmalıdır. Laktaz enzimi gluten intoleransı bulunan hasarlı bağırsak villusları tarafından üretilmediğinden, glutensiz ekmeklerin yüksek laktozlu süt içerikleriyle desteklenmesi, genellikle laktoza karşı toleranssız olan çölyak hastaları için uygun olmayacaktır. Tüm bu sebepler nedeniyle glutensiz ekmek yapımında kullanılan gluten içermeyen unun çok fazla karbonhidrat içeriğine sahip olmayan iyi bir besin kaynağı olmalıdır. Kullanılan her bir bileşenin ekmeğin besin değeri, nişasta ve protein sindirilebilirliği ve minerallerin birbirleri ile oluşabilecek etkileşimleri nedeniyle sindirilebilirliklerindeki farklılaşmalar incelenmelidir.

*Tablo 1 Glutensiz ekmeğin besinsel değerinin ve biyoaktivitesinin artırılması üzerine yapılan örnek araştırmalar*

Kategori	İlave edilen bileşen	Kullanılan glutensiz ekmeÇ formülasyonu	Ekmeğin besin değeri ve/veya biyoaktivite üzerine etkisi	Kaynak
Diyet liflerin / Meyve ve sebzelerin ilavesi	Yeşil muz unu (%30)	PirinĐ unu ve glutensiz buğday nişastası karışımı (50:50)	Lif iğeriğinde ve direnĐli nişasta miktarında artış	(Sarawong et al., 2014)
	Buğday, mısır, yulaf ve arpa lifi	Mısır nişastası, pirinĐ unu ve hidroksipropil metil selüloz (HPMC) bazlı glutensiz ekmeÇ formülasyonuna	Lif ve protein iğeriğinde artış, Ekmeğlerin depolanması sırasında iÇ nem iğeriğinde azalma ve sertlikte artış	(Sabanis et al., 2009)
	Meşe palamodu unu	Karabuğday, pirinĐ, meşe palamodu unu ve patates nişastası	Bazı mineral (Mg, P, S, K, Ca, Mn) iğeriğinde, toplam fenolik madde ve antioksidan seviyesinde artış	(Martins et al., 2020)
	Chia ve tartar karabuğday unu	Farklı karabuğday/chia unu oranları	Daha yüksek miktarda protein, �z�nmeyen diyet lifi, ve alfa-linolenik asit ve toplam antosiyanin iğeriği,	(Costantini et al., 2014)
	Haşaş	PirinĐ/karabuğday unu, mısır nişastası, patates unu, pektin	Yüksek demir ve bakır biyoyararlanımının	(Rogaska et al., 2021)
	Nar �ekirdeği tozu	PirinĐ/fasulye irmiği, yumurta	Toplam fenolik iğeriğinde artış	(Bourekoua et al., 2018)
	Portakal ezmesi	PirinĐ unu Patates nişastası Metilselüloz	Lif iğeriğinde artış	(Norah O'Shea et al., 2012)
	Kiwi püresi	İÇerik tam olarak verilmemiş	Polifenol ve antioksidan iğeriğinde artış	(Sun-Waterhouse et al., 2009)
	Brokoli yaprağı tozu	Mısır nişastası, patates nişastası, pektin	Antioksidan potansiyeli ve glikasyon son ürünleri aktivitesinde iyileşme	(Krupa-Kozak et al., 2021)
	Frenk �z�m� ve �ilek	Nişasta, guar gum, pektin, sükroz	Polifenoller, diyet lifi ve protein miktarında artış	(Korus et al., 2012)

Fonksiyonel bileşenlerin ilavesi	İnulin tipi fruktanlar	Pirinç unu, patates nişastası, yumurta, süt tozu, ksantan gum, karboksimetilselüloz	Prebiyotik etki, glisemik indekste düşüş	(Capriles & Arêas, 2013)
	İnulin	Oligosakkarit şurubu ve acı içermeyen hindiba unu	Diyet lif içeriğinde artış	
Protein ilavesi	Bezelye protein tozu	Karabuğday unu ve keten tohumu unu, psyllium kabuğu, patates lifi, guar gum	Diyet lif ve protein içeriğinde artış	(Wójcik et al., 2021)
Katkı	transglütaminaz, TG	Soya proteini izolatu, pirinç unu, HPMC	Protein içeriğinde artış	(Marco & Rosell, 2008)
	çinko glukonat, demir (II) glukonat bakır (II) glukonat	Pirinç/karabuğday unu, mısır nişastası, patates unu, pektin	Çinko emiliminde artış	(Rogaska et al., 2021)
	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Soya unu, mısır nişastası, şeker,katı yağ, ekmeç mayası, emülgatör ve Xanthan gum	İn vitro protein sindirilebilirliğinde artış	(Sozer et al., 2019)

## Kaynaklar

- Amini, A., Khalili, L., Keshtiban, A. K., & Homayouni, A. (2016). Resistant Starch as a Bioactive Compound in Colorectal Cancer Prevention. *Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics: Bioactive Foods in Health Promotion*, 773–780. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802189-7.00058-7>
- Amini Khoozani, A., Birch, J., & Bekhit, A. E. D. A. (2019). Production, application and health effects of banana pulp and peel flour in the food industry. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 548–559. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03562-z>
- Arendt, E. K., Morrissey, A., Moore, M. M., & Dal Bello, F. (2008). Gluten-free breads. *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*, 289–VII. <https://doi.org/10.1016/B978-012373739-7.50015-0>
- Axel, C., Röcker, B., Brosnan, B., Zannini, E., Furey, A., Coffey, A., & Arendt, E. K. (2015). Application of *Lactobacillus amylovorus* DSM19280 in gluten-free sourdough bread to improve the microbial shelf life. *Food Microbiology*, 47, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.10.005>
- Bender, D., & Schönlechner, R. (2020). Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*, 91(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102904>
- Bjørklund, G., Aaseth, J., Skalny, A. V., Suliburska, J., Skalnaya, M. G., Nikonov, A. A., & Tinkov, A. A. (2017). Interactions of iron with manganese, zinc, chromium, and selenium as related to prophylaxis and treatment of iron deficiency. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 41(8610), 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.02.005>
- Bourekoua, H., Różyło, R., Gawlik-Dziki, U., Benatallah, L., Zidoune, M. N., & Dziki, D. (2018). Pomegranate seed powder as a functional component of gluten-free bread (Physical, sensorial and antioxidant evaluation). *International Journal of Food Science and Technology*, 53(8), 1906–1913. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13777>
- Brown, K. H., Peerson, J. M., Rivera, J., & Allen, L. H. (2002). Effect of supplemental zinc on the growth and serum zinc concentrations of prepubertal children: A meta-analysis of randomized controlled trials1-3. *American Journal of Clinical Nutrition*, 75(6), 1062–1071. <https://doi.org/10.1093/ajcn/75.6.1062>
- Bussolo de Souza, C., Jonathan, M., Isay Saad, S. M., Schols, H. A., & Venema, K. (2018). Characterization and in vitro digestibility of by-products from Brazilian food industry: Cassava bagasse, orange bagasse and passion fruit peel. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 16(July), 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2018.08.001>
- Capriles, V. D., & Arêas, J. A. G. (2013). Effects of prebiotic inulin-type fructans on structure, quality, sensory acceptance and glycemic response of gluten-free breads. *Food and Function*, 4(1), 104–110. <https://doi.org/10.1039/c2fo30001a>

org/10.1039/c2fo10283h

- Capriles, V. D., & Arêas, J. A. G. (2014). Novel approaches in gluten-free breadmaking: Interface between food science, nutrition, and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *13*(5), 871–890. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12091>
- Capriles, V. D., dos Santos, F. G., & Arêas, J. A. G. (2016). Gluten-free breadmaking: Improving nutritional and bioactive compounds. *Journal of Cereal Science*, *67*, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.08.005>
- Costantini, L., Lukšič, L., Molinari, R., Kreft, I., Bonafaccia, G., Manzi, L., & Merendino, N. (2014). Development of gluten-free bread using tartary buckwheat and chia flour rich in flavonoids and omega-3 fatty acids as ingredients. *Food Chemistry*, *165*, 232–240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.095>
- Della Lucia, C. M., Menezes Santos, L. L., da Cruz Rodrigues, K. C., da Cruz Rodrigues, V. C., Duarte Martino, H. S., & Pinheiro Sant'Ana, H. M. (2014). Bioavailability of zinc in wistar rats fed with rice fortified with zinc oxide. *Nutrients*, *6*(6), 2279–2289. <https://doi.org/10.3390/nu6062279>
- Di Cagno, R., Rizzello, C. G., De Angelis, M., Cassone, A., Giuliani, G., Benedusi, A., Limitone, A., Surico, R. F., & Gobbetti, M. (2008). Use of selected sourdough strains of *Lactobacillus* for removing gluten and enhancing the nutritional properties of gluten-free bread. *Journal of Food Protection*, *71*(7), 1491–1495. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-71.7.1491>
- Diana Widiastuti, Eka Herlina, Ade Heri Mulyati, & Siti Warnasih. (2016). Diversification of Cassava Flour in the Manufacture of Gluten-Free Flakes Enriched with Dietary Fibers from Virgin Coconut Oil Waste Flour. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, *6*(6), 418–423. <https://doi.org/10.17265/2161-6264/2016.06.007>
- Difonzo, G., de Gennaro, G., Pasqualone, A., & Caponio, F. (2022). Potential use of plant-based by-products and waste to improve the quality of gluten-free foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *102*(6), 2199–2211. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11702>
- Elli, L., Pigatto, P. D., & Guzzi, G. (2018). Evaluation of Metals Exposure in Adults on a Gluten-Free Diet. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, *16*(1), 152. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2017.07.035>
- Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology*, *15*(3–4), 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012>
- Glade, M. J., & Smith, K. (2015). A glance at glycemic index. *Nutrition*, *31*(3), 539–541. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.10.013>
- Gujral, H. S., Guardiola, I., Carbonell, J. V., & Rosell, C. M. (2003). Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(13), 3814–3818. <https://doi.org/10.1021/jf02048a012>

org/10.1021/jf034112w

- Gujral, H. S., Haros, M., & Rosell, C. M. (2003). Starch Hydrolyzing Enzymes for Retarding the Staling of Rice Bread. *Cereal Chemistry*, *80*(6), 750–754. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.6.750>
- Gupta, R. K., Gangoliya, S. S., & Singh, N. K. (2015). Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(2), 676–684. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0978-y>
- Hager, A. S., Ryan, L. A. M., Schwab, C., Gänzle, M. G., O'Doherty, J. V., & Arendt, E. K. (2011). Influence of the soluble fibres inulin and oat  $\beta$ -glucan on quality of dough and bread. *European Food Research and Technology*, *232*(3), 405–413. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1409-1>
- Harrington, M. E., Flynn, A., & Cashman, K. D. (2001). Effects of dietary fibre extracts on calcium absorption in the rat. *Food Chemistry*, *73*(3), 263–269. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00296-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00296-X)
- Iuga, M., & Mironeasa, S. (2020). Potential of grape byproducts as functional ingredients in baked goods and pasta. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(5), 2473–2505. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12597>
- Kinsey, L., Burden, S. T., & Bannerman, E. (2008). A dietary survey to determine if patients with coeliac disease are meeting current healthy eating guidelines and how their diet compares to that of the British general population. *European Journal of Clinical Nutrition*, *62*(11), 1333–1342. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602856>
- Kittisuban, P., Ritthiruangdej, P., & Suphantharika, M. (2014). Optimization of hydroxypropylmethylcellulose, yeast  $\beta$ -glucan, and whey protein levels based on physical properties of gluten-free rice bread using response surface methodology. *Lwt*, *57*(2), 738–748. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.045>
- Kırbaş, Z., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2019). Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(2), 914–926. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03554-z>
- Korus, J., Juszczak, L., Ziobro, R., Witczak, M., Grzelak, K., & Sójka, M. (2012). Defatted strawberry and blackcurrant seeds as functional ingredients of gluten-free bread. *Journal of Texture Studies*, *43*(1), 29–39. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00314.x>
- Krupa-Kozak, U., Altamirano-Fortoul, R., Wronkowska, M., & Rosell, C. M. (2012). Breadmaking performance and technological characteristic of gluten-free bread with inulin supplemented with calcium salts. *European Food Research and Technology*, *235*(3), 545–554. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1782-z>

- Krupa-Kozak, U., Drabińska, N., Baczek, N., Šimková, K., Starowicz, M., & Jeliński, T. (2021). Application of broccoli leaf powder in gluten-free bread: An innovative approach to improve its bioactive potential and technological quality. *Foods*, *10*(4). <https://doi.org/10.3390/foods10040819>
- Lasztity, R. (1996). *The Chemistry of Cereal Proteins - Radomir Lasztity - Google Kitaplar*.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, *79*(3), 1033–1047. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>
- Liao, W. C., Wang, C. Y., Shyu, Y. T., Yu, R. C., & Ho, K. C. (2013). Influence of preprocessing methods and fermentation of adzuki beans on  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) accumulation by lactic acid bacteria. *Journal of Functional Foods*, *5*(3), 1108–1115. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.03.006>
- Marco, C., & Rosell, C. M. (2008). *Breadmaking performance of protein enriched , gluten-free breads*. 1205–1213. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0838-6>
- Martínez, M. M., Marcos, P., & Gómez, M. (2013). Texture Development in Gluten-Free Breads: Effect of Different Enzymes and Extruded Flour. *Journal of Texture Studies*, *44*(6), 480–489. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12037>
- Martins, R. B., Gouvinhas, I., Nunes, M. C., Peres, J. A., Raymundo, A., & Barros, A. I. R. N. A. (2020). Acorn flour as a source of bioactive compounds in gluten-free bread. *Molecules*, *25*(16), 1–19. <https://doi.org/10.3390/molecules25163568>
- Matos Segura, M. E., & Rosell, C. M. (2011). Chemical Composition and Starch Digestibility of Different Gluten-free Breads. *Plant Foods for Human Nutrition*, *66*(3), 224–230. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0244-2>
- Moldoveanu, S. C. (2021). Analytical pyrolysis of polymeric carbohydrates. *Analytical Pyrolysis of Natural Organic Polymers*, 111–269. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818571-1.00004-2>
- Moroni, A. V., Dal Bello, F., & Arendt, E. K. (2009). Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? *Food Microbiology*, *26*(7), 676–684. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.001>
- Moser, S., Lim, J., Chegeni, M., Wightman, J. L. D., Hamaker, B. R., & Ferruzzi, M. G. (2016). Concord and niagara grape juice and their phenolics modify intestinal glucose transport in a coupled in vitro digestion/caco-2 human intestinal model. *Nutrients*, *8*(7). <https://doi.org/10.3390/nu8070414>
- Nunes, M. H. B., Ryan, L. A. M., & Arendt, E. K. (2009). Effect of low lactose dairy powder addition on the properties of gluten-free batters and bread quality. *European Food Research and Technology*, *229*(1), 31–41. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1023-2>

- O'Shea, N., Röbkle, C., Arendt, E., & Gallagher, E. (2015). Modelling the effects of orange pomace using response surface design for gluten-free bread baking. *Food Chemistry*, *166*, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.157>
- O'Shea, Norah, Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *16*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.06.002>
- Pedrosa Silva Clerici, M. T., Airoidi, C., & El-Dash, A. A. (2009). Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread. *Lwt*, *42*(2), 618–623. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.08.010>
- Phimolsiripol, Y., Mukprasirt, A., & Schoenlechner, R. (2012a). Quality improvement of rice-based gluten-free bread using different dietary fibre fractions of rice bran. *Journal of Cereal Science*, *56*(2), 389–395. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.001>
- Phimolsiripol, Y., Mukprasirt, A., & Schoenlechner, R. (2012b). Quality improvement of rice-based gluten-free bread using different dietary fibre fractions of rice bran. *Journal of Cereal Science*, *56*(2), 389–395. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.001>
- Raschka, L., & Daniel, H. (2005). Diet composition and age determine the effects of inulin-type fructans on intestinal calcium absorption in rat. *European Journal of Nutrition*, *44*(6), 360–364. <https://doi.org/10.1007/s00394-004-0535-6>
- Regula, J., Cerba, A., Suliburska, J., & Tinkov, A. A. (2018). In vitro bioavailability of calcium, magnesium, iron, zinc, and copper from gluten-free breads supplemented with natural additives. *Biological Trace Element Research*, *182*(1), 140–146. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1065-4>
- Renzetti, S., & Arendt, E. K. (2009). Effect of protease treatment on the baking quality of brown rice bread: From textural and rheological properties to biochemistry and microstructure. *Journal of Cereal Science*, *50*(1), 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.02.002>
- Rogaska, A., Reguła, J., Suliburska, J., & Krejpcio, Z. (2021). Comparison of the in vitro bioavailability of selected minerals from gluten-free breads enriched with grains and synthetic organic and non-organic compounds. *Molecules*, *26*(7). <https://doi.org/10.3390/molecules26072085>
- Sabanis, D., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *Lwt*, *42*(8), 1380–1389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.010>
- Sarawong, C., Gutiérrez, Z. R., Berghofer, E., & Schoenlechner, R. (2014). Effect of green plantain flour addition to gluten-free bread on functional bread properties and resistant starch content. *International Journal of*



- Food Science and Technology*, **49**(8), 1825–1833. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12491>
- Scazzina, F., Dall’Asta, M., Pellegrini, N., & Brighenti, F. (2015). Glycaemic index of some commercial gluten-free foods. *European Journal of Nutrition*, **54**(6), 1021–1026. <https://doi.org/10.1007/s00394-014-0783-z>
- Scholz-Ahrens, K. E., & Schrezenmeir, J. (2007). Inulin and oligofructose and mineral metabolism: The evidence from animal trials. *Journal of Nutrition*, **137**(11), 2513–2523. <https://doi.org/10.1093/jn/137.11.2513s>
- Schwab, C., Mastrangelo, M., Corsetti, A., & Gänzle, M. (2008). Formation of oligosaccharides and polysaccharides by *Lactobacillus reuteri* LTH5448 and *Weissella cibaria* 10M in sorghum sourdoughs. *Cereal Chemistry*, **85**(5), 679–684. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-5-0679>
- Shumoy, H., Van Bockstaele, F., Devecioglu, D., & Raes, K. (2018). Effect of sourdough addition and storage time on in vitro starch digestibility and estimated glycemic index of tef bread. *Food Chemistry*, **264**(December 2017), 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.019>
- Şimşekli, N. (2014). *Tahıl Esaslı Beta-glukan İlavésinin Gıdaların Teknolojik ve Fonksiyonel Özelliklerine Etkisi*. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v3i4.190-195.241>
- Sozer, N., Melama, L., Silbir, S., Rizzello, C. G., Flander, L., & Poutanen, K. (2019). Lactic acid fermentation as a pre-treatment process for faba bean flour and its effect on textural, structural and nutritional properties of protein-enriched gluten-free faba bean breads. *Foods*, **8**(10). <https://doi.org/10.3390/foods8100431>
- Stantiall, S. E., & Serventi, L. (2018). Nutritional and sensory challenges of gluten-free bakery products: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **69**(4), 427–436. <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1378626>
- Storck, C. R., da Rosa Zavareze, E., Gularte, M. A., Elias, M. C., Rosell, C. M., & Guerra Dias, A. R. (2013). Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics. *Lwt*, **53**(1), 346–354. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.005>
- Suliburska, J., & Krejpcio, Z. (2014). Evaluation of the content and bioaccessibility of iron, zinc, calcium and magnesium from groats, rice, leguminous grains and nuts. *Journal of Food Science and Technology*, **51**(3), 589–594. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0535-5>
- Sun-Waterhouse, D., Chen, J., Chuah, C., Wibisono, R., Melton, L. D., Laing, W., Ferguson, L. R., & Skinner, M. A. (2009). Kiwifruit-based polyphenols and related antioxidants for functional foods: Kiwifruit extract-enhanced gluten-free bread. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **60**(SUPPL. 7), 251–264. <https://doi.org/10.1080/09637480903012355>
- Thompson, T., & Simpson, S. (2015). A comparison of gluten levels in labeled glu-

- ten-free and certified gluten-free foods sold in the United States. *European Journal of Clinical Nutrition*, **69**(2), 143–146. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2014.211>
- Thompson, Tricia. (2000). Folate, iron, and dietary fiber contents of the gluten-free diet. In *Journal of the American Dietetic Association* (Vol. 100, Issue 11, pp. 1389–1396). [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(00\)00386-2](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(00)00386-2)
- Torres, M. D., Arufe, S., Chenlo, F., & Moreira, R. (2017). Coeliacs cannot live by gluten-free bread alone – every once in awhile they need antioxidants. *International Journal of Food Science and Technology*, **52**(1), 81–90. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13287>
- Verni, M., De Mastro, G., De Cillis, F., Gobetti, M., & Rizzello, C. G. (2019). Lactic acid bacteria fermentation to exploit the nutritional potential of Mediterranean faba bean local biotypes. *Food Research International*, **125**(July), 108571. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108571>
- Wachirasiri, P., Julakarangka, S., & Wanlapa, S. (2009). ผลของกระบวนการเตรียมแป้ง ออกล้างต่อสมบัติของโยเกิร์ตอาหาร. *31*(6), 605–611.
- Waldbauer, K., McKinnon, R., & Kopp, B. (2017). Apple Pomace as Potential Source of Natural Active Compounds. *Planta Medica*, **83**(12–13), 994–1010. <https://doi.org/10.1055/s-0043-111898>
- Wójcik, M., Różyło, R., Schönlechner, R., & Berger, M. V. (2021). Physico-chemical properties of an innovative gluten-free, low-carbohydrate and high protein-bread enriched with pea protein powder. *Scientific Reports*, **11**(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93834-0>
- Wolter, A., Hager, A. S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2013). In vitro starch digestibility and predicted glycaemic indexes of buckwheat, oat, quinoa, sorghum, teff and commercial gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, **58**(3), 431–436. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.09.003>
- Younes, H., Coudray, C., Bellanger, J., Demigné, C., Rayssiguier, Y., & Rémésy, C. (2001). Effects of two fermentable carbohydrates (inulin and resistant starch) and their combination on calcium and magnesium balance in rats. *British Journal of Nutrition*, **86**(4), 479–485. <https://doi.org/10.1079/bjn2001430>
- Zandonadi, R. P., Botelho, R. B. A., Gandolfi, L., Ginani, J. S., Montenegro, F. M., & Pratesi, R. (2012). Green Banana Pasta: An Alternative for Gluten-Free Diets. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, **112**(7), 1068–1072. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.04.002>

## **BÖLÜM 2**

### **MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARI İLE EV KİRASI TAHMİNİ<sup>1</sup>**

*Metin ÖZŞAHİN<sup>2</sup>,  
Kazım Burak YILMAZ<sup>3</sup>,  
Serap AKCAN<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Bu bölüm, yazarın yüksek lisans tez danışmanlığını yürüttüğü tezden üretilmiştir (Yök tez no: 697694).

<sup>2</sup> Dr. Öğretim Üyesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Osmaniye, Türkiye. metinozsahin@korkutata.edu.tr , ORCID: 0000-0001-9989-526x

<sup>3</sup> Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Osmaniye, Türkiye. kburaky@yandex.com

<sup>4</sup> Doç. Dr., Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye. serapakcan@tarsus.edu.tr , ORCID: 0000-0003-2621-9142

## 1. GİRİŞ

Gayrimenkul sadece bir insanın temel ihtiyacı değil, aynı zamanda günümüzde bir kişinin bugünkü zenginliğini ve prestijini temsil eder. Çünkü emlak değerleri hızla düşmez, gayrimenkul yatırımcıları bu yüzden genellikle bu işten kâr elde ederler. Piyasadaki değişiklikler gayrimenkul fiyatını ve doğrudan yatırımcılarını etkileyebilir. Gayrimenkul sektörüne yapılan yatırım, cazip yatırım seçimi olarak görülmektedir. Değerini tahmin etmek ise taşınmaz mülkü bu nedenle önemli bir ekonomik gelir kapısı hâline getirmektedir.

Özellikle Türkiye’de nüfus artışına bağlı olarak ortalama nüfus büyüklüğünün azalması hane halkı, göç ve hızlı kentleşme, konut talebi sürekli artan ve bu gereksinim arz ile karşılanamadığından, konut kira fiyatları 2000’li yıllardan beri istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Ama geleceğe doğru bakarken, konut kira fiyatlarını tahmin etmek ve piyasa trendlerinin gelişimini izlemek tabii ki zamanla Türkiye’de de gerekli hale gelmiştir.

Bir konut piyasası, doğrudan sahiplerinden alıcılara veya gerçek devlet komisyoncularının hizmetleri aracılığıyla müzakere edilen mülkler için herhangi bir pazar olarak anlaşılabilir. İnsanlar ve şirketler, dünya çapındaki konut taleplerinden gelen birçok kar fırsatı sunan bu pazara çekilmekte ve bu talepler, demografi, ekonomi, politika gibi çeşitli faktörlerden de etkilenmektedir.

Kira fiyatlarındaki trendlerin araştırılması hem uygulayıcılar hem de akademisyenler için büyük değer taşımaktadır. Kiralık mülk sahipleri için potansiyel kiracıların ilgisini çekmek için uygun fiyatları belirlemek kritik bir durumken, kiracılar için maliyeti en uygun, belirlenen konuma ve evin durumuna göre makul fiyatları belirlemek için geçerlidir. Bu nedenle, bu tür pazarların analizi, her biri farklı veri türlerine hitap eden çok çeşitli bilim sahalarını hesaba katmaları gerektiğinden, dünyanın dört bir yanındaki veri bilimcileri ve makine öğrenimi mühendislerine meydan okumaktadır (Poursaeed, 2018). Müşteriler ve paydaşlar için doğru sonuçlar elde etmek için uğraş gösterilmektedir (Fan, 2018). Kira fiyatlarını modellemek için bir dizi yöntem kullanılmıştır. Örneğin, Donovan ve Butry (2011) Portland, Oregon’daki müstakil evlerin kira bedeline kentsel ağaçların etkisini incelemişlerdir. Bir evin arsasındaki ek bir ağacın aylık kirayı 5,62 dolar artırdığını, kamusal geçiş hakkındaki bir ağacın kirayı yaklaşık 21 dolar artırdığını bulmuşlardır. Baranzini (2010), ölçülen ve algılanan gürültü seviyelerinin emlak fiyatları üzerindeki etkisini tahmin etmek için hedonik modeller kullanmışlardır. Ek olarak, Gayrimenkul fiyatlarını tahmin etmek için ters mesafe ağırlıklandırma, üçgenler için 2-B şekil fonksiyonları, kriging ve fraktal method itering yöntemi gibi eski enterpolasyon yaklaşımları kullanılmıştır (Montero ve J., 2011;Hu ve S.,

2013). Ev kira fiyatlarındaki mekansal oto korelasyonu hesaba katmak için mekansal otoregresif (SAR) modeller gibi mekansal ekonometri yaklaşımları kullanılmıştır. Anselin ve Le Gallo (2006) uzaysal gecikme modelleri kullanarak ev fiyatlarının hava kalitesinin mekansal enterpolasyonuna olan duyarlılığını araştırmışlardır. Uzamsal durağanlık koşulları altında, coğrafi olarak ağırlıklı regresyon (GWR), bağımlı değişkenler üzerindeki yerel olarak değişen etkileri dikkate alan tercih edilen bir yöntemdir; modelleme evi fiyatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Londra'daki ev fiyatları ve zemin alanları arasındaki mekansal olarak değişen ilişkileri keşfetmek için bir GWR modeli kullanmışlardır (Lu ve B., 2011). Chen vd. (2016) makine öğrenimi yöntemlerinin geleneksel istatistiksel yöntemlere göre iki temel avantajını özetlemiştir. İlk olarak, istatistiksel yöntemler genellikle verilerin ölçüm hatalarının rastlantısallığı (örneğin, normal dağılım) ile ilgili güçlü varsayımlar yapar ve bu her zaman gerçek dünya durumunu takip etmeyebilir. İkinci olarak, makine öğrenimi yöntemleri, özellikler arasındaki yüksek dereceli etkileşimleri ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri yakalayabilir.

Bu çalışmada makine öğrenmesi algoritmaları ile ev kirası tahmini yapılmıştır. Bu amaçla, on altı binin üstünde veri seti ve makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak tahminler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın dikkate aldığı temel problem; makine öğrenmesi algoritmaları ile Ankara ilinde bulunan Yenimahallede ev kiralarını tahmin etmektir. Günümüzde pandeminin de etkisiyle insanlar günlerinin büyük bir kısmını evlerinde geçirmektedir. Bu durum ev kira fiyatlarına da etki etmektedir. Ev kira fiyatları bu dönemde olağandışı bir şekilde artmaktadır. Bu dönemde insanlar bir evi kiralamadan önce asıl değerinin ne olduğuna karar vermesi oldukça önem taşımaktadır.

Ankara ili 2020 itibariyle 5.663.322 nüfusa sahip olup, Yenimahalle Ankara'nın en yoğun nüfusa sahip 3. İlçesidir. İlçenin nüfusu 695.395 ve ilçenin nüfus artış hızı %34.8 dir (TÜİK,2020). Başta Yenimahalle olmak suretiyle artan nüfusla beraber mesken talebi artmış ve artan mesken talebine yanıt vermek için üst ve alt yapı yatırımları ile kent planlamasının yapılması önemli hale gelmiştir. Özellikle konutun güvenilir bir yatırım aracı olarak görülmesi, insanları mesken tedarikine yönlendirmektedir. Bunun cevabında konutların önemli bir kısmı kiraya verilmekte ve kiradan gelir elde edilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu istatistiklerine göre Türkiye'deki aile sayısı 24.001.940 olup, bu ailelerin %59.7'si kendi konutunda yaşarken, %24.4'ü ise kirada oturmaktadır (TÜİK,2020). Konu tüm boyutlarıyla ele alınacağı için emlak alıcı ve satıcılarına, emlakçılara ve diğer ilgililere fikir vermesi açısından çalışma büyük önem arz etmektedir. Çalışma kapsamında Türkiye'de faaliyet gösteren emlak sitelerinin verileri dikkate alınmıştır. Trend olan ve içerisinde milyonlarca veri ba-

rındıran bu sitelerden alınan 16.000 adet veri kümesi üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Yenimahalle de bulunan kiralık ev ilanlarından alınan veriler farklı zaman aralıklarında izlenmiştir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Makina Öğrenmesi Yöntemleri

Bilimsel çalışmalarda makine öğrenmesi yöntemleri öğrenme şekline göre; denetimli, denetimsiz ve yarı denetimli olarak 3 sınıfa ayrılmaktadır.

#### 2.1.1. Denetimli Makine Öğrenmesi

Bilinen bir eğitim veri setinin analizinden başlayarak, öğrenme algoritması, çıktı değerleri hakkında tahminler yapmak için bir çıkarsama işlevi üretir. Sistem, yeterli eğitimden sonra herhangi bir yeni girdi için hedef sağlayabilir. Yani denetimli makine öğrenmesi veri seti içerisinde bir çıktının olduğu ve bu çıktının bulunduğu durumlarda kullanılabilir. Örneğin firmaların başarısını tahmin eden bir denetimli makine öğrenmesi veri seti içerisinde firma başarılarını gösteren bir çıktı değişkenine ihtiyaç vardır. Bu sayede model hangi özelliklere sahip olanların başarıya yakınsadığını ya da ırsadığını tespit edebilmektedir.

Denetlenen makine öğrenimi algoritmaları, harici yardıma ihtiyaç duyan algoritmalarlardır. Girdi veri seti, eğitim ve test veri setine bölünmüştür. Eğitim veri kümesi, tahmin edilmesi gereken çıktı değişkenine sahiptir veya sınıflandırılmıştır. Tüm algoritmalar, bir tür kalıpları öğrenir. Eğitim veri kümesini seçip ve bunları test veri kümesine uygularız (S.B. Kotsiantis, 2007, s. 249-268).

Sıklıkla literatürde kullanılan makine öğrenme algoritmalarından bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- En Yakın Komşuluk → K-Nearest Neighbors (KNN)
- Destek Vektör Makinaları → Support Vector Machine (SVM)
- Yapay Sinir Ağları → Artificial Neural Network (ANN)
- Rastgele Orman → Random Forest
- Doğrusal Regresyon → Linear Regression
- Lojistik Regresyon → Logistic Regression
- Karar Ağaçları → Decision Trees (DTs)

#### 2.1.2. Denetimsiz Makine Öğrenmesi

Denetimsiz öğrenme, sistemlerin etiketlenmemiş verilerden gizli bir yapıyı açıklamak için bir işlevi nasıl çıkarabileceğini inceler. Sistem veri-

lerini araştırır ve etiketlenmemiş verilerden gizli yapıları açıklamak için veri kümelerinden çıkarımlar yapabilir.

### 2.1.3. Yarı Denetimli Makine Öğrenmesi

Yarı denetimli öğrenme algoritmaları bir tekniktir hem denetlenen hem de denetlenenlerin gücünü birleştiren denetimsiz öğrenme sunmaktadır. Etiketlenmemiş verilerin bulunduğu makine öğrenimi ve veri madenciliğini birleştirerek sonuç üretebilmektedir.(X. Zhu ve A. B. Goldberg, 2009, s. 1-130)

Genellikle, yarı denetimli öğrenme, elde edilen etiketli veriler, onu eğitmek ve onlardan öğrenmek için yetenekli ve ilgili kaynaklar gerektirdiğinde seçilir.

## 2.2. Seçilen Makine Öğrenmesi Algoritmaları

### 2.2.1. Doğrusal (Linear) Regresyon Algoritması

Doğrusal regresyon, titizlikle çalışılan ve pratik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ilk tip regresyon analizidir. Bunun nedeni, bilinmeyen parametrelerine doğrusal olarak bağlı modellerin, parametreleriyle doğrusal olmayan ilişkili modellere göre daha kolay uydurulması ve elde edilen tahmin edicilerin istatistiksel özelliklerinin belirlenmesinin daha kolay olmasıdır.

### 2.2.2. Kement (Lasso) Regresyon Algoritması

Başlangıçta doğrusal regresyon için tanımlanmış olmasına rağmen, kement düzenlemesi genelleştirilmiş doğrusal modeller , genelleştirilmiş tahmin denklemleri , orantılı tehlike modelleri ve M-tahmin edicileri dahil olmak üzere diğer istatistiksel modellere kolayca genişletilebilir . Kement'in alt küme seçimini gerçekleştirme yeteneği, kısıtlamanın biçimine dayanır ve geometri , Bayes istatistikleri ve dışbükey analiz dahil olmak üzere çeşitli yorumlara sahiptir.

### 2.2.3. Rastgele Orman (Random Forest) Algoritması

Rastgele ormanlar veya rastgele karar ormanları, eğitim zamanında çok sayıda karar ağacı oluşturarak ve sınıfların modu (sınıflandırma) veya ortalama/ortalama tahmini olan sınıfın çıktısını alarak çalışan sınıflandırma , regresyon ve diğer görevler için bir topluluk öğrenme yöntemidir. Rastgele ormanlar genellikle karar ağaçlarından daha iyi performans gösterir, ancak doğrulukları gradyan destekli ağaçlardan daha düşüktür.

### 2.2.4. Xgboost Algoritması

XGBoost, gradyan artırma çerçevesi kullanan karar ağacı tabanlı bir topluluk makine öğrenimi algoritmasıdır. Yapılandırılmamış verileri (görüntüler, metin vb.) içeren tahmin problemlerinde yapay sinir ağları,

diğer tüm algoritma veya çerçevelerden daha iyi performans gösterme eğilimindedir. Bununla birlikte, küçük ve orta ölçekli yapılandırılmış/tablolular veriler söz konusu olduğunda, karar ağacı tabanlı algoritmalar şu anda sınıfının en iyisi olarak kabul edilmektedir.

### 2.2.5. Ridge Regresyon Algoritması

Teori ilk olarak 1970 yılında Hoerl ve Kennard tarafından makalelerinde “Ridge regresyonları: ortogonal olmayan problemlerin taraflı tahmini” ve “Ridge regresyonları: ortogonal olmayan problemlerdeki uygulamalar” adlı makalelerinde tanıtıldı. Bu, sırt analizi alanında on yıllık bir araştırmanın sonucu olarak geliştirilmiştir.

Ridge regresyon, bağımsız değişkenlerin yüksek oranda korelasyon gösterdiği senaryolarda çoklu regresyon modellerinin katsayılarını tahmin etme yöntemidir. Ridge regresyon, lineer regresyon modellerinin bazı çok bağlantılı (yüksek derecede korelasyonlu) bağımsız değişkenlere sahip olduğu durumlarda en küçük kareler tahmin edicilerinin belirsizliğine olası bir çözüm olarak - bir sırt regresyon tahmincisi (RR) yaratarak geliştirilmiştir. Varyansı ve ortalama kare tahmincisi genellikle daha önce türetilen en küçük kareler tahmincilerinden daha küçük olduğundan, bu daha kesin bir sırt parametreleri tahmini sağlar.

## 2.3. Algoritma Performans Ölçütleri

### 2.3.1. Ortalama Mutlak Hata (MAE - Mean Absolute Error)

MAE (Ortalama Mutlak Hata) değeri, tahmin değerleri ile gerçekleşen değerler arasında bulunan farkın mutlak değerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunur. Hata ölçüm tekniklerinde anlatıldığı gibi MAE değeri ne kadar küçük ise model o kadar doğru tahminleme yapmış demektir.

### 2.3.2. Hata Kareleri Ortalaması (MSE - Mean Squared Error)

MSE (Hata Kareleri Ortalaması) değeri, tahmin değerleri ile gerçekleşen değerler arasında bulunan farkın karelerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunur. Hata ölçüm tekniklerinde anlatıldığı gibi MSE değeri ne kadar küçük ise model o kadar doğru tahminleme yapmış demektir.

### 2.3.3. Hata Kareleri Ortalaması Karekökü (RMSE – Root Mean Square Error)

RMSE (Hata Kareleri Ortalaması Karekökü) değeri, tahmin değerleri ile gerçekleşen değerler arasında bulunan farkın karelerinin aritmetik ortalamasının karekökü alınarak bulunur. RMSE değeri ne kadar küçük ise model o kadar doğru tahminleme yapmış demektir.

### 2.3.4. R<sup>2</sup> Hatası

Belirleme Katsayısı veya R<sup>2</sup>, bir regresyon modelinin performansını

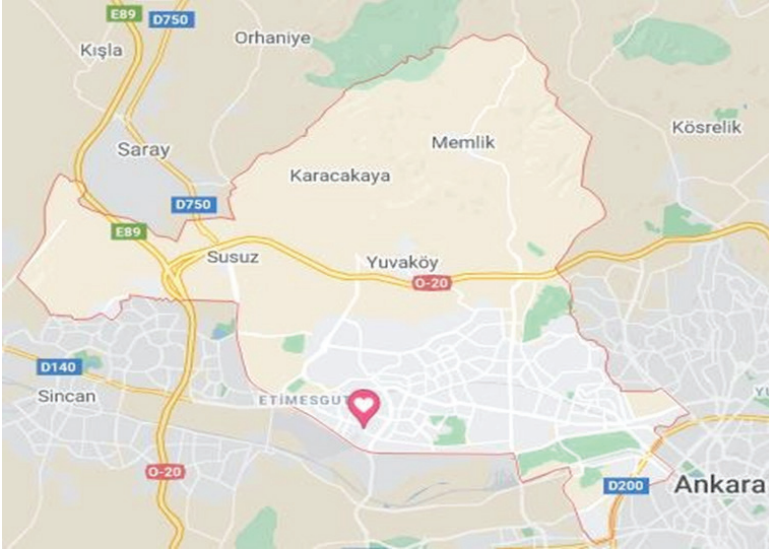


değerlendirmek için kullanılan başka bir ölçümdür. Metrik, mevcut modelimizi sabit bir temel ile karşılaştırmamıza yardımcı olur ve bize modelimizin ne kadar daha iyi olduğunu söyler.

### 3. Materyal

#### 3.1. Seçilen Bölge

Ankara'da yer alan Yenimahalle ilçesinde artan nüfusla beraber konut ihtiyacı talebi de artmaktadır. Özellikle konutun güvenilir bir yatırım aracı olarak görülmesi, insanların yatırımlarını bu alana kaydırmaktadır. Bu konutların önemli bir bölümünde kiraya verilmekte ve kiradan gelir elde etmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye'deki aile sayısı 22.750.657 olup, bu ailelerin %58.8'si kendi konutunda yaşarken, %25.6'sı ise kirada oturmaktadır. Ankara ili 2021 yılı itibarıyla 5.663.322 nüfusa sahip olup, Yenimahalle Ankara'nın en yoğun nüfusa sahip 3. ilçesidir (Şekill). İlçenin nüfusu 695.395 tir (TÜİK,2020).



Şekil 1. Yenimahalle İlçe Haritası

Ankara, Yenimahalle ilçesi Nisan 2021 itibarıyla kiralık konut fiyatları pandeminin de etkisiyle %8.07 artış göstermiştir. Kiralık konutların ortalama büyüklükleri 120 metrekaredir. Yenimahalle'nin konut fiyatlarının en çok yükseldiği mahalleri ise ; Anadolu, Aşağı Yahyalar, Avcılar, Barış ve Barıştepe mahalleleridir. Konut fiyatlarının en çok düştüğü mahalleri ise Çarşı, Gazi, Karşıyaka, Yeşilevler ve Yakacıktır (Endeksa, 2020).

Yenimahalle kilometrekareye düşen kişi yoğunluğu 563.529 kişidir. Yenimahalle nüfusunun %52 si orta yaş, %34 ü genç, %14 ü ise yaşlı nüfustan oluşmaktadır. Yeni Batı mahallesinde 65+ yaş sayısı en fazladır. Ata, Susuz, Turgut Özal, Serhat, Aşağı Yahyalar ve Pamuklar mahallerinin

de 35-39 yaş arasındaki nüfus oldukça fazladır (Endeksa , 2020).

Yenimahalle ilçesinde oturanların %49.13 ü Evli , %20.96 sı Bekar, %4.08 i Boşanmış kişilerden oluşmaktadır. Eğitim düzeyi olarak oturanların büyük bir bölümü Lise ve Üniversite Mezunu olanlardan oluşmaktadır (Endeksa , 2020).

### 3.2. Veri Seti

Yapılan çalışmada kullanılan veri setinde 16.188 adet ilan verimiz bulunmakta. Bu ilan verimiz içerisinde 20 ayrı özelliği barındırmaktadır (Şekil2).

0	gün emlak'tan demet loki yeşil vadi konutları ...	Yeşilevler Mahallesi	Daire	Kiralık	2.EI	117	127	3+1	10+ Yaşında	8. Kat	Merkezi (Pay Ölçer)	40	1	2	Ev
1	polat 2'den yda park avenue de 3+1 ankara manz...	Mehmet Akif Ersoy Mahallesi	Daire	Kiralık	2.EI	160	170	3+1	2 Yaşında	21 ve üzeri	Merkezi (Pay Ölçer)	350	1	2	Hay
2	ata mahallesi lüks kiralık asansörlü geniş 4+1 ...	Ata Mahallesi	Daire	Kiralık	Sıfır	189	199	4+1	2 Yaşında	2. Kat	Merkezi (Pay Ölçer)	425	3	2	Ev
3	gez-al'dan demetevler de bütçet kad yakını ar...	Demetevler Mahallesi	Daire	Kiralık	2.EI	120	130	3+1	20+ Yaşında	3. Kat	Merkezi (Pay Ölçer)	25	1	2	Hay
4	kaplan'dan demette 3+1 1kat 115 m2 asansörlü ...	Demetevler Mahallesi	Daire	Kiralık	2.EI	125	135	3+1	10+ Yaşında	1. Kat	Merkezi (Pay Ölçer)	50	1	2	Hay

Şekil 2. Ev Kirası Veri Seti

### 3.3. Parametre Seçimi

Ev Kirası veri setimiz 16.188 ilan verisinden oluşmaktadır. Bu veri setimizde toplam 20 değişken parametresi bulunmaktadır. Değişkenlerin yapısı ve özellikleri Şekil 3'te görülmektedir.

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 16188 entries, 0 to 16187
Data columns (total 20 columns):
#   Column                                Non-Null Count  Dtype
---  ---                                ---
0   id                                     16188 non-null   int64
1   description                            16188 non-null   object
2   mahalle                                16188 non-null   object
3   turu                                    16188 non-null   object
4   kategori                               16188 non-null   object
5   yapı_durumu                           16188 non-null   object
6   m2                                      16188 non-null   int64
7   alan                                    16188 non-null   int64
8   oda_sayisi                             16188 non-null   object
9   bina_yasi                               16188 non-null   object
10  dairenin_kati                          16188 non-null   object
11  isitma                                  16188 non-null   object
12  aidat                                   16188 non-null   int64
13  banyo_sayisi                           16188 non-null   int64
14  wc_sayisi                               16188 non-null   int64
15  site_icerisinde                        16188 non-null   object
16  esya_durumu                             16188 non-null   object
17  kullanım_durumu                       16188 non-null   object
18  yapı_tipi                               16188 non-null   object
19  fiyat                                   16188 non-null   int64
dtypes: int64(7), object(13)
memory usage: 2.5+ MB
```

Şekil 3. Parametre Seçimi

Veri setimizdeki ilanların türleri Daire, Bina, Villa, Residence ve Müstakil olmak üzere 5 adettir. İlanların büyük çoğunluğu ikinci el ev ilanlarından oluşmaktadır ve bu ilanlardaki evlerin ortalama metrekaresi 118.260810'dur. Veri setimizdeki ilanlarda en çok 3+1 odalı ev ilanı bulunmaktadır ve ilanların büyük bir çoğunluğu 20-30 yıl arasındaki binalardan oluşmaktadır.

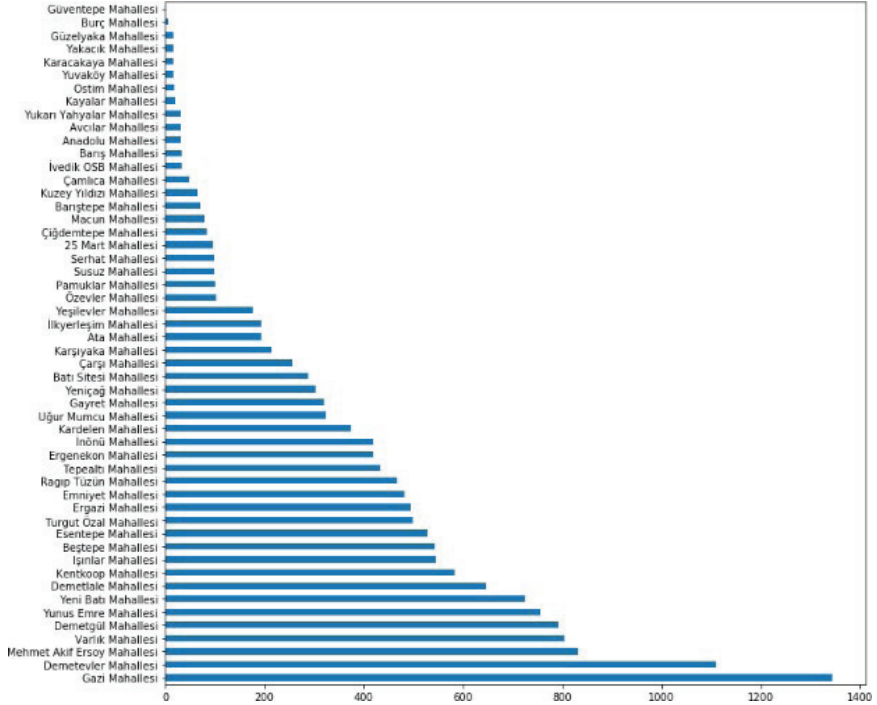
### 3.4. Makine Öğrenmesi Geliştirme Ortamı

Bu çalışma, makine öğrenmesi ile tahmin yapmak için içerisinde çok kapsamlı ve kolay bir kullanım sunan paketleri barındıran Python dili ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirme ortamı olarak Jupyter Notebook ve Spyder tercih edilmiştir. Yine içerisinde regresyon, kümeleme ve sınıflandırma işlemleri için kullanılan birçok makine öğrenmesi algoritmasına sahip Scikit-Learn kütüphanesi kullanılmıştır.

## 4. BULGULAR

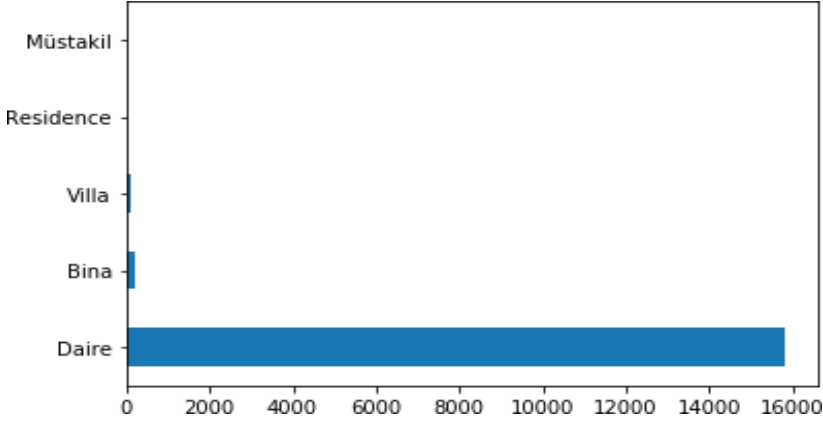
### 4.1. Veri Seti Bulguları

Veri seti içerisinde 52 tane mahalle bulunmaktadır. Mahallerdeki ilansayıları Şekil 4'te görüldüğü gibidir. En yüksek ilana Gazi mahallesinin sahip olduğu görülmektedir.



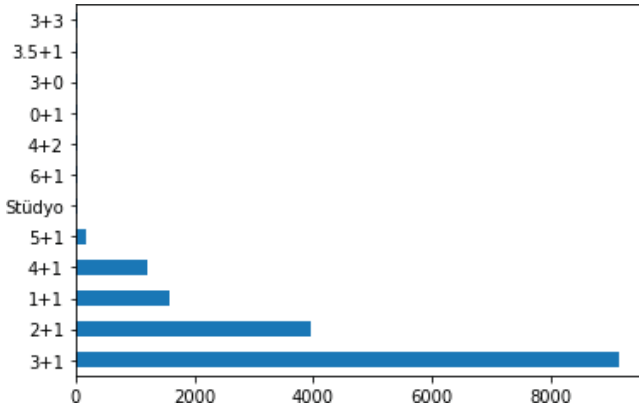
Şekil 4. Mahalle ilan sayıları

Veri setimizdeki ilanların türleri Daire, Bina, Villa, Residence ve Müstakil olmak üzere 5 adettir. Şekil 5'te de görüldüğü gibi ilanların büyük bir çoğunluğu daire niteliğindedir.



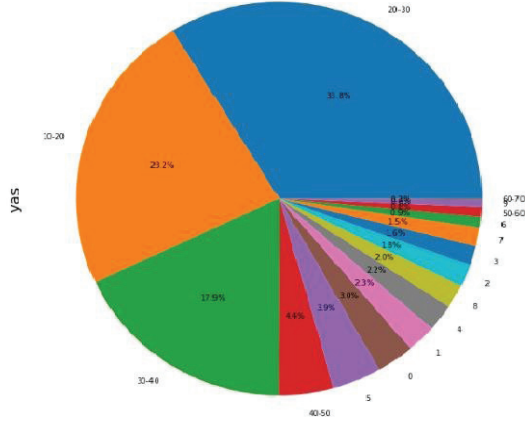
Şekil 5. İlan Türleri

Veri setimizdeki ilanların büyük çoğunluğu ikinci el ev ilanlarından oluşmaktadır. Ve bu ilanlardaki evlerin ortalama metrekaresi 118.260810 dur. Şekil 6'da görüldüğü gibi veri setimizdeki ilanlarda en çok 3+1 odalı ev ilanı bulunmaktadır.



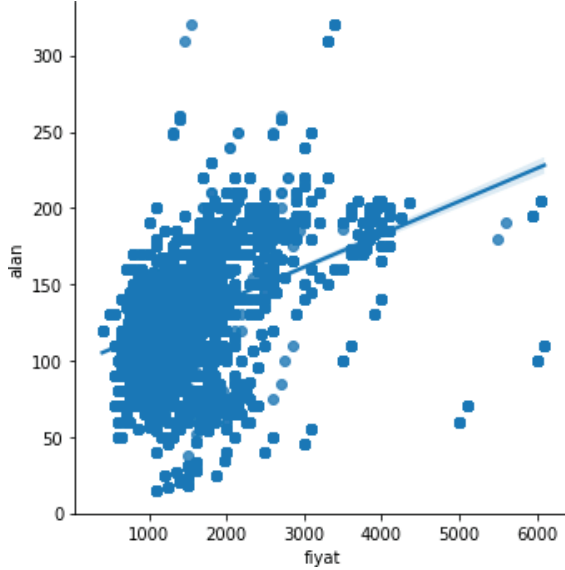
Şekil 6. Oda Sayıları

Veri setimizdeki ilanların büyük bir çoğunluğu Şekil 7'de de görüldüğü gibi 20-30 yıl arasındaki binalardan oluşmaktadır. Bu ilanları sayı anlamında 10-20 yıllık ilanlar takip etmektedir.



Şekil 7. Bina Yaş Oranları

Şekil 8 incelendiğinde ise veri setimizdeki ilanların fiyata göre alan durumlarını gösteren grafik göze çarpmaktadır. Bu şekle göre alan ve fiyat arasında doğrusal olmayan bir yapı görülmektedir. Bu da tahmini ve matematiksel yöntemler ile hesaplamayı imkansız kılmaktadır. Diğer yandan 100-200 metrekare arasındaki ilanların yoğunluğu da kentsel gelişimin bu yönde kaydığını göstermektedir.



Şekil 8. Fiyat -Alan Oranı

## 4.2. Makina Öğrenmesi Algoritma Bulguları

Bu çalışma, makine öğrenmesi ile tahmin yapmak için içerisinde çok kapsamlı ve kolay bir kullanım sunan paketleri barındıran Python dili ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirme ortamı olarak Jupyter Notebook ve Spyder tercih edilmiştir. Yine içerisinde regresyon, kümeleme ve sınıflandırma işlemleri için kullanılan birçok makine öğrenmesi algoritmasına sahip Scikit-Learn kütüphanesi kullanılmıştır. Tablo 1’de bu ortamda gerçekleştirilen çalışma sonuçları verilmiştir.

Tablo 1: Makine Öğrenmesi Algoritma Sonuçları

Algoritma	MAE	MSE	RMSE	Test Scores	Train Scores	R <sup>2</sup>
Lineer Regresyon	331.82	234971.71	484.73	0,41	0,39	0,39
Lasso	331.79	234941.96	484.70	0,41	0,39	0,39
Ridge	331.79	234941.60	484.70	0,41	0,39	0,39
Random Forest	41.54	12551.91	112.03	0,96	0,98	0,96
Xgboost	94.96	20120.77	141.84	0,94	0,96	0,90

Tablo 1 incelendiğinde 5 farklı modelin performans değerleri görülmektedir. MAE (Mean Absolute Error) değerleri göz önüne alındığında düşük bir değer daha iyi bir doğruluğu göstermektedir. MAE değerlerinde en iyi sonucu 41.54 değeri ile Random Forest algoritması vermektedir. MSE (Mean Squared Error) değerlerinde en iyi sonucu 12551.91 değeri ile Random Forest algoritması vermektedir. RMSE (Root Mean Square Error) değerlerinde en iyi performansı 112.03 değeri ile Random Forest algoritması vermektedir. Makine öğrenmesi algoritmaları bütün veri seti ile eğitildikten sonra, Yenimahalle Ev İlanları veri setini kullanarak ev kirası tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçlarına göre gerçek değere en yakın tahmini Random Forest modeli vermektedir. İkinci en iyi model olarak karşımıza Xgboost modeli çıkmaktadır. Şekil 9’da ise parametrelerin önem derecesini gösteren bir şekil karşımıza çıkmaktadır. Bu şekle göre Random Forest algoritmasıyla; mahalle faktörü fiyatın belirlenmesinde birinci etkiye sahip iken alan ise beklendiği gibi ikinci etkiye sahip olmaktadır.

Random Forest	Importance	Xgboost	Importance
mahalle	0.254110	mahalle	0.107583
туру	0.014622	туру	0.056190
m2	0.203554	m2	0.068890
alan	0.215422	alan	0.124956
oda_sayisi	0.023396	oda_sayisi	0.098774
bina_yasi	0.149034	bina_yasi	0.092900
isitma	0.005104	isitma	0.001220
site_icerisinde	0.003963	site_icerisinde	0.022110
esya_durumu	0.002598	esya_durumu	0.012932
banyo_sayisi	0.019814	banyo_sayisi	0.272255
wc_sayisi	0.014435	wc_sayisi	0.092159
dairenin_kati	0.093948	dairenin_kati	0.050030

Şekil 9. Random Forest ve Xgboost modellerinin parametrelerin önemleri

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Konut kiralama kararı, çoğu yetişkinin hayatında inkar edilemez bir şekilde çok önemlidir. Bu nedenle, gayrimenkul değerlemesi ve tahmini, gayrimenkul işlemlerini kolaylaştırmaya yardımcı olacak faydalı bilgiler sağlayabilir. Emlak fiyatları, çok çeşitli nitelikler nedeniyle değişir.

Kiralık konut piyasası, emlak piyasasının çok önemli bir parçasıdır ve büyük ilgi görmüştür. Pratik olarak, kira fiyatını doğru bir şekilde tahmin eden modeller, mülk sahiplerinin kiralık mülklerini daha iyi fiyatlandırmalarına ve kiracıların makul fiyatlarla yaşayacakları yerleri bulmalarına yardımcı olur.

Bu çalışmada, makine öğrenmesi algoritmaları ile ev kiralama fiyat tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu modelden, konut verilerinin kolayca analiz edebileceği ve bu verileri, verilen özellik setlerine göre daireler için uygun fiyatları tahmin etmek ve göstermek için kullanabileceği bir sonuç elde etmeye çalışılmıştır. Yenimahalle'deki gerçek ilan verileriyle gayrimenkul kira fiyatlarını tahmin etmek için lineer regresyon, lasso, random forest, xgboost, ridge ve polynomial makine öğrenimi modellerini kullanılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen en yüksek doğruluk oranı, Random Forest modeli kullanılarak elde edilmiştir. İkinci en iyi model ise Xgboost modelidir.

Gelecekteki çalışmalar için, gayrimenkul özelliklerinin yorumları, sosyal medyadan alınan fiyatlar, Google haritalarından görseller ve ekonomik göstergeler gibi çeşitli veri türleri, tahmin doğruluğunu artırmak için makine öğrenimi modellerine girdi olarak eklenen olası kaynaklardır. Gelecek çalışmalarda daha farklı yöntemlerin de işin içine katılmasıyla tahmin başarısının daha da iyileştirileceği beklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- Anselin, L.; Le Gallo, J. Interpolation of Air Quality Measures in Hedonic House Price Models: Spatial Aspects. *Spat. Econ. Anal.* (2006), 1, 31–52.
- Baranzini, A.; Schaerer, C.; Thalmann, P. Using measured instead of perceived noise in hedonic models. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* (2010), 15, 473–482.
- Chen, Y.; Liu, X.; Li, X.; Liu, Y.; Xu, X. Mapping the fine-scale spatial pattern of housing rent in the metropolitan area by using online rental listings and ensemble learning. *Appl. Geogr.* (2016), 75, 200–212.
- Donovan, G.H.; Butry, D.T. The effect of urban trees on the rental price of single-family homes in Portland, Oregon. *Urban For. Urban Green.* (2011), 10, 163–168.
- Endeksa(2020).Retrieved,May23,2021 <https://www.endeksa.com/tr/analiz/ankara/yenimahalle/>
- Fan, C., Cui, Z., and Zhong, X. (2018). House prices prediction with machine learning algorithms. In *Proceedings of the 2018 10th International Conference on Machine Learning and Computing*, pages 6–10. ACM.
- Hu, S.; Cheng, Q.; Wang, L.; Xu, D. Modeling land price distribution using multifractal IDW interpolation and fractal filtering method. *Landsc. Urban Plan.* (2013), 110, 25–35.
- Lu, B.; Charlton, M.; Fotheringham, A.S. Geographically weighted regression using a non-Euclidean distance metric with a study on London house price data. *Procedia Environ. Sci.* (2011), 7, 92–97.
- Montero, J.; Larraz, B. Interpolation methods for geographical data: Housing and commercial establishment markets. *J. Real Estate Res.* (2011), 33, 233–244.
- Poursaeed, O., Matera, T., and Belongie, S. (2018). Vision-based real estate price estimation. *Machine Vision and Applications*, 29(4):667–676.
- TÜİK. (2020). Türkiye İstatistik Kurumu Retrieved 31.12.2020, from Türkiye İstatistik Kurumu <https://data.tuik.gov.tr/tr/main-category-sub-categories-sub-components2/>
- X. Zhu, A. B. Goldberg, “Introduction to Semi – Supervised Learning”, *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, (2009), Vol. 3, No. 1, Pages 1-130





## **BÖLÜM 3**

### **BETON VE NANOTEKNOLOJİ**

*Aylin AKYILDIZ<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, aakyildiz@nku.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Dünyada üretilen enerjinin büyük kısmı ısıtma, aydınlatma gibi işlemler için yapılar da kullanılmaktadır. Beton üretiminde kullanılan çimento dünyaya salınan karbondioksitin yüzde sekizinden sorumlu tutulmaktadır. Deprem, heyelan gibi nedenlerle yapılar da meydana gelen zararlar göz önünde bulundurulduğunda nanoteknolojinin inşaat sektörünün geleceğinde oldukça önemli bir yere sahip olacağı görülmektedir.

Nanoteknoloji sayesinde, üretilen malzemeler, kendi kendini temizleyen, çizilmeye karşı dayanıklı, kendini onarabilen, korozyona karşı dayanıklı, antibakteriyel, su birikimini önleyen, enerji üretebilen, havayı temizleyen, yangına karşı dirençli, beton ve çelikle kullanılarak daha dayanıklı, esnek, hafif, dayanımlı, akıllı, UV geçirmez, yalıtımlı, enerji verimli bakım kolaylığı sağlayan özellikler sunmaktadır [1].

Yapı sektörü, insanlığın doğuşundan itibaren barınma ihtiyacı ile başlamış ve günümüze kadar gelişerek gelmektedir. Günümüzde ise farklı amaçlarla kullanılan yapıların tasarımları gerçekleşmektedir. Artan kullanıcı talepleri, gelişen hayat şartları yapılar dan beklentileri arttırmıştır. Bu beklentilerin karşılanması için gerek kullanılan malzeme, gerekse yapım teknikleri gelişmekte ve değişmektedir. Artan teknolojik gelişmeler tüm alanlar da avantajlar sağladığı gibi, yapı sektöründe de kendini göstermektedir [2].

Beton, dayanımı sağlayan agrega, agregalar arasında bağlanma sağlayan çimento hamuru ile gerektiği takdirde betondan istenilen niteliğe bağlı olarak kullanılan özel katkı maddelerinden oluşan, farklı özelliklerde üretilen kompozit, taşıyıcı bir yapı malzemesidir. Herhangi bir özel koşul veya duruma dayanacak şekilde benzersiz hale getirilen beton, özel beton olarak bilinir. Özel betonlar, ya bileşenlerin değiştirilmesi ya da üretim süreci ya da her ikisinin kombinasyonu ile elde edilebilmektedir. Geleneksel betondan farklı ve amaçlanan üstün özelliklere sahip betonlardır.

Özel amaçlar ve kullanımlar için geliştirilmiş olan birçok farklı tip özel betonlar bulunmaktadır. Genelde, portland çimento-su matris fazı ve/veya agrega fazı bir şekilde değişime uğratarak bazı beton özelliklerin değiştirilmesi, iyileştirilmesi ve/veya betona yeni bazı özelliklerin kazandırılması amaçlanmaktadır. Bu özel tip betonların bazıları çok uzun zamanlardan beri inşaat sektöründe kullanılmalarına rağmen, bazıları ise beton endüstrisine yeni kazandırılmaktadır [3, 4].

### **Özel Beton Kullanım Alanları ve Uygulamaları:**

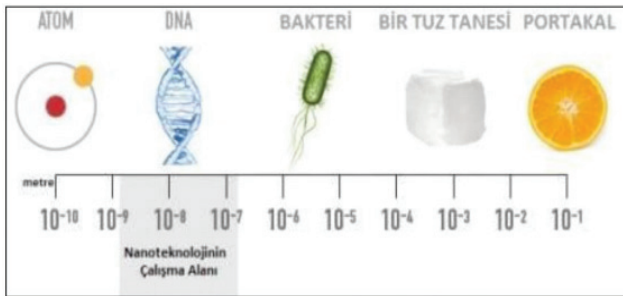
1. Zorlu havalarda
2. Çok yüksek bağlayıcı içeriğine sahip karışımlar da iyi bir aderans

3. Çimento, uçucu kül ve kimyasal katkıların uyumluluğuna bağlı olarak priz sürelerinde biraz gecikme
4. Özel uygulamalar için yeterli erken dayanım
5. Karşılaştırılabilir eğilme mukavemeti
6. Daha iyi kuruma büzülmesi ve önemli ölçüde daha düşük sünme
7. Yüksek klorürlü ortamda çelik donatıya iyi koruma
8. Agresif sülfat ortamlarında mükemmel dayanıklılık
9. Daha düşük ısı özellikleri
10. Buz çözücü tuz tortulaşmasına karşı düşük dirençtir.

## 2. NANOTEKNOLOJİ

Çağımızın teknolojisi olan nanoteknoloji kavramı, her geçen gün hayatımıza bir adım daha girmekte ve kendini tüm alanlarda göstermektedir. Nano kelimesi bir büyüklüğün milyarda birine karşılık gelmektedir. Atomların büyüklüğünün yaklaşık olarak 0.1 nanometre büyüklüğünde, bir DNA molekülünün 2.5 nanometre büyüklüğünde, bir saç telinin ise yaklaşık olarak 100.000 nanometre kalınlığında olduğu bilinmektedir [5].

Genel tanımı ile nanoteknoloji nano boyutta çalışma yapmaktadır. Maddeler nano boyutta, makro boyutlarına nazaran farklı özellikler göstermekte, bu sayede maddelerin nano boyutta üretimi ve var olan özelliklerinin iyileştirilmesi gerçekleştirilmektedir [5]. Nanoteknolojinin çalışma alanları Şekil 1'de görülmektedir.



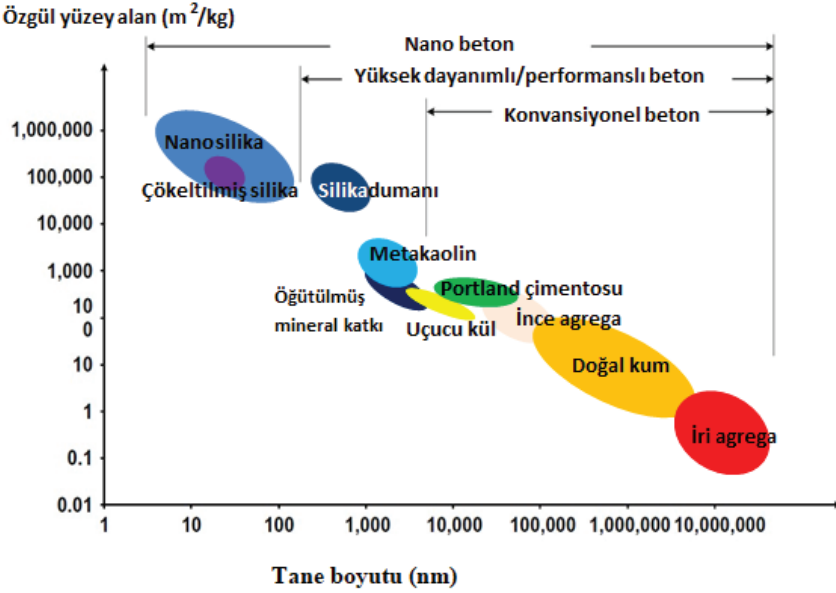
Şekil 1. Nanoteknolojinin çalışma alanları [6]

Nanoteknoloji, 1 ile 100 nanometre arasında olan nano ölçekte malzemelerin davranış ve performanslarının incelenmesi, izlenmesi ve değiştirilmesi bilimi ve mühendisliği olarak tanımlanabilir. Atomik ve moleküler

ölçekte yapı taşları olan bir malzeme veya cihaz oluşturma işlemidir.

Nanoteknoloji, maddenin moleküler düzeyde hem anlaşılması hem de kontrol edilmesi ve böylece malzemenin bütün özelliklerini etkilemeyi amaçlayan bir araştırma ve teknoloji geliştirme alanıdır. Bu nedenle, mevcut malzemelerin moleküler yapısının modifikasyonundan yüksek performanslı, dayanıklı, yeni bir malzemenin geliştirilmesi olduğu sonucuna varılabilir; böylece, sürdürülebilir gelişme için ana malzemenin / malzemelerin toplu özelliklerinin kombinasyonundan daha büyük faydalar elde edilir.

Nanoteknoloji, inşaat sektöründe, özellikle betonda (nano yapılı, çok fazlı bir kompozit malzeme) büyük ilerleme olasılığı sunmaktadır. Betonun özellikleri, bileşenlerinin değişen özelliklerine göre belirlenir; bu da ona, güçlendirilmiş bir betonu geliştirmek için çeşitli bileşenlerinin atomik ve moleküler maddelerinin modifikasyonu için nanoteknolojinin avantajlarından yararlanma konusunda büyük bir avantaj sağlar [7]. Şekil 2'de beton bileşenlerinin tane boyutu ve özgül yüzey alanı görülmektedir.



Şekil 2: Beton bileşenlerinin tane boyutu ve özgül yüzey alanı [3]

Nanoteknolojinin beton ve bina yapılarında benimsenmesi üzerine bilimsel araştırmalar, nano yapıya, beton ve çimento esaslı malzemelerin atomik yapısının modifikasyonuna ve kırılma mekanizmalarına odaklanmıştır. Nanoteknoloji, betonun dökme özelliğini iyileştirir, daha ince nihai ürünler elde edilmesine, daha hızlı priz süresine ve çevresel saldırı seviyelerinin düşürülmesine yardımcı olmaktadır [8].

Betonu geçirimsiz hale getirmek için bir yöntem geliştirilebilirse, na-

noteknolojik beton kaplamaların veya yapıların ömrünü büyük ölçüde artırılabilir. Belirli bir beton sistemin geçirgenliğini izlemek ve değiştirmek için nanoteknoloji tabanlı araçların ve nanomalzemelerin kullanılması, daha uzun ömürlü beton yapılara yol açacaktır. Bilimsel çalışmalar, nanoteknolojinin agrega çimento hamuru bağıni ve sertleşmiş betonun dayanıklılık özelliklerini geliştirerek basınç dayanımını artırmaya yardımcı olabileceğini göstermiştir [9].

### 2.1. Nanomalzemeler

Nanoteknolojinin gelişmesine ek olarak, malzemelerin nanometre sırasına göre modifikasyonları ve yeniden yapılandırılması nedeniyle geliştirilen yeni malzemeler; nanomalzemeler olarak adlandırılır. Nanomalzemeler inşaat alanında çok büyük gelişmeler kaydetmiştir ve betonun performansını ve dayanıklılığını artırmadaki belirgin iyileştirmeler nedeniyle daha çok beton teknolojisi alanlarında araştırma ve geliştirme konusunda çalışmalar devam etmiştir. Betonda kullanılan bazı nanomalzemeler aşağıda verilmiştir.

Betonda kullanılan malzemelerden biri olan Nano silika, mikro bazlı silikadan üretilir ve ultra yüksek performanslı betonlarını dayanım ve dayanıklılık açısından geliştirdiği çalışmalarda kullanılmaktadır. Ayrıca minimum süperakışkanlaştırıcı dozajında işlenebilirliği geliştirdiği de bildirilmiştir [9].

Nano alümina, alüminanın kendisinin bir ürünüdür. Nano alüminanın betonda kullanımına ilişkin sınırlı sayıda çalışma olmasına rağmen; betona eklenmesi, özellikle ultra yüksek performanslı betonların priz süresini etkilemektedir. Nano alüminanın çimentodaki işlevi, ultra yüksek performanslı betonlar için ilk priz süresini hızlandırmak, böylece betonlarda ayrışmayı ve flokülasyonu azaltmaktır [9].

Nano kaolen, kaolinin bir yan ürünüdür. Kaolinit olarak da bilinen kaolin;  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  kimyasal bileşimi ile endüstriyel minerallerin bir parçası olan bir kil mineralidir. Oksijen atomları aracılığıyla bir oktahedral alümina oktahedral yapıya bağlanan bir tetrahedral tabakaya sahip katmanlı bir silikat mineralidir. Kaolinit açısından zengin kayalar, kaolin veya çin kili olarak bilinir. Kaolinit, dioktahedral filossilikat kili olarak da bilinen beyaz mineral içerir. Feldspat gibi alüminyum silikat minerallerinin kimyasal ayrışması sonucu oluşan kilden oluşur [9].

Nano kil, katmanlı mineral silikatların nanopartikülleridir. Kimyasal bileşime ve nanopartikül morfolojisine bağlı olarak Nano killer, montmorillonit, bentonit, kaolinit, hektorit ve halloysit gibi çeşitli sınıflara ayrılır. Nano kil, polimerlerde umut verici sonuçlar veren en uygun fiyatlı malzemelerden biridir. Nano kil, ortalama boyutu 1 nm kalınlığında ve 70-150

nm genişliğinde “trombosit” yapısına sahip olduğu bilinen montmorillonit mineral yataklarından yapılmıştır. Montmorillonit kilinin benzersiz yapısı, onu nanoteknoloji yoluyla manipülasyon için mükemmel bir temel haline getiren çeşitli niteliklere sahip olmasıdır. Bu nitelikler arasında stabilite, bir ara katman alanı, yüksek hidrasyon ve şişme kapasitesi ve yüksek bir kimyasal reaktivite bulunmaktadır [9].

Nanotüpler, nanometre mertebesinde bir boyutlu içi boş tüp benzeri yapılardır. Nanotüplerin en yaygın örneği karbon nanotüpleridir. Karbon nanotüpler, grafinin peteğe benzeyen atom düzleminin bir silindir etrafında sarılmış şekline benzemektedir. Çapları birkaç nm ve uzunlukları birkaç  $\mu\text{m}$  olan karbon nanotüpler, saç telinin çapından yaklaşık 500000 kat daha küçüktür. Karbon nanotüpler polar bağ yapısı içermediklerinden suda çözünmez ve  $750^\circ$  ye kadar yapılarını korurlar [10].

Karbon nanotüp haricinde bazı türler bakır ve gümüş nanopartiküllerdir. Gümüş nanopartiküller, gümüş elementi beyaz, parlak ve metalik bir elementtir. Gümüşün en önemli özelliği, antibakteriyel olmasıdır. Bu sayede yapı sektöründe antibakteriyel yüzeylerin elde edilmesi gümüş nanopartiküllerinin ilavesi ile sağlanır. Gümüş iyonları nanoteknoloji ile birleştiğinde, yüksek yüzey alanı/hacim oranını sağlamaktadır. Bakır nanopartiküllerden beklenen faydalar çelikte kaynaklanabilirlik, korozyon direnci ve şekillendirilebilirliktir [10].

Farklı Nanomalzemeler, ve kullanım alanları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Nanomalzemeler, ve kullanım alanları [11]

Nanomalzemeler	Yapı malzemeleri	Beklenen faydalar
Karbon nanotüp CNT	Beton Seramik Güneş pili	Sağlamlık Çatlamayı önleme Geliştirilmiş mekanik ve termal özellikleri Sağlık İzleme
Silisyum dioksit (nanosilika) nano parçacıklar	Cam Beton Seramik	Mekanik dayanıma katkı Soğutma Işık iletme Ateşe dayanıklılık ve tutuşmazlık Yansıma önleme
Titanyum dioksit nano parçacıklar	Cam Beton	Hızlı hidrasyon Hidrasyon düzeyini Kendi kendini temizleme Süper su emicilik Buğulama önleme Kirlenme direnci Elektrik üretimi
Demir III oksit nano parçacıklar	Beton	Aşınmaya dayanıklılık

Nano silika, betonda en yaygın kullanılan nano katkı maddesidir. Nano silikanın, geçirgenlik ve ardından dayanıklılık gibi performansı iyileştirmede mikron boyutlu silikadan çok daha etkili olduğu bildirilmiştir.

Nano-silika, gelişmiş işlenebilirlik ve dayanıma sahip, yüksek performanslı ve kendiliğinden yerleşen betonda gerçekleştirilen bir gelişme olan, polimerlere ve betona etkili katkı maddeleridir. Çimento esaslı malzemelere nano-silika ilavesi, sudaki temel C-S-H (Kalsiyum-silikat-hidrat) reaksiyonunun bozulmasını kontrol etmenin yanı sıra su penetrasyonunu engeller ve dayanıklılıkta iyileşmeye yol açar. Nano SiO<sub>2</sub> partiküllerinin eklenmesi betonun yoğunluğunu ve dayanımını artırır. Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre, nanosilikanın sadece mikroyapıyı iyileştirmek için bir dolgu maddesi olarak değil, aynı zamanda mineral katkılı beton için puzolanik reaksiyonu teşvik etmek için bir aktivatör olarak da davrandığını, bunun sonucunda betonunun dayanımını özellikle erken aşamalarda arttığını göstermektedir [9].

Çimento esaslı malzemelerde nano tozun bir başka büyük hacimli uygulaması da kaplama alanıdır. Bu, nanoteknolojinin yüzeyleri kaplamak, yani püskürtme yapmak ve bir ürünü eski zamanlardan daha güzel göstermek için kullanıldığını göstermektedir. Nano tozlar dikkate değer bir yüzey alanına sahiptir. Yüzey alanı, yüzey enerjisi ve yüzey morfolojisinde ciddi bir değişiklik sağlar. Özelliklerdeki değişiklik, gelişmiş katalitik yetenek, ayarlanabilir dalga boyu algılama yeteneği ve kendi kendini temizleme ve kendi kendini iyileştirme özelliği ile daha iyi tasarlanmış pigment ve boyalara neden olur [12, 13].

Nanopartikülün çimento esaslı malzemeler için ümit verici bir uygulama alanı, kendi kendini temizleyen kaplamanın geliştirilmesidir. Bu amaç için yaygın olarak titanyum oksit kullanılmaktadır. UV ışığını engellemek için nano partiküller olarak dahil edilmiştir. TiO<sub>2</sub>, güçlü katalizör reaksiyonları yoluyla organik kirleticileri, uçucu organik bileşikleri ve bakteri membranını parçaladığından ve dış yüzeylere uygulanan havadaki kirleticileri azaltabildiğinden, sterilize edici özellikleri nedeniyle boyalara, çimentolara ve pencerelere eklenir. Ek olarak hidrofildir ve bu nedenle uygulandığı yüzeye kendi kendini temizleme özellikleri verir [13]. Kendi kendini temizleyen çimento ile üretilmiş cephe kaplaması örneği Şekil 3'de görülmektedir.



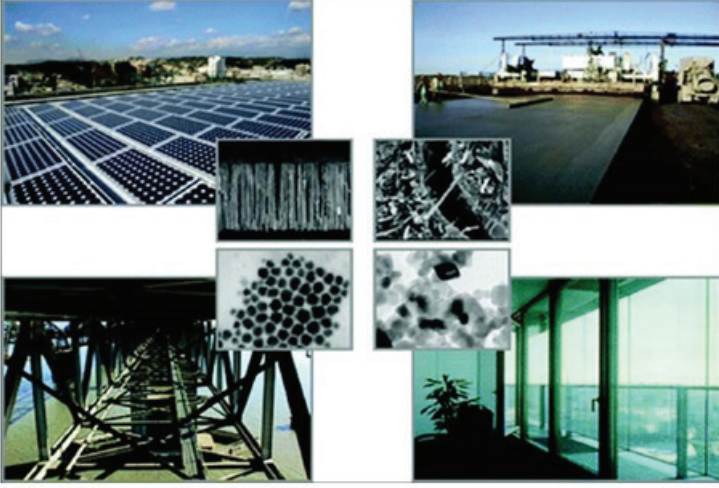
Şekil 3: Kendi kendini temizleyen çimento ile üretilmiş cephe kaplaması örneği [13].

Nano kaplamalarda, birincil zorluk, nano boyutlu çimento parçacıkları üretmektir. İkinci zorluk hidrasyon ısısidir. Belirli yüzey alanlarındaki birçok kat artışı nedeniyle, nano çimento parçacığı çok reaktiftir ve muazzam miktarda hidrasyon ısısı ile sonuçlanır. Hidrasyon ayarını ve ısısını kontrol etmek için özel organik ve inorganik katkı maddelerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Kaplamaların çeşitli maruz kalma koşulları altında dayanıklılığı, aşınma direnci, sürtünme direnci, yüksek sıcaklık direnci, arıza modları ve elektriksel özelliklerin kapsamlı deneyler kullanılarak kanıtlanması gerekir.

1997 yılında Wilhelm Barthlott tarafından “lotus etkisi” keşfedilmiş ve kendi kendini temizleyen malzeme üretimi başlamıştır. Lotus bitkisinin yapraklarının su itici (hidrofobik) özelliği ve yaprak yüzeyinin nano yapısından etkilenerek lotus etkisi geliştirilmiştir [13].

Çimento esaslı kompozitlerin kendi kendini temizleme özelliğinin yanı sıra daha yüksek mukavemet, tokluk, esneklik, kararlılık, iletkenlik gibi gelişmiş mekanik ve elektriksel özelliklerin kullanılması için nano bileşenler dahil olmak üzere nanoteknolojinin kullanımı için geniş bir kapsam vardır. Nanoteknolojinin kullanım alanlarına örnekler Şekil 4’te görülmektedir. Nanoteknoloji sayesinde doğada bulunmayan malzemeleri tasarlamak mümkün olmaktadır.





Şekil 4: Nanoteknolojinin kullanım alanlarına örnekler [15].

Nanoteknoloji, malzemenin iç yapısını değiştirerek daha fazla özellikler sunmasıyla mimaride de kullanılmaya başlanmıştır. Nanomimari, mimarlık ile nanoteknolojinin beraber kullanılmasıdır. Mimari uygulamalarda kullanılan geleneksel malzemeler özelliklerini geliştirerek, yeni malzemeler üretmek mümkündür. Mimari uygulamalarda kullanılan geleneksel malzemeler yerine çok işlevli, aktif nano malzemelerin kullanılması mümkündür.

Nanomalzeme bir çok özelliği bir araya getirir ve geleneksel malzemelerle çözülemeyen enerji, çevre, üretim, güvenlik gibi birçok sorunu çözme potansiyeline sahiptir. Nanoteknoloji, geleneksel malzemelerin hacmini ve ağırlığını azaltmakta ve daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Kazandırılan gelişmiş özelliklerin yardımıyla, malzemelerin hasar görmesi önlenir, bakım, onarım ihtiyaçları azalır. Bunlara ek olarak, nanoteknoloji üretim adımlarının sayısını azaltır, kaynakların korunmasında, hammadde, enerji tüketiminde ve dolayısıyla karbondioksit emisyonlarında önemli bir azalma sağlar ve ekonomi olumlu bir katkı sağlamaktadır [14].

Lotus bitkisinin yüzeyindeki engebeler nanokaplamalar ile elde edilip, yüzey kaplama malzemesi üretilmektedir. Kirin, yağmur suyu gibi az miktarda su ile temizlenmesi sağlanmaktadır. Temizleme işlemi belli aralıklarla kendiliğinden gerçekleşmektedir. Böylelikle minimum enerji tüketimi gerçekleşmekte ve ekonomik anlamda kazanç sağlanmaktadır.

Özellikle bina cephelerinin temizlenme işlemi nanoteknoloji sayesinde çözülmüş olup dünya ekonomisine büyük katkı sağlanmaktadır [15].

Lotus etkisiyle kendi kendini temizleyebilen özellikte boya uygulamasına örnek olarak Ara Pasic Müzesi Şekil 4'te görülmektedir.

Meydana gelebilecek bir yangın durumunun, yapılar üzerindeki etkisini en aza indirmesi için kullanılan nano camların üretiminde de nanoteknoloji kullanılmaktadır [15]. Yangın korunumu sağlayan nano malzemelerin uygulamasına örnek olarak Deutche Post AG Binasıdır (Şekil 4).

İnşaat sektörünün en temel malzemelerinde biri olan beton içerisine karbon nanotüpler (CNT), eklenmesiyle daha yüksek dayanımlı, geçirimsizlik özellikleri iyileştirilmiş, korozyona karşı direnci arttırılmış bir beton elde edilebilmektedir [15]. Karbon nanotüplerin uygulamasına örnek olarak Jubile Kilesesi Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Nanomalzemelerin mimaride kullanımı [15].

## KAYNAKLAR

- [1] Gür M., (2010). Nanomimarlık Bağlamında Nanomalzemeler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 2, 81-90.
- [2] Turunç S. (2019) Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Türk Yapı Sektöründe Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [3] Çimsa, (2017). Özel Betonlar. Çimento Araştırma ve Uygulama Merkezi.
- [4] Irmak M. E. (2022). Çimentolu Kompozitlerde Nano Katkıların Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- [5] Turunç, S. (2019). Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Türk Yapı Sektöründe Kullanımı, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- [6] Güler, G. (2020). Nano Malzeme İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Dayanıklılığının Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- [7] Balav, M.H. (2016). Nano Malzemelerin Çimento Bağlayıcılı Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [8] Balaguru, P., Chong, K., (2006). Nanotechnology and Concrete: Research Opportunities, Proceedings of ACI Session on Nanotechnology of Concrete, pp.15-28
- [9] Olafusi, O. S., Sadiku, E.R., Snyman, J., Ndambuki J. M. & Kupolati W. K. (2019). Application of nanotechnology in concrete and supplementary cementitious materials: a review for sustainable construction. SN Appl. Sci. 1, 580.
- [10] Perker, Z. S. 2010. Nanoteknoloji ve Yapı Malzemesi Alanına Etkileri, e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 5, 639-648.
- [11] Durmaz, Ö. (2022). Elektromanyetik Kalkanlama Özellikli Nano Malzeme Katkılı Yapı Malzemelerinin Üretimi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- [12] Akyıldız, A., Durmaz, O. (2022). Investigating Electromagnetic Shielding Properties of Building Materials Doped with Carbon Nanomaterials, Buildings, 12(3), 361. <https://doi.org/10.3390/buildings12030361>.
- [13] Şahin, O. Z. 2019. Nanoteknolojik Ürünlerin Giydirmeye Cephe Sektöründe Araştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- [14] Atik İ., Bilgin M. B. (2018). Mimarlıkta Nanoteknolojinin Yeri, Journal of Urban Academy, 11 (2), 232-242.

- [15] Çüçen A., Altuncı Y. T. (2022). Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Mimari Kullanım Olanaklarının Araştırılması Teknik Bilimler Dergisi Cilt 12, Sayı 1, S. 17-23.

## **BÖLÜM 4**

### **SU TEMİN VE DAĞITIM SİSTEMLERİNİN OTOMASYONUNDA ENDÜSTRİ 4.0, NESNELERİN İNTERNETİ, BULUT BİLİŞİM, MAKİNE ÖĞRENİMİ VE OPTİMİZASYON UYGULAMALARI**

*Rifat KURBAN<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Kayseri Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojisi Bölümü, Kayseri, TÜRKİYE, Envest Enerji ve Su Teknolojileri, Erciyes Teknopark, Kayseri, TÜRKİYE ORCID: 0000-0002-0277-2210 E-posta: rifatkurban@kayseri.edu.tr, rifat.kurban@envest.com.tr

## 1. Giriş

Su, dünyamızdaki yaşamın vazgeçilmez bir kaynağıdır ve üç ana kullanım türü vardır:

- Kentsel kullanım, suyun şehirlerde ve kentlerde yaşayan insanlar için kullanılmasıdır. Suyun evlerde, işyerlerinde ve diğer yerlerde içme, yıkanma, temizlik gibi ihtiyaçlar için kullanılmasını kapsar.

- Tarımsal kullanım, suyun tarım faaliyetlerinde kullanılmasıdır. Suyun bitkilerin yetiştirilmesi için sulama ve toprak nemini koruma amacıyla kullanılmasını kapsar. Tarımsal su kullanımı, ülkelerin tarımsal üretimleri için büyük önem taşır.

- Endüstriyel kullanım ise, suyun üretim sürecinde kullanılmasıdır. Suyun çeşitli endüstriyel faaliyetlerde kullanılmasını kapsar, örneğin elektrik üretimi, kimyasal üretim, madencilik, metal işleme ve hayvancılık gibi. Endüstriyel su kullanımı, ülkelerin gelişmesi için oldukça önemlidir.

Türkiye’de suyun %74’ü tarımsal, %15’i kentsel ve %11’i de endüstriyel olarak kullanılmaktadır (Kırtorun ve Karaer, 2018).

Su yönetimi, suyun doğru ve etkin bir şekilde kullanılması, yönetilmesi ve korunması için yapılan faaliyetlerdir (Loucks ve Van Beek, 2017). Su yönetimi, su kaynaklarının yönetimi, su tasarrufu, su kalitesi kontrolü ve su ile ilgili problemlerin çözümü gibi birçok farklı alanı kapsar. Su yönetiminin amacı, suyun doğru bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğini garanti etmektir (Cosgrove ve Loucks, 2015).

Su yönetimi, aynı zamanda su kaynaklarının korunmasını da içerir. Bu, su kaynaklarının doğal durumlarını koruma ve su kaynaklarının kirlenmesini önleme amacıyla yapılan faaliyetlerdir. Su yönetimi, ayrıca su kaynaklarının doğru bir şekilde yönetilmesini ve kullanılmasını sağlamak için çeşitli politika ve yönetmeliklerin oluşturulmasını da kapsar (Geissen vd., 2015).

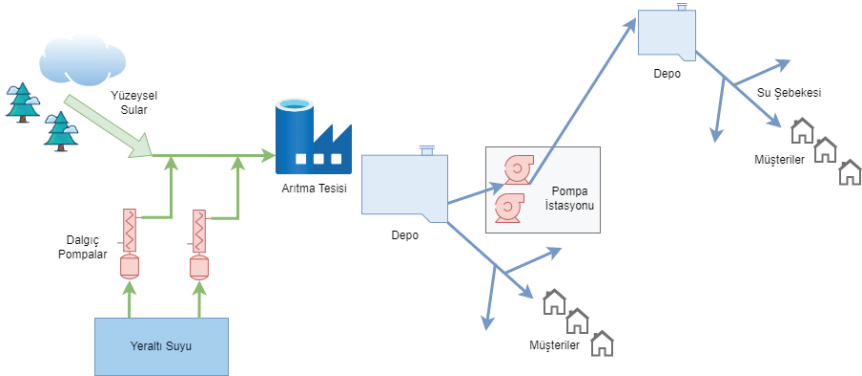
Su kaynaklarının etkin kullanımı ve yönetimi, Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma amaçlarına (SKA) ulaşmak için oldukça önemlidir (Griggs vd., 2013). Su, insanın hayatta kalması ve refahı için hayati bir kaynaktır ve tarım, sanayi ve enerji üretimi dahil olmak üzere birçok sektörde kritik bir rol oynamaktadır. Su kaynaklarının etkili bir şekilde kullanılmasını ve yönetilmesini sağlamak, yoksulluğun sona erdirilmesi, sağlığın ve refahın iyileştirilmesi ve sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanması dahil olmak üzere bir dizi amaca katkıda bulunabilir. Etkili su yönetimi, su verimliliğini artırmak, su kaynaklarını korumak ve muhafaza etmek ve su kirliliğini önlemek gibi faaliyetleri içermektedir (Bogardi vd., 2012). Ayrıca, su kaynaklarının sürdürülebilir ve adil bir şekilde

kullanılmasını sağlamak için politikalar ve düzenlemeler geliştirmeyi de kapsar. Su kaynaklarının etkili bir şekilde kullanılmasını ve yönetilmesini sağlamak, özellikle iklim değişikliği bağlamında önemlidir, çünkü su varlığı önümüzdeki yıllarda giderek daha kritik hale gelecektir. Su kaynaklarının etkili kullanımına ve yönetimine öncelik vererek, herkes için daha sürdürülebilir ve arzu edilen bir geleceğe ulaşmaya çalışmak üniversitelerin, kurumların ve ilgili sanayi kuruluşlarının ana amaçları arasında bulunmalıdır.

Su kıtlığı, insan ve çevre ihtiyaçları için temiz, güvenli suya yeterli erişimin olmaması anlamına gelir (Vanham, 2018). Kıtlık, bir bölgedeki mevcut su kaynaklarının eksikliği gibi doğal faktörlerden kaynaklanabilir veya su kaynaklarının aşırı kullanımı veya kirlenmesi gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanabilir. Su stresi, bir bölgenin su talebinin mevcut arzını aştığı veya mevcut su kalitesinin nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için yetersiz olduğu durumu tanımlayan bir terimdir (Damkjaer, 2017).

Türkiye, su stresinin yüksek olduğu bir bölgede yer almakta ve nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme gibi faktörler nedeniyle ülke su kaynakları üzerinde artan bir baskı ile karşı karşıya kalmaktadır (Gezer ve Erdem, 2018).

Türkiye'deki mevcut su stresi ve olası su kıtlığı eğilimini yavaşlatmak ve durdurmak için alınabilecek çeşitli önlemler bulunmaktadır. Önemli bir adım, su kullanım verimliliğini artırmak ve su israfını azaltmaktır. Bu, daha verimli sulama sistemlerinin uygulanması, kuraklığa dayanıklı mahsullerin kullanılması ve evlerde ve işyerlerinde su tasarrufu önlemlerinin uygulanması gibi önlemlerle yapılabilir.



Şekil 1. Bir su temin ve dağıtım sisteminin bileşenleri.

Bir diğer önemli adım da su kaynaklarının daha iyi yönetilmesi ve arıtılması için gereken altyapı ve teknolojilere yatırım yapmaktır. Bu, barajlar ve rezervuarlar inşa etmek gibi suyun kalitesini ve mevcudiyetini iyileştir-

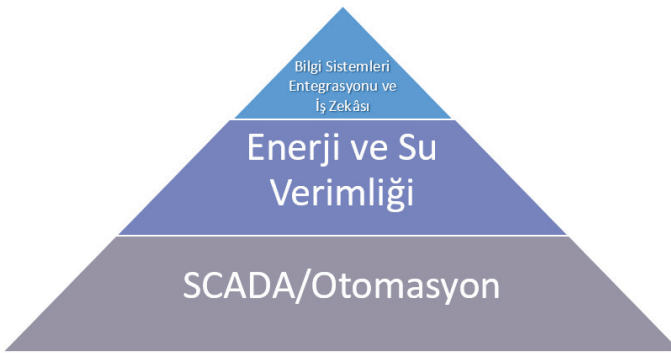
mek için altyapıya yatırım yapmayı ve su kaynaklarından kirleticileri uzaklaştırmak için gelişmiş su arıtma teknolojilerini uygulamayı içerir.

Son olarak, su kaynaklarının aşırı kullanımı ve kirlenmesi gibi su kıtlığının ve su stresinin temel nedenlerini ele almak önemlidir. Bu, suyun sorumlu kullanımını teşvik eden yönetmelikler ve politikaların yanı sıra su tasarrufu ve su kaynaklarının korunmasını teşvik eden eğitim ve sosyal yardım programları yoluyla yapılabilir.

Bu çalışmada su temin ve dağıtım sistemlerinin bileşenleri, bu sistemlerin oluşturulmasında karşılaşılan problemler ve çözüm yolları ile bu sistemlerin daha verimli işletilebilmesi için endüstri 4.0, nesnelere interneti, bulut bilişim, makine öğrenimi ve optimizasyon tekniklerinin mevcut ve olası kullanımları değerlendirilmiştir.

## 2. Su Temin ve Dağıtım Sistemleri

Su temin ve dağıtım sistemleri, insanların günlük ihtiyaçlarını karşılamak için suyun temin edilmesi ve dağıtılması işlemlerini gerçekleştirir. Bu sistemler, suyun doğal kaynaklardan (örneğin nehirler, göller ve göletler) veya diğer kaynaklardan (örneğin yeraltı akiferlerinden su temin eden derin kuyu pompaları, su depoları ve su üretim tesisleri) toplandıktan sonra, suyun binalara, evlere ve diğer tüketim alanlarına gönderilmesini sağlar. Su temin ve dağıtım sistemleri, insan sağlığı için önemlidir çünkü temiz su, insanların içme, yıkanma ve diğer işlemler için gereklidir. Ayrıca, su temin ve dağıtım sistemleri, çeşitli endüstriyel işlemler için de gereklidir. Bu sistemlerin düzgün bir şekilde çalışması, insan sağlığını korumanın yanı sıra, çeşitli endüstriyel işlemlerin de düzgün bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar.



Şekil 2. Su yönetimi otomasyon ve yazılım uygulama piramidi.

Bir içme suyu temin ve dağıtım sistemi, topluluklara güvenli ve güvenilir içme suyu sağlamaktan sorumlu karmaşık bir altyapı ve süreç ağıdır (Tsakris, 2014). Şekil 1'den de görüleceği üzere sistem tipik olarak aşağıdakiler de dahil olmak üzere birkaç temel bileşenden oluşur:



- Su kaynakları: Bunlar, nehirler, göller, rezervuarlar veya yeraltı akiferleri gibi sistemi beslemek için kullanılan su kaynaklarıdır.
- Su arıtma tesisleri: Bu tesisler, içmenin güvenli olmasını sağlamak için suyun arıtılmasından ve arıtılmasından sorumludur. Arıtma süreçleri filtrasyon, kimyasal arıtma ve dezenfeksiyon içerebilir.
- Depolama rezervuarları: Bunlar, dağıtım için ihtiyaç duyulana kadar arıtılmış suyu depolamak için kullanılan büyük tanklar veya havuzlardır.
- Terfi pompa istasyonları: Bu tesisler, arıtılmış suyun depolama rezervuarlarından dağıtım sistemine pompalanmasından sorumludur.
- Dağıtım boruları: Arıtılmış suyu terfi istasyonlarından evlere ve işyerlerine taşıyan borulardır.
- Ölçüm ve faturalama: Bu süreçler, her müşterinin kullandığı su miktarının ölçülmesinden ve buna göre faturalandırılmasından sorumludur.

Su temin ve dağıtım sistemleri uygulamaları incelendiğinde iki temel sorun ile karşılaşılmaktadır:

1. Su temin sistemlerinde kullanılan pompalarda enerji verimsizliği
2. Su dağıtım sistemindeki kayıp ve kaçaklar

Bu sorunların boyutu maalesef ölçme ve izleme sistemlerinin yaygın olmamasından dolayı bilinmemektedir. Ancak, Türkiye’de su temininde kullanılan pompaların %25 daha fazla enerji kullanılarak verimsiz olarak işletildiği (Kütük vd., 2019) ve buna ek olarak içme suyu dağıtım hatlarında ise kayıp-kaçak oranının %40 olduğu üzerine çalışmalar yapılmıştır (Sarıkaya vd., 2022). Türkiye’deki 30 büyükşehirde ait su ve kanalizasyon idarelerinde yenilebilir enerji kullanım oranı ortalama %4’dür. Toplam suyun ortalama %59’u yüzeysel sulardan ve %41’i ise yeraltı sularından temin edilmektedir. İçme suyu şebekesine giren ortalama su miktarı 240 litre/gün olarak hesaplanmıştır. Ancak kişi başına düşen izinli su tüketim miktarı ise 138 litre/gün’dür. Bazı dünya şehirlerinde kişi başına izinli tüketim miktarı Berlin’de 114, Londra’da 149, Tokyo’da ise 218 litre/gün’dür (Sarıkaya vd., 2022).

Entegre kentsel su yönetiminin bileşenleri şu şekilde listelenebilir:

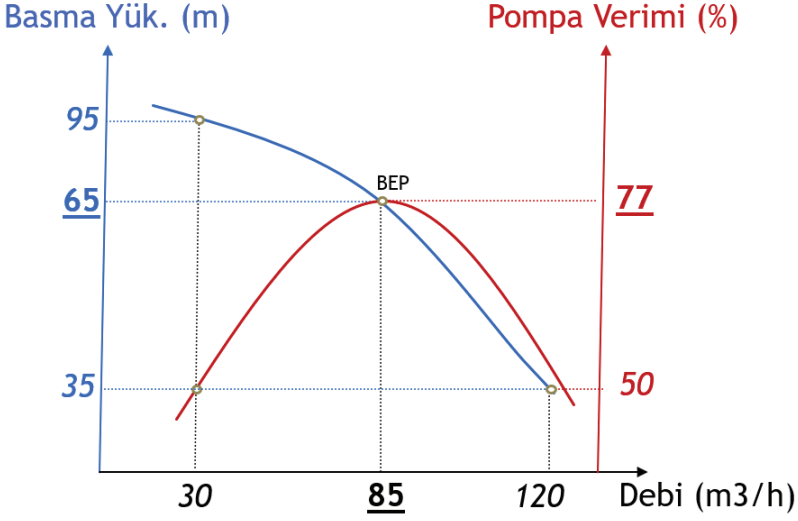
- Yeraltı su temini (derin kuyu dalgıç pompalar)
- Yerüstü su temini (barajlar, göller, akarsular)
- İçme suyu arıtma
- Terfi pompa istasyonları ve terfi hatları

- Dağıtım depoları
- Klorlama
- Su şebekesi ve dağıtım ağı
- Katodik koruma
- Atık su arıtma

Bir su yönetim sisteminin uygulama örneği piramit olarak Şekil 2’de verilmiştir. Bu piramidin en alt ve en geniş basamağında SCADA/Otomasyon sistemleri bulunmaktadır. Bu basamak su temin ve dağıtım sistemindeki bileşenlerin uzaktan izlenmesi ve kontrolünü içermektedir. SCADA/Otomasyon basamağının bir üstünde enerji ve su verimliliği basamağı vardır. En üstte ise diğer bilgi sistemleri ile entegrasyon (coğrafi bilgi sistemleri, abone bilgi yönetim sistemi, arıza ve iş takip sistemi, evrak yönetim sistemi vb.) ve iş zekâsı uygulamaları bulunmaktadır. İş zekâsı uygulamaları sistemdeki büyük veriyi analiz ederek yöneticiler için özet grafikler ve canlı göstergeler oluşturulmasını ihtiva etmektedir.

### **2.1. Pompalarda Enerji Verimliliğinin Sağlanması**

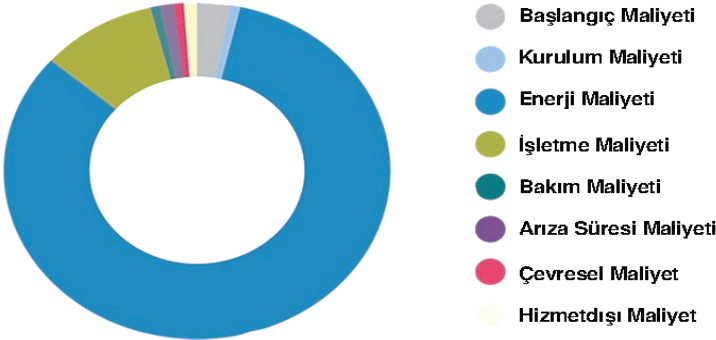
Pompalar, yanlış boyutlandırma, yaşlanma ve basma yüksekliğinin mevsimsel veya ihtiyaca bağlı olarak değişmesi sonucu verimsiz çalışırlar. Şekil 3’de 95 m<sup>3</sup> etiketli 5 fanlı bir dalgıç pompanın performans ve verim eğrileri verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere pompa 95 metre basma yüksekliğinde 30 m<sup>3</sup>, 65 metrede 85 m<sup>3</sup> ve 35 metrede 120 m<sup>3</sup> su üretmektedir. Ancak bu pompa farklı debi ve basma yüksekliklerinde aynı verimde çalışmamaktadır. Pompanın en verimli çalıştığı nokta (best efficiency point – BEP) verim eğrisinin en tepe noktasının performans eğrisi ile kesiştiği noktadır. Dolayısıyla bu pompadan maksimum verim alınabilmesi için 65 metre basınçta 85 m<sup>3</sup> su üretilmesi gerekmektedir. Eğer sahadaki ihtiyaç ile uyuşmayan bir işletme yapılırsa enerji verimsizliği yaşanılması kaçınılmazdır.



Şekil 3. Bir dalgıç pompanın performans (mavi) ve verim (kırmızı) eğrileri.

Pompaların ilk yatırım maliyetinin toplam sahip olma maliyeti içindeki oranı Şekil 4'ten de görüleceği üzere oldukça düşüktür. Enerji ise bu maliyet içinde oldukça büyük bir orana sahiptir. Dolayısıyla, verimsiz çalıştığı tespit edilen ve anlık güç tüketimi 10 kWh ve üzeri olan pompalar ivedilikle değiştirilmeli veya değişken hız kontrol sürücülerini (frekans konvertörleri) ile daha verimli işletme noktalarında çalıştırılmalıdır.

#### Toplam Sahip Olma Maliyetinin Tipik Dağılımı



Şekil 4. Bir pompanın toplam sahip olma maliyetinin dağılımı.

Pompaların su yönetim sistemlerince sağlık olarak izlenebilmesi için aşağıdaki parametrelerin anlık olarak ölçümü ve 10 ila 120 saniyelik periyotlarda su yönetim SCADA sistemine aktarılması önem arz etmektedir (Kurban vd., 2020):

- Derin kuyularda yeraltı su seviyesinin hidrostatik seviye sensörü ile ölçümü
- Pompanın hat basıncının ölçümü (terfi pompalarında giriş basıncının da ölçülmesi)
- Pompa su üretim debisinin tercihen elektromanyetik veya ultrasonik debimetre ile ölçümü
- Pompa ve motorun enerji tüketiminin sürücü üzerinden veya sürücü kullanılmıyorsa enerji analizörü ile ölçümü

## 2.2. Su Şebeke Kayıp-Kaçaklarının Azaltılması

Su şebekelerindeki gelir getirmeyen su, yüksek basınca dayalı şebeke kayıplarından ve izinsiz kullanım sonucu kaçaklardan meydana gelir. İzinli olsa da fatura edilmeyen suların takibi de oldukça önemlidir.

Su kayıp ve kaçakları ile mücadelede kullanılan temel yöntemler şunlardır:

- Bölgesel ölçüm alanları (district metered area - DMA) ile tüm şehri aramak yerine kayıp-kaçakların görece yüksek olduğu bölgelerin tespit edilmesi ve bu alt bölgelerde fiziki kayıp-kaçakların aranması
- DMA'lardan gelen veriler sonucu şebeke basıncının yüksek olduğu bölgelerde basınç kırıcı vana (BKV) ile basınç regülasyonu yapılarak basınç yönetim alanları oluşturulması ile kayıp-kaçakların azaltılması (kayıp-kaçak ile basınç arasında logaritmik ilişki vardır)
- Doğrudan şebekeye su basan derin kuyu sondajları eğer arıtma ihtiyacı yok ise değişken hız kontrol sürücüleri (frekans konvertörleri) ile şebeke basıncına göre oransal-integral-türevsel (PID) otomatik kontrol yöntemi ile çalıştırılması ve böylece hem enerjinin verimli kullanımı hem de şebekede basınç regülasyonunun sağlanması
- Su şebekesinin rehabilite veya revize edilmesi

Kayıp ve kaçak yönetiminde karşılaşılan teknik terimler şu şekilde özetlenebilir (Başbakanlık Mevzuat Geliştirme ve Yayın Genel Müd., 2015):

- NRW (non revenue water - gelir getirmeyen su): Üretilen su – fatura edilen su.
- DMA: İçme suyu dağıtım şebekesinin “sıfır basınç testi” ile göre-

ce küçük ve diğer bölgelerden izole edilmiş alt bölgelere ayrılarak kontrol edilmesi gerekir.

- BKV (PRV - pressure regulation valve): İzole edilen bölgelerde basınç görece yüksek ise basıncı regüle edebilen ve uzaktan kontrol edilebilen vanalara ihtiyaç vardır.

- MNF (minimum night flow - minimum gece debisi): Bir izole bölgede kayıp-kaçağın miktarını ölçmek için geliştirilen bir matematiksel modeldir. Gece 02:00-04:00 arası ortalama basınç ile beraber bölgedeki yaşayan kişileri, işletmeleri dikkate alarak önlenemeyen sızıntı oranını tahmin eder.

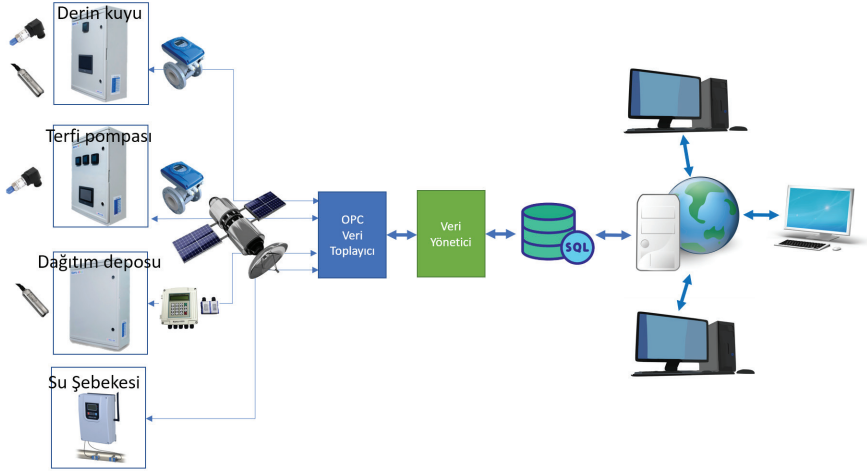
- ILI (infrastructure leakage index - altyapı kayıp-kaçak endeksi): Yıllık gerçek kayıpların önlenemeyen yıllık kayıplara oranıdır. ILI, 1 veya 1'den büyük bir değere sahiptir ve ilgili bölgenin kayıp-kaçak oranı ile alakalı bir göstergedir.

- IWA (international water association – uluslararası su birliği) Su Dengesi: Su şebekesindeki kayıp miktarının belirlenmesi amacıyla, sisteme giren suyun, kullanılan ve kaybedilen su miktarına eşit olmasını ilkesini dikkate alan hesaplama veya ölçme işlemlerine denir.

### 3. Endüstri 4.0

Dördüncü sanayi devrimi olarak da bilinen Endüstri 4.0, imalat sektöründeki mevcut otomasyon ve veri alışverişi trendini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zekâ ve robotik gibi ileri teknolojilerin üretim sürecine entegrasyonunu ifade ederek daha bağlantılı, akıllı ve verimli bir endüstriyel ortam sağlar (Lasi, 2014).

Endüstri 4.0'ın temel itici güçlerinden biri, üreticilerin üretim süreçlerinden gerçek zamanlı olarak veri toplamasına ve analiz etmesine olanak tanıyan nesnelerin interneti ve yapay zekâ teknolojilerinin artan kullanılabilirliğidir (Shrouf, 2014). Bu veriler, üretim süreçlerini optimize etmek, israfı azaltmak ve verimliliği artırmak için kullanılabilir. Ek olarak, robotik ve diğer otomasyon teknolojilerinin entegrasyonu, insanın fiziki emeğine olan ihtiyacı azaltmaya ve üretimin hızını ve doğruluğunu artırmaya yardımcı olmaktadır.



Şekil 5. Su yönetim SCADA sistemi mimarisi.

Nesnelerin interneti, yapay zekâ ve robotik gibi Endüstri 4.0 teknolojileri, su temini ve dağıtım sistemlerine giderek daha fazla uygulanmaktadır. Bu teknolojiler, suyun yönetilme biçimini dönüştürerek daha verimli ve sürdürülebilir su kaynakları yönetimi sağlama potansiyeline sahiptir. Şekil 5’de örnek bir su yönetim SCADA sistemi mimarisi verilmiştir. Derin kuyu pompası, terfi pompası, dağıtım deposu ve su şebekesi gibi istasyonlardan PLC/RTU ünitelerine sahip endüstriyel otomasyon cihazları ve panoları ile elde edilen veriler 2G, 3G, 4G, 5G, Nb-IoT, Lora ve Wi-fi gibi kablosuz teknolojilerle veri merkezine iletilir. Burada genellikle farklı protokoller ile konuşan saha cihazları OPC (open platform communications) standardına dönüştürülür ve SQL sunucularında depolanır. Bu veriler operatörlere ve geliştiricilere web tabanlı arayüzler ile sunulur. Kullanıcılardan gelen istekler ise aynı şekilde saha cihazlarına anlık olarak iletilir.

Su temini ve dağıtım sistemlerinde Endüstri 4.0’ın temel uygulamalarından biri, su kullanımı ve kalitesi hakkında veri toplamak için sensörlerin ve diğer izleme teknolojilerinin kullanılmasıdır. Bu veriler, su dağıtım şebekelerini optimize etmek ve sızıntı veya kirlenme gibi sorunları belirlemek için kullanılabilir. Yapay zekâ algoritmaları, bu verileri analiz etmek ve gelecekteki su talebini tahmin etmek için de kullanılabilir ve su hizmetlerinin kaynaklarını daha iyi yönetmesini sağlar.

Ayrıca, su arıtma proseslerinin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılabilir. Örneğin, su arıtma tesislerinde robotik ve otomasyon kullanımı, insan emeğine olan bağımlılığın azaltılmasına ve arıtma proseslerinin hız ve doğruluğunun iyileştirilmesine yardımcı olabilir.

Chacon ve arkadaşları su temin sistemleri, petrol arıtma veya elektrik

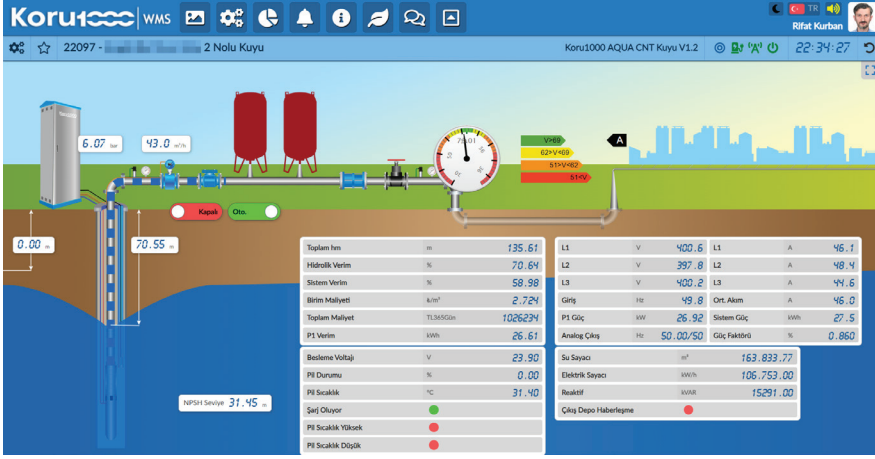
santralleri uygulamaları gibi sürekli üretim süreçlerinde holonik sistemlerin kullanımını öne sürmüşlerdir. Bir holonik işlem birimi (HPU), ortamdaki olayları algılayabilir, çeşitli eylem biçimlerini değerlendirebilir ve bir göreve uygun parametreleri değiştirebilir. Önerilen yaklaşım, bir holarşi inşa etmenin sürekli üretim süreçleri için endüstri 4.0 gereksinimlerini karşılayabileceğini göstermektedir (Chacon vd., 2021).

Adedeji ve arkadaşları önceki bilgi teknoloji çözümlerinin, su temin sistemi ortamlarının dinamikleriyle başa çıkmak için gerekli desteği sağlayamadığı görüşüne ile beraber teknolojideki artan büyüme ile su sektörü, sistemlerin sürdürülebilirliğini artırmak için tam dijitalleşme aşamasına geçtiğini ifade etmektedir. Su 4.0 olarak adlandırılan sistem, su temin sistemi operasyonlarının sürdürülebilirliğini artırmak hedeflemektedir. Çalışmada, Su 4.0'a ve su tedarik sistemi operasyonlarını iyileştirmedeki uygulamalarına genel bir bakış sunulmuştur. Su 4.0'ın temel özellikleri tartışılmıştır. Ayrıca, belediye su hizmetlerinin sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi için teknolojinin sunduğu zorluklar ve gelecekteki fırsatlar irdelenmiştir (Adedeji vd., 2022).

Galuppini ve arkadaşları sensörler, aktüatörler ve kontrol üniteleri arasındaki iletişimde yeni standartları garanti eden kablolu bir iletişim altyapısının kurulmasını ile basınç kontrol valflerine ve frekans kontrol algoritmalarına dayalı basıncı düzenleme amacıyla düzenleyici ayarlama problemini iki amaçlı bir optimizasyon olarak formüle etmişlerdir. İki farklı su dağıtım şebekesinin ayrıntılı bir modeli üzerinde gerçekleştirdikleri simülasyonlar ile önerdikleri modelin faydalarını sunmuşlardır (Galuppini, 2020).

#### **4. Nesnelerin İnterneti**

Nesnelerin İnterneti (IoT), sensörler, yazılımlar ve bağlantılarla gömülü fiziksel cihazlar, araçlar, binalar ve diğer nesnelere oluşan ve bunların veri toplamasını ve değiş tokuş etmesini sağlayan ağı ifade eder (Wortmann ve Flüchter, 2015). Bu teknoloji, dijital ve fiziksel sistemlerin entegrasyonuna izin vererek gerçek zamanlı veri toplama, iletişim ve otomasyon sağlar.



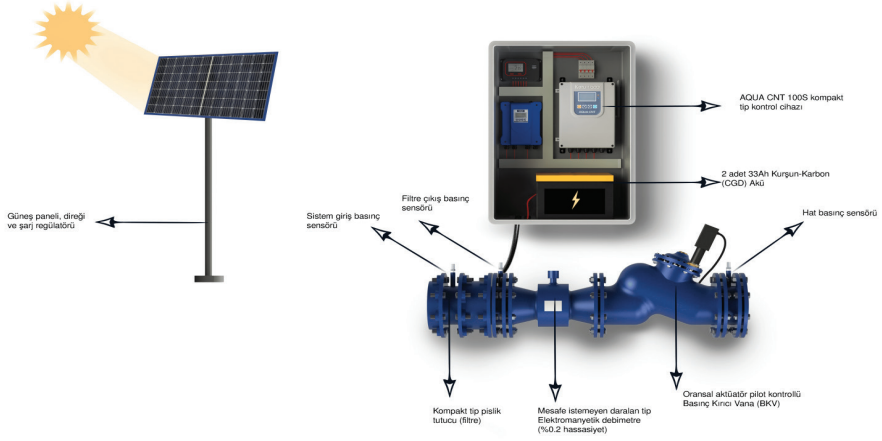
Şekil 6. Doğrudan şebekeyi besleyen bir derin kuyu sondajına ait bulut tabanlı su yönetim SCADA sistemi ekran görüntüsü.

Nesnelerin interneti teknolojisinin içme suyunun korunması ve yönetiminde bir uygulaması, su kalitesini izlemek ve kirleticileri tespit etmek için sensörlerin kullanılmasıdır. Örneğin, su kalitesini sürekli olarak izlemek ve operatörleri herhangi bir soruna karşı uyarmak için su arıtma tesislerine, dağıtım borularına ve depolama rezervuarlarına sensörler yerleştirilebilir. Bu, içme suyu kaynağının güvenli ve güvenilir olmasını sağlamaya yardımcı olabilir. Şekil 6'da nesnelerin interneti ve bulut bilişim teknolojileri ile oluşturulmuş bir su yönetim SCADA sistemine ait web uygulaması ekran görüntüsü verilmiştir. Mobil cihazlar ve masaüstü bilgisayarlar ile erişilebilen sistemde anlık olarak yeraltı su seviyesi, hat basıncı, üretilen suyun debisi, harcanan enerji ve bunlara bağlı olarak pompa verimi ve toplam sistem verimi görülebilmektedir.

Nesnelerin interneti teknolojisi, tarımsal su yönetiminde de kullanılmaktadır. Örneğin, toprak nem seviyelerini izlemek ve sulama programlarını optimize etmek için sulama sistemlerine sensörler yerleştirilebilir, bu da su israfını azaltmaya ve mahsul verimini artırmaya yardımcı olur. IoT sensörleri, rezervuarlardaki ve akiferlerdeki su seviyelerini izlemek için de kullanılabilir ve çiftçilerin su kaynaklarını daha iyi yönetmelerini sağlar.

Gonçalves ve arkadaşları su temin sistemlerini yönetmek için güçlü, verimli ve esnek bir mimari (REFlex Water) oluşturmak üzere nesnelerin interneti, kompleks olay işlemleri (complex event processing) ve bildirim süreçlerini bir araya getirmiştir. Çalışmada, REFlex su mimarisi açıklanmış ve önerilen sistemin Brezilya belediyesinden gerçek bir su sistemine uygulanmasının sonuçları verilmiştir (Gonçalves vd., 2020).

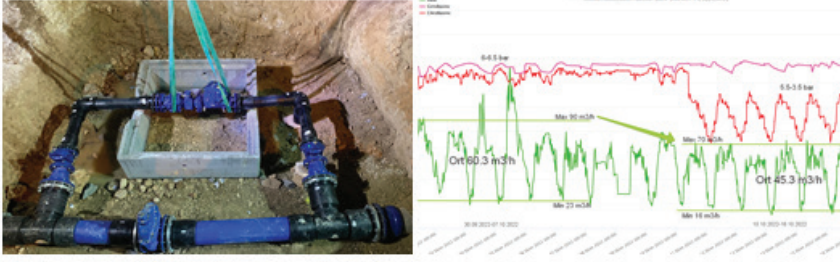




Şekil 7. Güneş paneli ile çalışabilen otomatik aktüatör kontrollü kompakt basınç kırıcı vana.

Maroli ve arkadaşları Hindistan'daki kırsal alanların su dağıtım zincirinde meydana gelen sorunları tespit etmeyi ve kırsal bir ortamda bir nesnelere interneti tabanlı su dağıtım ve yönetim sisteminin uygulaması için genel bir yöntem sunmayı amaçlamaktadır. Hindistan'daki kırsal alanların su dağıtım zincirindeki önemli engellerin yanı sıra, su dağıtım zincirinin yönetiminde nesnelere internetinin potansiyel rolü tanımlanmıştır. Akış metreleri, ultrasonik sensörler, motorlar gibi araçları kullanarak bir nesnelere interneti tabanlı su dağıtım ve yönetim sistemi tasarlamaya yönelik bir uygulama planı önerilmiştir. Ayrıca, bir kullanım örneği yardımıyla bu tür bir sistemin uygunluğu araştırılmıştır (Maroli, 2021).

Şekil 7'de güneş paneli ile çalışabilen otomatik aktüatörü sayesinde şebekede istenilen basıncı ayarlayabilen bir basınç kırıcı vana sistemi verilmiştir. Operatörler bir zaman tablosu şeklinde hangi saat aralığında şebeke basıncının ne olacağını belirler ve sistem müşterilerin kullanımına göre şebeke basıncını ayarlar. Şekil 8'de sistemin devreye alınması gösterilmiştir. Sistem devreye alınmadan önce saatlik su geçiş ortalaması  $60 \text{ m}^3$  iken sistem devreye alındıktan sonra  $45 \text{ m}^3$ 'e düşmüştür. Yıllık beklenen su tasarrufu 130bin  $\text{m}^3$  civarındadır. Bu açıdan bakıldığında yatırım geri dönüşü 4 aydan daha azdır.



Şekil 8. Akıllı basınç kırıcı vana ile şebekede basınç regülasyonu ve öncesi/sonrası basınç ve su debisi.

## 5. Bulut Bilişim

Bulut bilişim, kullanıcıların kendi fiziksel altyapılarına sahip olmak ve sürdürmek yerine internet üzerinden paylaşılan bilgi işlem kaynaklarına erişip bunları kullanabildikleri bir bilgi işlem modelidir. Bulut bilişim, maliyet tasarrufu, esneklik ve ölçeklenebilirlik dahil olmak üzere bir dizi avantaj sunabilir (Jamsa, 2022).

Bulut bilişim hizmetleri genelde üç ana kategoride incelenir (Kavis, 2014):

- Hizmet olarak altyapı (Internet as a Service-IaaS): Bu, sunucular, depolama ve ağ gibi bilgi işlem altyapısının internet üzerinden bir hizmet olarak sunulması anlamına gelir.
- Hizmet olarak platform (Platform as a Service-PaaS): Bu, temel altyapıyı yönetmeye gerek kalmadan uygulamaları geliştirmek, test etmek ve dağıtmak için bir platformun sağlanması anlamına gelir.
- Hizmet olarak yazılım (Software as a Service-SaaS): Bu, kullanıcıların yazılımı kendi bilgisayarlarına kurmasını ve bakımını yapmasını gerektirmek yerine, yazılım uygulamalarının internet üzerinden abonelik esasına göre teslim edilmesini ifade eder.

Bulut bilişim, entegre su yönetiminde aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir dizi potansiyel uygulamaya sahiptir:

- Veri yönetimi: Sensörler ve akıllı sayaçlar gibi su izleme sistemleri tarafından üretilen büyük miktarda veriyi depolamak, yönetmek ve analiz etmek için bulut bilişim kullanılabilir. Bu, su kullanımı ve kalitesi hakkında gerçek zamanlı içgörüler sağlayarak su yönetiminin verimliliğini ve etkililiğini artırmaya yardımcı olabilir.
- Karar desteği: Bulut bilgi işlem, su kaynaklarını optimize etmeye ve eğilimleri ve kalıpları belirlemeye yardımcı olabilecek veri analitiği araçlarına ve algoritmalara erişim sağlayarak su yönetiminde karar ver-

meyi desteklemek için kullanılabilir.

- **İşbirliği:** Bulut bilgi işlem, veri paylaşımı ve iletişim için paylaşılan bir platform sağlayarak, kamu hizmetleri, düzenleyiciler ve araştırmacılar gibi su yönetimindeki farklı paydaşlar arasındaki işbirliğini kolaylaştırabilir.

Alam'a göre bir akıllı şehir, birçok dijital ve fiziksel cihaz kullanarak veri toplayan bir yerleşim bölgesidir. Bu cihazlardan toplanan bilgi, kaynakları, varlıkları vb. yönetmek için etkin bir şekilde kullanılırken, bu cihazlardan elde edilen bilgi, şehrin genelinde performansı artırmak için kullanılır. Bulut tabanlı nesnelerin interneti uygulamaları, vatandaşlar, cihazlar, evler ve diğer şeylerden toplanan bilgiyi içeren akıllı şehirleri destekleyebilir (Alam, 2021).

Shafiee ve arkadaşlarına göre son yıllarda, komplekslik ve derin belirsizlik içinde su sistemlerini sürdürülebilir bir şekilde yönetmek için stokastik ve temsilci tabanlı modelleme gibi ileri seviye modelleme yaklaşımları geliştirilmiştir. Ancak, bu güçlü modeller için veri girdileri genellikle seyrek ve güncel olmadığından, güvenilir sonuçlar verir. Sensör ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemeler, su kaynak sistemleri ve daha ötesinde sensörlerin yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır ve yüksek frekanslı veri sağlamaktadır. Toplanan çeşitli verinin büyük miktarını işlemek zor ve geleneksel veri depolama ve işleme yaklaşımlarını aşmaktadır (Shafiee vd., 2018).

## 6. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi

Yapay zekâ, bilgisayar sistemlerinin öğrenme, problem çözme ve karar verme gibi tipik olarak insan benzeri zekâ gerektiren görevleri gerçekleştirmeye yeteneğini ifade eder. Makine öğrenimi, bilgisayar sistemlerinin açıkça programlanmadan zaman içinde öğrenmelerini ve performanslarını geliştirmelerini sağlamak için algoritmaların ve istatistiksel modellerin kullanımını içeren bir yapay zekâ alt kümesidir (Zhou, 2021).

Üç ana makine öğrenimi türü vardır (Alloghani, 2020):

- **Denetimli öğrenme:** Hem girdi verilerinin hem de istenen çıktının bulunduğu etiketli verileri kullanarak bir makine öğrenimi modelinin eğitilmesini içerir. Model daha sonra yeni, görünmeyen veriler için çıktıyı tahmin edebilir.

- **Denetimsiz öğrenme:** Giriş verilerinin bulunduğu ancak istenen çıktının bilinmediği, etiketlenmemiş veriler kullanılarak bir makine öğrenimi modelinin eğitilmesini içerir. Model, verilerdeki kalıpları ve ilişkileri keşfedebilir.

- **Takviyeli öğrenme:** Öğrenme sürecini yönlendirmek için ödüller ve cezalar kullanarak deneme yanılma yoluyla bir makine öğrenimi mo-

delinin eğitilmesini içerir.

Makine öğreniminin bileşenleri genellikle şunları içerir (Al-Jarrah vd., 2015):

- Veri: Bu, makine öğrenimi modelini eğitmek ve test etmek için kullanılan girdi verilerini ifade eder.
- Model: Bu, girdi verileri ile istenen çıktı arasındaki ilişkilerin matematiksel temsilini ifade eder.
- Algoritma: Bu, modeli eğitmek ve test etmek için kullanılan kurallar ve talimatlar kümesini ifade eder.
- Değerlendirme: Bu, modelin performansını ölçme ve iyileştirme alanlarını belirleme sürecini ifade eder.

Su pompalarının otomasyonunda ve su şebekelerinin yönetiminde makine öğrenimi tekniklerinin kullanılabilirliği çeşitli yollar vardır. Örneğin:

- Tahmine dayalı bakım: Makine öğrenimi algoritmaları, su pompalarının ve diğer ekipmanların ne zaman arızalanacağını tahmin etmek için sensörlerden ve akıllı sayaçlardan gelen verileri analiz etmek için kullanılabilir ve proaktif bakımın planlanmasını sağlar.
- Talep tahmini: Makine öğrenimi algoritmaları, su kullanım modelleriyle ilgili verileri analiz etmek ve gelecekteki talebi tahmin etmek için kullanılabilir, bu da su hizmetlerinin ağlarının işleyişini optimize etmesine ve israfı azaltmasına olanak tanır.
- Sızıntı tespiti: Makine öğrenimi algoritmaları, bir su dağıtım şebekesindeki bir sızıntıyı gösterebilecek desenleri belirlemek için sensörlerden ve akıllı sayaçlardan gelen verileri analiz ederek hızlı müdahale ve onarım sağlamak için kullanılabilir.

Velasco ve arkadaşları su dağıtım ağlarının yönetiminde makine öğrenimi sistemlerinin trendlerini ve uygulamalarını tanımlamışlardır. Makine öğrenimi, sürekli gelişen bir alandır ve gerçek endüstrilerde iyileştirmeler elde etme potansiyeli ve yeteneğine sahiptir. Su dağıtım ağlarını yöneten şirketlerin veri depolama eğilimi, makine öğrenimini uygulamaya yönelik birçok olasılık yaratmıştır. Çalışmaya göre özellikle, tarihi verilere dayalı boru arızalarının tahmin edilmesi, yenileme ve bakım görevlerinin optimal bir şekilde planlanmasına yardımcı olabilir (Velasco, 2021).

Fan ve arkadaşlarına göre yeraltı su boruları, çeşitli fiziksel, mekanik, çevresel ve sosyal faktörlerin etkisi altında bozulmaktadır. Su dağıtım ağları için önleyici bir yönetim stratejisi için güvenilir boru arızası tahmini önemlidir. Çalışmada, büyük bir su dağıtım ağının tarihi bakım veri kü-

mesi kullanarak su boru arızalarını tahmin etmek için veri odaklı makine öğrenimi modellerini uygulanmıştır (Fan vd., 2022).

Kurban'a göre eğer bir dalgıç pompa doğru işletim noktasında çalışmıyorsa verimi ciddi oranda düşer. Dalgıç pompalar sürekli olarak izlenemedikleri için verimli mi verimsiz mi çalıştığı tespit edilememektedir. Uzaktan izleme sistemine sahip dalgıç pompalarda ise operatörler uzman değilse genellikle pompa verimine ilişkin yorum yapamamaktadır. Bu durumda, enerji verimsizliği oluşur. İlgili çalışmada, anlık debi ve basma yüksekliği bilinen veya bir uzaktan izleme sistemi ile yazılımsal olarak takip edilebilen bir dalgıç pompaya sahip bir sondaj kuyusunun doğru işletim noktasında çalışan bir pompa ile yenilenmesi veya doğru frekansta çalışması halinde yani ideal durumda ne kadar enerji tüketeceğini belirleyebilen bir yapay zekâ regresyon modeli Microsoft Azure Machine Learning Studio bulut bilişim uygulamasında gerçekleştirilerek nesnelere interneti teknolojisi ile çalışan web tabanlı bir su yönetim sistemi uygulamasına gerçek-zamanlı olarak entegre edilmiştir. Sistemin başarıyla ideal enerji tüketimini belirleyebildiği ve operatörlere pompa seçim önerileri sunabildiği gösterilmiştir (Kurban, 2022).

## 7. Metasezgisel Optimizasyon Algoritmaları

Optimizasyon, belirli kısıtlamalar ve hedefler verildiğinde bir soruna en iyi çözümü bulma sürecini ifade eder (Chong ve Zak, 2013). Metasezgisel algoritmalar, tipik olarak rastgelelik içeren yöntemlerle iyi çözümler arayarak problemleri çözmek için doğadaki süreçlerden esinlenen bir algoritma sınıfıdır (Dokeroglu vd., 2018).

Metasezgisel bir algoritmanın bileşenleri tipik olarak şunları içerir (Durmus, 2021):

- Arama alanı: Bu, optimizasyon probleminin olası çözümlerinin kümesini ifade eder.
- Amaç fonksiyonu: Bu, arama uzayındaki farklı çözümleri değerlendirmek için kullanılan bir çözümün kalitesinin ölçüsünü ifade eder.
- Kısıtlar: Bunlar, uygulanabilir bir çözüm tarafından karşılanması gereken sınırlar veya koşullardır.
- Arama stratejisi: Bu, algoritmanın arama alanını keşfetmek ve iyi çözümler bulmak için kullandığı yöntemi ifade eder.

Metasezgisel algoritmalar, içme suyunun temini ve dağıtımındaki pompaların ve tankların otomasyonunda aşağıdakiler dahil bir dizi optimizasyon problemine uygulanabilir:

- Pompa programlama: Talep, enerji tüketimi ve bakım gereksinimleri gibi faktörleri hesaba katarak bir su dağıtım sistemindeki pompaların

ve tankların çalışmasını optimize etmek için sezgisel algoritmalar kullanılabilir.

- Enerji verimliliği: Talebi karşılamaya ve güvenilirliği sürdürmeye devam ederken enerji tüketimini en aza indirmek için pompaların çalışmasını optimize etmek için metasezgisel algoritmalar kullanılabilir.

- Kayıpların ve sızıntıların azaltılması: Büyüklük, konum ve su kalitesi üzerindeki etki gibi faktörlere dayalı olarak bir su dağıtım şebekesindeki sızıntıların onarımını belirlemek ve önceliklendirmek için metasezgisel algoritmalar kullanılabilir.

- Basınç regülasyonu: Metasezgisel algoritmalar, talep, topografya ve boru çapı gibi faktörleri hesaba katarak bir su dağıtım sisteminde optimum basınç seviyelerini korumak için pompaların ve tankların çalışmasını optimize etmek için kullanılabilir.

Liu ve arkadaşlarına göre bir bölgesel su dağıtım ağı, kentlerin gelişim sürecinde önemli bir rol oynar. Çalışmada, ekonomik maliyet ile güvenilirliğin bir arada amaçlandığı bir bölgesel su dağıtım ağının planlama optimizasyon modeli önerilmiştir. Optimizasyon problemini çözmek için modifiye edilmiş yapay balık sürü algoritması (MAFSA) önerilmiştir. Bu algoritma hidrolik bağlantıya göre yapay balık sürü algoritmasının (AFSA) araştırma görüntüsü ve başlangıç ağırlıklarını ayarlayarak çözümlenebilir. Bölgesel su dağıtım ağının deney sonuçları, MAFSA'nın diğer algoritmalara göre en yüksek güvenilirlikle en az maliyetle optimal çözümü etkili bir şekilde elde edebildiğini gösterilmiştir (Liu vd., 2019).

Swietochowska ve Bartkowska, su dağıtım sistemindeki değişiklikler, pompaj istasyonundaki basınç değişiklikleri ve pompa sayısı değişiklikleri gibi birçok kombinasyonu ele almışlardır. Su ağının analizi, alan testlerinin yapılması ve su dağıtım ağının bir modelinin oluşturulmasından sonra varyant analizi yapılmış ve pompaj istasyonu için en iyi optimizasyon yöntemi seçilmiştir. İzole alt bölgelerinin bağlanması ve pompaj istasyonundaki basınç değişiklikleriyle, pompaj istasyonlarının enerji tasarrufu sağlanmıştır (Swietochowska ve Bartkowska, 2022).

Sekmen ve arkadaşları, yapay arı koloni (ABC) algoritması ile içme suyu temininde kullanılan pompalarda enerji verimliliği amacıyla örnek bir içme suyu havzasında deneysel çalışmalar yapmışlardır. Kuyuların suyu bastığı toplama deposunun seviyesine göre en verimli pompanın seçimi ve frekans optimizasyonu için ABC algoritması oluşturulmuştur. Bu algoritma sayesinde ilgili su havzasındaki 16 adet dalgıç tip pompa bir yıl boyunca çalıştırılmış ve SCADA sistemi kullanılarak verim esaslı izleme ile işletim yöntemine göre enerji verimliliğinde önemli kazanımlar elde edilmiştir (Sekmen vd., 2021).

## 8. Sonuç

Su temin ve dağıtım sistemleri insanların, diğer canlıların ve endüstriyel sistemlerin hayatlarına devam edebilmeleri için büyük öneme sahiptir. Her geçen gün azalan su kaynaklarına karşın hem enerji verimliliği hem de su verimliliği amacıyla otomasyon sistemleri kullanılmaktadır. Endüstri 4.0 ile beraber gittikçe daha da küçülen ve ekonomik halen gelen elektronik izleme üniteleri ve sensörler bulut bilişim ile verileri internet ortamına ileterek nesnelerin internetini oluşturmaktadır. Makine öğrenimi ve optimizasyon teknikleri ile deneyimli operatörleri taklit eden yapay zekâ destekli su yönetim SCADA sistemleri ile su temin ve dağıtımını yüksek verimlilikle yönetilebilmektedir. Bu çalışmada, literatürden ve gerçekleştirilmiş uygulamalardan bahsedilmiştir. Ayrıca her bir bölüm içinde gelecek çalışmalar için birtakım öneriler sunulmuştur. İçme suyu temini ve dağıtımını sağlayan büyükşehir belediyelerine bağlı su ve kanalizasyon idarelerinin, belediyelerin, tarımsal sulama birliklerinin ve tarım işletmelerinin ayrıca prosesinde su kullanan tüm endüstriyel kurumların pompa, depo ve su şebekesi gibi birimlerini uzaktan izlemesi ve kontrol etmesi gerekmektedir. Böylece elde edilen verilerden oluşan büyük verinin analizi ile kuruma geri besleme sağlanması mümkün hale gelecektir. Tüm bunlarla beraber toplumsal farkındalık ve önleyici politikalar ile su kaynakları üzerindeki baskılar azaltılabilir ve su sürdürülebilirliği sağlanabilir.

## 9. Kaynakça

- Adedeji, K. B., Ponnle, A. A., Abu-Mahfouz, A. M., & Kurien, A. M. (2022). Towards Digitalization of Water Supply Systems for Sustainable Smart City Development—Water 4.0. *Applied Sciences*, 12(18), 9174.
- Al-Jarrah, O. Y., Yoo, P. D., Muhaidat, S., Karagiannidis, G. K., & Taha, K. (2015). Efficient machine learning for big data: A review. *Big Data Research*, 2(3), 87-93.
- Alam, T. (2021). Cloud-based IoT applications and their roles in smart cities. *Smart Cities*, 4(3), 1196-1219.
- Alloghani, M., Al-Jumeily, D., Mustafina, J., Hussain, A., & Aljaaf, A. J. (2020). A systematic review on supervised and unsupervised machine learning algorithms for data science. *Supervised and unsupervised learning for data science*, 3-21.
- Başbakanlık Mevzuat Geliştirme ve Yayın Genel Müd. (2015). Erişim tarihi: 20 Aralık 2022, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/07/20150716-13.htm>
- Bogardi, J. J., Dudgeon, D., Lawford, R., Flinkerbusch, E., Meyn, A., Pahl-Wostl, C., & Vörösmarty, C. (2012). Water security for a planet under pressure: interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(1), 35-43.
- Chacón, E., Cruz Salazar, L. A., Cardillo, J., & Paredes Astudillo, Y. A. (2021). A control architecture for continuous production processes based on industry 4.0: water supply systems application. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(7), 2061-2081.
- Chong, E. K., & Zak, S. H. (2013). *An introduction to optimization (Vol. 75)*. John Wiley & Sons.
- Cosgrove, W. J., & Loucks, D. P. (2015). Water management: Current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, 51(6), 4823-4839.
- Damkjaer, S., & Taylor, R. (2017). The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46(5), 513-531.
- Dokeroglu, T., Sevinc, E., Kucukyilmaz, T., & Cosar, A. (2019). A survey on new generation metaheuristic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106040.
- Durmus, A. (2021). The concentric elliptical antenna array patterns synthesis using marine predators algorithm. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(10), 9485-9495.
- Fan, X., Wang, X., Zhang, X., & Yu, P. A. X. B. (2022). Machine learning based water pipe failure prediction: the effects of engineering, geology, climate and socio-economic factors. *Reliability Engineering & System Safety*, 219, 108185.



- Galuppini, G., Creaco, E., & Magni, L. (2020). Bi-objective optimisation based tuning of pressure control algorithms for water distribution networks. *Control Engineering Practice*, 104, 104632.
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., Van der Ploeg, M., & Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. *International soil and water conservation research*, 3(1), 57-65.
- Gezer, A., & Erdem, A. (2018). Su stresi, su kıtlığı ve su tasarrufu hakkında halkın farkındalığının belirlenmesi: Akdeniz Üniversitesi örnek çalışması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(2), 113-122.
- Gonçalves, R., JM Soares, J., & MF Lima, R. (2020). An IoT-based framework for smart water supply systems management. *Future Internet*, 12(7), 114.
- Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., & Noble, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495(7441), 305-307.
- Jamsa, K. (2022). *Cloud computing*. Jones & Bartlett Learning.
- Kavis, M. J. (2014). *Architecting the cloud: design decisions for cloud computing service models (SaaS, PaaS, and IaaS)*. John Wiley & Sons.
- Kırtorun, E. & Karaer, F. (2018). Su Yönetimi ve Suyun Sürdürülebilirliği. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1 (2), 151-159.
- Kurban, R., Güner, M., & Kütük, A. (2020). İçme Suyu Temin Sistemlerinin SCADA Sistemleri ile Uzaktan Kontrolü ve Pompaların Hidrolik Analizi, 10. Pompa, Vana ve Kompresör Kongresi, Ankara, 113-117.
- Kurban, R. (2022). Anlık Debi ve Basma Yüksekliği Kullanarak Dalgıç Pompaların İdeal Verimlerinin Yapay Zekâ Teknikleri ile Tahmini, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Entegre Su Yönetimi Anabilimdalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Kütük, A., Kurban, R., Anlatıcı, M., Koç, Ç., Pehlivan, N. (2019). Tarımsal Sulamada Enerji Verimliliği Raporu, YAS Sahalarında Su ve Enerji Kullanımının Araştırılması ve Verimliliğinin Arttırılması Projesi, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Konya Ovası Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Konya.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6(4), 239-242.
- Liu, Y., Tao, Z., Yang, J., & Mao, F. (2019). The modified artificial fish swarm algorithm for least-cost planning of a regional water supply network problem. *Sustainability*, 11(15), 4121.
- Loucks, D. P., & Van Beek, E. (2017). *Water resource systems planning and management: An introduction to methods, models, and applications*. Springer.
- Maroli, A. A., Narwane, V. S., Raut, R. D., & Narkhede, B. E. (2021). Framework

for the implementation of an Internet of Things (IoT)-based water distribution and management system. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(1), 271-283.

Robles Velasco, A., Muñuzuri, J., Onieva, L., & Rodriguez Palero, M. (2021). Trends and applications of machine learning in water supply networks management. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14 (1), 45-54.

Sarıkaya, M. S., Kuş, Ç., Aydın, A., Biçer, İ.H., Öztürk, İ., Fırat, M., Özgün, H. (2022). Büyükşehir Su ve Kanalizasyon İdareleri Arasında Mukayeseli Performans Değerlendirmesi (Faz 3), Türkiye Su Enstitüsü, İstanbul.

Sekmen, U., Yılmaz, M., Özdemir, Ö., Karaboğa, D., Kurban, R., & Yıldız, Ö. (2021). Su Temin Sistemlerinde Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile Enerji Verimliliği Optimizasyonu Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, ULIBTK 2021, Gaziantep, Türkiye.

Shafiee, M. E., Barker, Z., & Rasekh, A. (2018). Enhancing water system models by integrating big data. *Sustainable cities and society*, 37, 485-491.

Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014). Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. In 2014 IEEE international conference on industrial engineering and engineering management (pp. 697-701). IEEE.

Świętochowska, Martyna, and Izabela Bartkowska. "Optimization of Energy Consumption in the Pumping Station Supplying Two Zones of the Water Supply System." *Energies* 15, no. 1 (2022): 310.

Tsakiris, G. (2014). Rational design of urban water supply and distribution systems. *Water Util J*, 8, 5-16.

Vanham, D., Hoekstra, A. Y., Wada, Y., Bouraoui, F., De Roo, A., Mekonnen, M. M., ... & Bidoglio, G. (2018). Physical water scarcity metrics for monitoring progress towards SDG target 6.4: An evaluation of indicator 6.4.2 "Level of water stress". *Science of the total environment*, 613, 218-232.

Wortmann, F., & Flüchter, K. (2015). Internet of things. *Business & Information Systems Engineering*, 57(3), 221-224.

Zhou, Z. H. (2021). *Machine learning*. Springer Nature.

## **BÖLÜM 5**

### **MRI VE BT GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİYLE BEYİN TÜMÖRÜNÜN TEŞHİS VE SINIFLANDIRILMASINDA KULLANILAN DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARININ İNCELENMESİ**

*Aynur SEVİNÇ<sup>1</sup>, Buket KAYA<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Öğr. Gör. Dicle Üniversitesi Silvan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü/ Bilgisayar Programcılığı Programı E-mail: sevinc.aynur03@gmail.com

<sup>2</sup> Doç. Dr. Fırat Üniversitesi Elazığ Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu/ Elektronik Teknolojisi Programı E-mail:bkaya@firat.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Son zamanlarda bilgisayarlı görme ve makine öğrenimiyle ilgili çalışmalar yaygın bir araştırma alanı bulmuştur. Biyomedikal alanda görüntü işleme, bu alanların başında gelmektedir. Görüntü işleme, görüntüler üzerinde ayrıntılı olarak gerçekleştirilen işlemler dizisidir ve tıbbi görüntülerin işlenmesinde ve tıbbi görüntülerin analizi ve sınıflandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Tıp alanında yapay zekânın en hızlı ilerlediği konu olarak ilk sırayı, radyoloji ve görüntüleme teknikleri almaktadır. Bilgisayarlı Tomografi (BT) ve Manyetik Rezonans (MR) gibi statik görüntüleme yöntemlerinde yapay zekâ uygulamaları oldukça kolay ve hızlı bir şekilde kullanılmaktadır (Baran, 2019). Görüntü yorumlama cephesinde, makine öğrenimindeki, özellikle derin öğrenme alanındaki son gelişmeler, biyomedikal görüntülerdeki kalıpların tanımlanması, sınıflandırılması ve nicelenmesine yardımcı olmak için büyük bir adım atmıştır. Görüntü işleme, görüntülerin kalitesini güçlendirmek için bir dizi görüntü prosedürünün kullanıldığı sağlam bir tekniktir. Görüntü prosedürü, görüntü özelliklerini çıkarmak için kullanılır (Taghadomi-Saberi ve Hemmat, 2015).

Derin öğrenme özellikle son on yılda popüler hale gelmiş ve çeşitli sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Derin öğrenme (Deep Learning-DL), büyük miktarda veriyi işleme yeteneği nedeniyle her alanda dikkat çekici sonuçlar gösteren makine öğrenmesinin bir alt alanıdır. Sağlık alanındaki kullanımı da giderek artan DL, şu anda sınıflandırma, segmentasyon ve kayıt gibi tıbbi görüntü analizi görevleri için başarıyla kullanılmaktadır (Lee ve diğerleri, 2017). Derinlik, verileri işlemek ve örüntüyü tanımak için kullanılan düğüm katmanlarının sayısı, derin öğrenmeyi görüntü tabanlı olmayan sinir ağlarından ayıran en önemli özelliktir. Düğümleri, önceki çalışmaların çıktısına dayalı olarak farklı bir dizi özellik üzerinde eğitmek, derin sinir ağlarının bir diğer önemli özelliğidir (Jing ve diğerleri, 2018). Bu tip yeni yaklaşımlar, otomatik medikal karar verme sistemleri için gereklidir, çünkü otomatik olmayan süreçler daha pahalı olmakla birlikte yoğun emek ister ve bu nedenle de insandan kaynaklı hatalara maruz kalır (Karabulut, 2016). Bu özelliklerinden dolayı DL, tıbbi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kayaalp ve Süzen, 2018).

Görüntü işleme teknikleri, kontrast geliştirme gibi görevlerle görüntülerin kalitesini artırmak ve ayrıca görüntülerin klinisyenler tarafından yorumlanmasına yardımcı olmak için görüntü analizinde kullanılmıştır. Otomatik ve yarı otomatik görüntü analizi yöntemleri, insan operatörleri sıkıcı görüntü yorumlama görevlerinden kurtararak zamandan tasarruf sağlar, doğruluğu artırır ve klinisyenler tarafından tıbbi bir prosedürü

gerçekleştirmek için gereken yorumlama görevinin güvenilirliğini artırır (Toennies, 2012). Görüntü işleme teknikleri günümüzde hastalıklı bölgeyi tespit etmek için sıklıkla kullanılmaktadır.

Birçok kanser türü arasında beyin kanseri ölümcül bir kanserdir. İstatistikler, 2019'da beyin tümörlerinden kaynaklı yaklaşık 17.760 yetişkinin öldüğünü göstermektedir (Amerikan Klinik Onkoloji Derneği-ASCO, 2019). Kanser korkunç durumu ve anormal büyümesi ve beyin yapısının karmaşıklığı nedeniyle, zamanında teşhis gereklidir. Son birkaç yılda tıp pratisyenlerine hastalığın türünü ve yerini tespit etmede yardımcı olan farklı tıbbi görüntüleme teknikleri ortaya çıkmıştır. Tıbbi görüntüleme başlangıçta tanı amaçlı kullanılırken, günümüzde Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) teknolojisi ve 3 boyutlu baskının ortaya çıkmasıyla sağlık hizmetleri devrim yaratmış ve böylece, Bilgisayarlı Tomografi (BT) ve Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI), üç boyutlu bir hesaplamalı model oluşturmak için CAD yazılımı ile işlenecek ayrıntılı anatomik görüntüler sağlamıştır. Bu model, cerrahların hasta anatomisini daha somut bir şekilde görmelerine ve ameliyatı yalnızca sanal görünümde değil, aynı zamanda fiziksel 3d baskılı modelde de planlama ve simüle etmelerine olanak tanımaktadır (Liu ve diğerleri, 2006).

Sağlık alanında derleme çalışmalarının önemi gittikçe önem kazanmaktadır. Uzmanlık alanlarında klinisyenler bilgilerini güncel tutmak için derleme makalelerinden sıklıkla faydalanmakta ve kılavuz oluştururken başlangıç noktasında bu makaleleri kullanmaktadırlar (Gülpınar ve Güçlü, 2013). Bir tarama şeklinde gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, beyin MR ve BT görüntülerinin sınıflandırılması noktasında derin öğrenme yaklaşımlarının uygulandığı mevcut çalışmaların incelenerek bu çalışmaların ayrıntılı bir analizini sunmaktır. Bu kapsamda ilk bölümde, MR ve BT gibi uzun süredir kullanılan görüntüleme sistemlerinin yapay zeka destekli geliştirilmiş versiyonları hakkında bilgi verilmekte ve çalışmanın kavramsal çerçevesi açıklanmaktadır. Bunun yanında beyin tümörlerinin tespit edilmesi ve sınıflandırılmasında bu kavramların rolüne vurgu yapılmaktadır. İkinci bölümde, ise çalışmanın metodolojisi açıklanmış ve son bölümde tüm inceleme özetlenmiştir.

### **1.1. Çalışmanın Amacı ve Katkıları**

Çalışmanın temel amacı, beyin tümörlerinin erken teşhis ve sınıflandırılmasında kullanılan derin öğrenme modellerinin elde edilen performans sonuçlarına etkisini karşılaştırmalı olarak incelemek ve bulguların ayrıntılı bir eleştirel analizini sunmaktır. Vücuttaki kanserli bölgenin erken sürede teşhisi sağlık alanında en çok ihtiyaç duyulan durumlardan biridir. Erken teşhis kanserde hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda, derin öğrenmenin son zamanlarda beyin tümörü tespiti ve sınıflandırılmasına yönelik yapılmış çalışmalar hakkında kısa bilgiler sunulmuştur.

Bu derleme makalesi öncelikle, beyin tümörünün teşhis ve sınıflandırılması alanındaki güncel gelişmeleri ortaya çıkarması açısından önemlidir. Mevcut yöntemlere kıyasla görüntüler üzerinde derin öğrenme yaklaşımlarının uygulandığı çalışmaların zaman ve performans açısından katkısı bu çalışma ile sunulmaktadır. Bununla birlikte, derin öğrenme modelleri içinde performans düşürücü faktörlerin tespit edilmesi çalışmanın bir diğer katkısıdır. Ayrıca, incelenen çalışmalara dayalı olarak verimli tam otomatik bir sınıflandırma algoritması geliştirmeye yardımcı olması bakımından araştırmacılara yol göstereceği de düşünülmektedir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASININ KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

### 2.1. Beyin Tümörü Teşhis ve Sınıflandırılması

Beyin tümörü temel olarak, beynin içinde kontrolsüz bir şekilde büyümeye başlayan canlı ve ölü hücrelerin kütle benzeri bir yapısıdır (Sahoo ve diğerleri, 2020a; Mudda ve diğerleri, 2020; Kaur ve Gill, 2017). Beyin tümörü, kökenlerine göre birincil ve ikincil olmak üzere iki tipten oluşur. Birincil beyin tümörleri beynin içinde ortaya çıkarken ikincil tümörler vücudun başka bir yerinde gelişir ve daha sonra beyne doğru ilerler (Sharif ve diğerleri, 2020a; Swapnil ve Girish, 2020; Kumari ve Saxena, 2018). Görüntüleme testleri, doktorların tümörün birincil beyin tümörü olup olmadığını veya vücudun başka bir yerinden beyne yayılmış bir kanser olup olmadığını öğrenmesine yardımcı olabilir. Görüntüleme testleri vücudun içinin resimlerini gösterir. Hekim bir teşhis testi seçerken şu faktörleri göz önünde bulundurabilir (ASCO, 2021):

- Şüphelenilen tümörün türü
- Belirtiler ve semptomlar
- Yaş ve genel sağlık durumu
- Daha önceki tıbbi testlerin sonuçları

Çoğu beyin tümörü, semptomlar ortaya çıktıktan sonra teşhis edilir. Genellikle bir beyin tümörü ilk önce bir dahiliyeci veya bir nörolog tarafından teşhis edilmektedir. Dahiliye uzmanı, yetişkinlerin tedavisinde uzmanlaşmış bir doktordur. Bir nörolog, beyin ve merkezi sinir sistemi ile ilgili problemlerde uzmanlaşmış bir doktordur. Hastadan ayrıntılı bir tıbbi öykü isteyip fizik muayene yapmasının yanı sıra doktor aşağıda açıklanan testleri önerebilir. Bu testler, bir beyin tümörünün varlığını ve bazen türünü veya derecesini bulmaya yardımcı olur (Amerikan Klinik Onkoloji Derneği, 2021).

Şiddetine göre beyin tümörü iyi huylu ve kötü huylu olmak üzere iki kategoriye ayrılır (Panda ve Panda, 2019). İyi huylu tümörler, yavaş büyümeleri, normal görünüşleri ve düzenli sınırlara sahip olmaları anlamında

daha az agresifken, kötü huylu tümörler büyümeleri çok hızlı olduğu için yaşamı tehdit edebilecekleri anlamında agresiftirler ve çok düzensiz bir şekilde sahiptirler (Kapoor ve Thakur, 2017b). Dünya sağlık örgütü (WHO), tümörün kimyasal ve fiziksel özelliklerini göz önünde bulundurarak malign tümörleri dört farklı sınıfa yerleştirmiştir. Derecelendirme kriterleri aşağıda Şekil 1'de açıklanmaktadır (Nadeem ve diğerleri, 2020).



Şekil 1. Beyin tümörünün derecelendirme kriterleri (Tandel ve arkadaşları, 2019).

## 2.2. Beyin Tümörü Sınıflandırma Sisteminde Güncel Gelişmeler

Radyologlar beyin tümörü teşhisi ve yönetiminde kilit bir rol oynamaktadır. Hasta bakımını ilerletmek ve diğer sağlık hizmeti sağlayıcıları ile iletişim kurmak için bu alandaki gelişmelerden haberdar olmalıdır. 2016 yılında, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), beyin tümörü sınıflandırma sisteminde çok sayıda önemli değişiklik içeren bir güncelleme yayınlamıştır. Çoğu değişiklik, son on yılda oluşturulan moleküler patolojinin sonuçlarından gelişmiştir. Oligoastrositom, ilkel nöroektodermal tümör ve gliomatozis serebri gibi daha önce kabul edilen birkaç beyin tümörü teşhisi yeniden tanımlanmış veya tamamen ortadan kaldırılmıştır. Tersine, yaygın *leptomeningeal glionöronal tümör* ve *serebrumun multinodüler ve vakuolatör tümörü* dahil olmak üzere birçok yeni varlık tanınmıştır (Johnsan ve arkadaşları, 2017).

Merkezi Sinir Sistemi (CNS) tümörlerinin güncellenmiş 2016 WHO sınıflandırması, yeni bir nöropatoloji teşhisi konsepti getirmiştir. Molekü-

ler parametreler artık birçok varlığın tanımına dahil edilmiştir. Önceden tamamen histolojiye dayalı bir sınıflandırmadan entegre bir histoloji ve genetik özellikler yaklaşımına doğru olan bu evrim, günlük teşhis ve klinik uygulamada çıkarımlara sahiptir. Hem nöropatologlardan talep edilen tanısız çalışma yelpazesi hem de klinisyenler ve klinik araştırmacılar tarafından dikkate alınması gereken ilgili belirteçlerin yelpazesi artmıştır (Martinez-Lage ve Sahm, 2018).

İlk kez, beyin tümörlerinin WHO sınıflandırması yalnızca histolojiye dayalı değildir. Moleküler parametreler, bir dizi tümör varlığının tanımına katkıda bulunur. Özellikle gliomlar, medulloblastomlar ve diğer embriyonal tümörler bölümleri yeniden yapılandırılmıştır (Schulz-Schaeffer, 2017). Beyin tümörlerinin sınıflandırmasına, daha düşük bir seviyede tamamen morfolojik temelli bir teşhise izin verirken, en yüksek teşhis seviyesinde “entegre bir teşhis” için moleküler özelliklerin dahil edilmesini kısmen zorlayan “katmanlı teşhis” kavramı getirilmiş ve bu bağlamda, moleküler tahlillerin geniş kullanılabilirliği tartışılmıştır.

Güncellenen 2016 WHO CNS tümör sınıflandırma sisteminde, bazı tümörler mikroskopik morfolojik ve moleküler ve genetik faktörlerin bir kombinasyonu ile tanımlanırken, diğerleri sadece morfoloji ile tanımlanmaya devam etmektedir. Tümör tanımında moleküler ve genetik faktörlerin artan kullanımına yönelik mevcut eğilimin, hem CNS tümörleri için hem de daha genel olarak tümör sınıflandırması için devam etmesi muhtemeldir (Johnson ve diğerleri, 2017).

### **2.3. Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) ve Bilgisayarlı Tomografi (BT)**

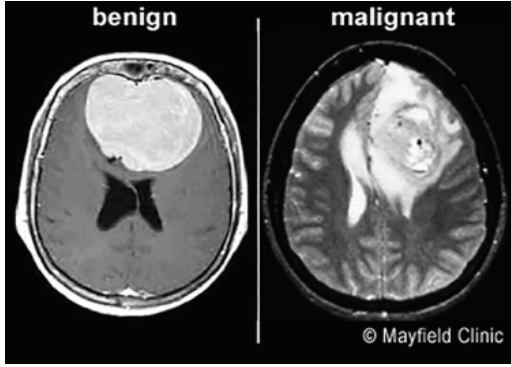
Genel olarak, bir beyin tümörünün teşhisi manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ile başlar. MRI beyinde bir tümör olduğunu gösterdiğinde, beyin tümörü tipini belirlemenin en yaygın yolu biyopsi veya ameliyattan sonra bir doku örneğinin sonuçlarına bakmaktır. Bir MRI, vücutta detaylı görüntüler üretmek amacıyla x-ışınlarını değil manyetik alanlar kullanmaktadır. Tümör boyutunu ölçmek amacıyla MRI kullanılabilir. Daha belirgin bir resim ortaya koymak için tarama öncesinde kontrast madde olarak adlandırılan özel bir boya verilir. Bu boya hastanın damarına enjekte edilebilmekte ya da yutulması için hap şeklinde veya sıvı olarak da verilebilmektedir. MRG'ler, BT taramalarından daha ayrıntılı resimler oluşturur ve bir beyin tümörünü teşhis etmenin tercih edilen yoludur. MRG, şüphelenilen tümörün tipine ve CNS'de yayılma olasılığına bağlı olarak beyin, omurilik veya her ikisine ait olabilir. Farklı MRI türleri vardır. Dahiliye uzmanı veya nörolog tarafından yapılan bir nöro-muayenenin sonuçları, hangi tip MRG'nin kullanılacağını belirlemeye yardımcı olur. Bu MRI türleri aşağıda açıklanmaktadır (ASCO, 2021).



- İntravenöz (IV) gadolinyumla güçlendirilmiş MRG tipik olarak bir beyin tümörünün daha net bir resmini oluşturmaya yardımcı olmak için kullanılır. Bu, bir hastaya ilk önce düzenli bir MRG'si olduğu ve daha sonra IV yoluyla gadolinyum adı verilen özel bir kontrast madde tipi verildiği zamandır. Ardından, boyayı kullanarak başka bir dizi resim elde etmek için ikinci bir MRI yapılır.
- "Difüzyon ağırlıklı görüntüleme" adı verilen bir MRI tekniği, beyin hücresel yapısını göstermeye yardımcı olur. "Perfüzyon görüntüleme" adı verilen başka bir teknik, tümöre ne kadar kan ulaştığını gösterir. Bu yöntemler, doktorların tedavinin ne kadar iyi çalışacağını tahmin etmelerine yardımcı olabilir.
- Omurga üzerinde veya yakınında bir tümörü teşhis etmek için bir spinal MRI kullanılabilir.
- İşlevsel bir MRI (fMRI), beyin kas hareketi ve konuşmadan sorumlu olan belirli alanlarının konumu hakkında bilgi sağlar. fMRI incelemesi sırasında hastadan beyinde değişikliklere neden olan ve fMRI görüntüsünde görülebilen belirli görevleri yapması istenir. Bu test ameliyatı planlamaya yardımcı olmak için kullanılır, böylece cerrah tümörü çıkarırken beyin fonksiyonel kısımlarına zarar vermekten kaçınabilir.
- Manyetik rezonans spektroskopisi (MRS), beyin kimyasal bileşimi hakkında bilgi sağlayan MRI kullanan bir testtir. Önceki radyasyon tedavilerinin neden olduğu herhangi bir ölü doku ile beyindeki yeni tümör hücreleri arasındaki farkı söylemeye yardımcı olabilir.

Bilgisayarlı tomografi (BT), kanseri tespit etmek ve ilerlemesini izlemek için geleneksel yöntemlerden biridir. Tümörün boyutunu ve şeklini belirlemeye yardımcı olur, BT taramaları invaziv olmayan bir işlemdir, herhangi bir ağırlı adım içermez ve 10-30 dakika sürer. BT taramaları, bilgisayar tarafından üretilen kemikler, organlar ve yumuşak dokular gibi vücudun enine kesit görüntüleri olduğundan, BT büyük ölçüde daha ayrıntılı görüntü sağlayan x-ışınları kullanılarak yapılır. Tarama sonuçları, tümör hücreleri için besin kaynağı olarak hareket eden kan damarlarını tanımlamak için net görüntüler elde etmeye yardımcı olur. BT kılavuzluğunda biyopsi, belirli bir doku çiftini çıkarmak için iğneleri tek tek tümör konumlarına yönlendirmek için BT taramalarını kullanır. BT taramaları ayrıca, tümörü yok etmek için ısının kullanıldığı radyofrekans ablasyon (RFA) adı verilen bir işlemle birlikte tümör üzerine potansiyel kanser tedavi edici ilaçları enjekte etmek için de kullanılabilir (Amerikan Kanser Derneği, 2015). Görüntüleme testleri, doktorların tümörün birincil beyin tümörü olup olmadığını veya vücudun başka bir yerinden beyne yayılmış bir kanser olup olmadığını tespit etmesine yardımcı olabilir.

BT taraması, farklı açılardan alınan x-ışınlarını kullanmakta ve vücut içinin fotoğraflarını çekmektedir. Bu resimleri bir bilgisayar, herhangi bir anormallik ya da tümör gösteren detaylı, 3 boyutlu bir görüntü üzerinde birleştirmektedir. BT taraması, beyindeki ventrikül adı verilen sıvı dolu boşlukların kanamasını ve genişlemesini bulmaya yardımcı olabilir. Kafatasındaki kemikteki değişiklikler BT taramasında da görülebilir ve bir tümörün boyutunu ölçmek için kullanılabilir. Hastanın kalbi için kalp pili olması gibi, hastanın MRI'sı yoksa BT taraması da kullanılabilir. Bazı durumlarda, görüntünün daha iyi detaylandırılması için tarama öncesinde bir kontrast madde verilerek, bu boya hastanın damarına enjekte edilebilmekte ya da yutulması için hap şeklinde veya sıvı olarak da verilebilmektedir. Şekil 2, iyi huylu (benign) ve kötü huylu (malignant) olarak sınıflandırılan beyin tümörünün MRI görüntüsünü vermektedir.



Şekil 2. İyi huylu ve kötü huylu beyin tümörünün MRI taramaları

#### 2.4. Beyin Tümörü Araştırmalarında Halka Açık Veri Seti Sağlayan Veri Tabanları

*BRATS*: Multimodal manyetik rezonans görüntüleme (MRI) taramalarında, *BRATS* her zaman beyin tümörü segmentasyonu için en son teknikleri değerlendirmeye odaklanmıştır. Halka açık veri kümelerinin mevcudiyeti ve iyi kabul görmüş *BRATS* kıyaslaması son zamanlarda araştırmacılara mevcut teknikleri kullanarak yaklaşımlarını eleştirel bir şekilde geliştirmek ve değerlendirmek için popüler bir araç sağlamaktadır (Agrawal, Katal & Hooda, 2022). *BRATS* testi, yıllık olarak düzenlenir ve veriler Pennsylvania Üniversitesi Biyomedikal Görüntü Hesaplama ve Analitik Merkezi (CBICA) tarafından yayınlanır. Glioblastoma hastalarının klinik olarak edinilmiş 3D MRI taramalarını içerir. *BRATS* 2021 verileri, toplam 2040 vakanın (1251 eğitim, 219 doğrulama ve 570 test) ameliyat öncesi multi-parametrik MRI taramalarını içermektedir. MRI beyin tarama modaliteleri; T1 ağırlıklı, kontrastlı T1 ağırlıklı, T2 ağırlıklı ve T2 flair dizilerini içermektedir (Fernando & Tsokos, 2022).

*KAGGLE*: Google LLC'nin bir yan kuruluşu olarak kabul edilen Kaggle, veri bilimcilerle birlikte makine öğrenmesi uygulayıcılarından oluşan bir çevrimiçi platformdur. Kaggle ilk olarak 2010 yılında makine öğrenimi yarışmaları sunarak başlatılmış ve şimdi bir genel veri platformu, veri bilimi için bulut tabanlı bir çalışma tezgahı ve yapay zeka eğitimi sunmaktadır (Wikipedia, 2022). Beyin tümörü gibi hastalık tespiti çalışmalarını için ihtiyaç duyulan tüm kod ve veriler Kaggle içinde mevcuttur.

*FIGSHARE*: Disiplinlerarası yüklemeleri kabul eden bir veri paylaşımı platformudur. Araştırmacıların şekiller, veri kümeleri, resimler ve videolar dahil olmak üzere araştırma çıktılarını saklayabilecekleri ve paylaşabilecekleri çevrimiçi bir açık erişim deposu olan Figshare'e, açık veri ilkesine bağlı olarak, içerik yüklenebilir ve ücretsiz erişilebilir.

*Tıbbi Segmentasyon Dekatlonu (MSD)* : MSD, çok sayıda klinik görev ve odaklanan bir biyomedikal görüntü analizi mücadelesidir (Simpson ve diğerleri, 2019). Görüntü analizi algoritmalarının genelleştirilebilirliğini doğrulamak ve test etmek için bir ölçüt görevi gören büyük, açık kaynaklı tıbbi görüntüleme veri setleri içerir. Beyin tümörü veri seti, glioma teşhisi konan hastaların multi-modal (FLAIR, T1w, T1gd, T2w) MRI taramalarından oluşur. Veriler, birden fazla klinik merkezden elde edilir ve 750 hastadan oluşan bir kohort için (484 eğitim için ve 266 test için) 4D hacimsel MRI taramalarını içerir.

*Birleşik Tümör Segmentasyon Mücadelesi (FETS)* : FETS, 2021'de başlayan birleşik öğrenmedeki ilk zorluktur (FETS 2021). FETS 2022 yarışması, birden fazla kurumdan klinik olarak elde edilen taramalara ek olarak, BRATS 2021 yarışmasındaki çok kurumlu, çok parametrik MRI (mpMRI) taramalarından yararlanır.

## 2.5. Derin Öğrenme

Derin Öğrenme (Deep Learning-DL), büyük miktarda veriyi işleme yeteneği nedeniyle biyomedikal başta olmak üzere her alanda dikkat çekici sonuçlar gösteren makine öğrenmesinin bir alt alanıdır. Çok katmanlı sinir ağlarını kullanarak verileri yorumlamak için insan beyninin işlevini taklit eder (Mao, Wang, Tang ve Qian, 2019). DL kapsamında sayılacak ilk çalışmalar Ivakhnenko ve Lapa tarafından 1965 yılında yayınlanmıştır. Ivakhnenko'dan sonra önerilen ilk DL mimarisi Fukushima tarafından 1979 yılında önerilen "Neokognitron'dır" (Şeker, Diri ve Balık, 2017).

Son yıllarda, "derin öğrenme" terimi altında toplanan algoritmalar ailesi yapay zekâyı kökten değiştirerek makinelerin birçok karmaşık bilişsel görevde insan benzeri performanslara ulaşmasını sağlamıştır (Perconti ve Plebe, 2020). Derin öğrenme mimarileri, son gelişmelerle beraber temelde mühendisliğin hedefleri dikkate alınarak geliştirilmiştir. 2012 yılında,

Toronto Üniversitesi'nde derin öğrenmenin mucidi Geoffrey Hinton liderliğindeki grup, en zorlu görüntü sınıflandırma yarışması olan ImageNet'i kazanmıştır. 2016 yılında Demis Hassabis tarafından kurulan ve kısa süre sonra Google tarafından satın alınan DeepMind şirketi, satrançtan çok daha karmaşık olan Çin satranç tahtası oyunu *Go'nun* dünya şampiyonu olmuştur (Silver ve diğ., 2016).

#### 2.4.1. Derin Öğrenme Mimarileri

Görüntüler, metinler, sinyaller ve zaman serileri gibi çeşitli veri türlerini analiz etmek için farklı derin öğrenme mimarileri kullanılır. Derin öğrenme yöntemleri, verilerden özellikler çıkarır ve bunları katmanları aracılığıyla analiz eder. YSA'daki katman sayılarının artırılmasına bağlı olarak farklı türde derin öğrenme mimarileri bulunmaktadır. Kullanılan bu mimariler aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

#### 2.4.2. Konvolüsyonel Sinir Ağları

Evrişimli Sinir Ağı (*Convolutional Neural Networks-CNN*), giriş veri özelliklerini eşlemek için evrişimli katmanları kullanan bir derin öğrenme mimarisidir. Katmanlar, farklı özellik eşlemeleri üretmek için farklı filtre boyutları uygulanarak düzenlenir. CNN, özellik eşleme sonuçlarına dayalı olarak giriş verileri hakkında bilgi alabilir. Bir havuzlama katmanı, farklı filtrelerle bile tam çıktı boyutlarını üretmek için genellikle evrişim katmanına eşlik eder. Havuzlama katmanı, temel bilgileri kaybetmeden çıktı boyutlarını azaltarak hesaplama yükünü de hafifletir (Lopez ve Kalita, 2017).

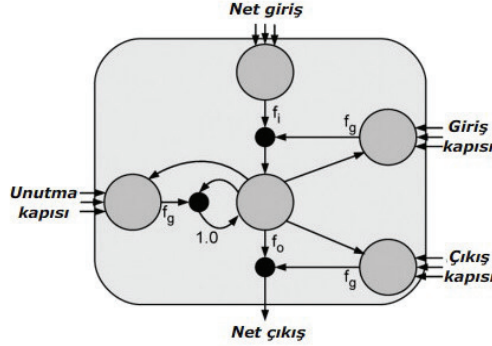
#### 2.4.3. Tekrarlayan Sinir Ağları

Tekrarlayan sinir ağları (*Recurrent Neural Networks-RNN*), zaman serisi verilerini ve diğer sıralı verileri işlemek için doğal olarak uygun olan geri besleme bağlantılı bir sinir ağları sınıfıdır. RNN'ler ve biyolojik sinir devreleri arasında birçok temel benzerlik vardır: Birincisi, RNN birimleri doğrusal değildir ve sayısızdır. İkincisi, ünitelerin devre içinde geçici dinamik davranış üretmelerine izin veren geri besleme bağlantıları vardır. Üçüncüsü, bireysel birimler basittir, bu nedenle karmaşık hesaplamaları uygulamak için paralel ve dağıtılmış bir şekilde birlikte çalışmaları gerekir. RNN'lerin hem dinamik hem de hesaplama özellikleri, onu sistem sinirbiliminin mekanizmalarını incelemek için ideal bir model haline getirir (Mante ve diğerleri, 2013; Rajan ve diğerleri, 2016; Sussillo, 2014).

#### 2.4.4. Uzun Kısa Dönemli Bellek

Uzun Kısa Süreli Bellek (*Long/Short Term Memory-LSTM*), özel bir tekrarlı sinir ağı türüdür. LSTM, tekrarlı gizli katmandaki bellek blokları ve tekrarlı bağlantılar nedeniyle genellikle ileri beslemeli ve tekrarlı sinir ağlarından çok daha güçlü olduğu kabul edilmektedir (Thies ve diğerleri,

2014). LSTM, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde de oldukça etkilidir (Zhang ve diğerleri, 2014; Sun, Chen, Wang ve Tang, 2014). LSTM ağı, öğrenme oranını düzenler ve büyük veri dizileri için daha uygundur. Geleneksel RNN ile karşılaştırıldığında, LSTM ağlarının yenilikçi kısmı, kaybolan gradyan sorununu ele alan ve algoritmanın hangi bilgilerin depolanması ve neyin kaldırılması gerektiğini daha hassas bir şekilde kontrol etmesini sağlayan “üç kapı” uygulamasıdır (Gers ve diğerleri, 2000). Üç kapı; giriş kapısı, unutma kapısı ve çıkış kapısıdır (Şekil 3).

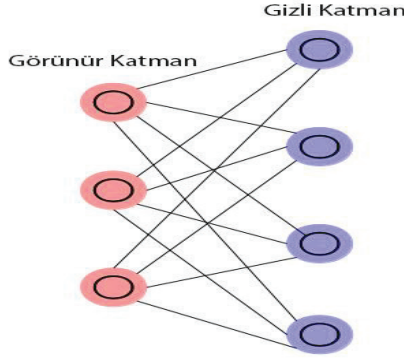


Şekil 3. Bir bellek hücresinden oluşan LSTM bellek bloğu

#### 2.4.5. Kısıtlı Boltzmann Makineleri

Botlzman makineleri (BM), stokastik sonuçlar üreten ve yapay sınırlardan meydana gelen simetrik bağlantılı ağ yapısıdır. BM'ler pozitif ve negatif olmak suretiyle iki fazdan oluşmakta ve özyinelemeli yapısı bulunmaktadır. Pozitif fazda YSA'ya girdi katmanından girdi verileri verilirken negatif fazda herhangi bir girdi verisi verilmemektedir. BM, karmaşık verilerdeki gizli öznelikleri bulmak için kullanılan bir YSA modelidir.

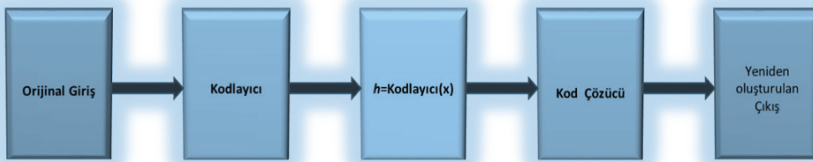
BM'lerin mimarisi klasik sinir ağlarında farklı olmamakla beraber çalışma metodolojisinde önemli bir özellik barındırmaktadır. YSA mimarisinde enerji kavramını benimsemesi BM'nin önemli olan özelliğidir. BM'nin yapısında bulunan her bir birim bir stokastik durum barındırmaktadır bu birimlerin durumu bağlı olduğu ağların enerjileri hesap edilerek belirlenmektedir. Şekil 4'te BM'nin yapısı yer almaktadır. Üst kısımda yer alan nöronlar aynı zamanda görünür katman şeklinde de adlandırılan girdi katmanını temsil ederken alt kısımda yer alan nöronlar gizli katmanları ifade etmektedir.



Şekil 4. Kısıtlı boltzmann makinesi

#### 2.4.6. Derin Oto Kodlayıcıları

Derin oto kodlayıcılar (DA), doğrusal olmayan uzayda gözlemlenen girdiden daha yüksek seviyeli yapıları yakalayabilir (Tan ve diğerleri, 2014). DA, doğrusal modellerin doğrusal olmayan bir genellemesi olarak kabul edilebilir ve düşük seviyeli özelliklerden daha yüksek seviyeli ve karmaşık korelasyonları kavrayabilir. Otomatik kodlayıcılar (autoencoder), bir ağa giriş olarak verilen veriyi o ağın çıkışına kopyalama görevi görmektedir (Sander ve Vos, 2014). Bir kodlayıcı ve kod çözücü içerir. Kodlayıcı, giriş sinyalini düşük boyutlu bir alana sıkıştırır ve kod çözücü, girişi yeniden oluşturmak için sıkıştırılmış sinyalleri kullanır. Otomatik kodlayıcının temel yapısı Şekil 5'te yer almaktadır. Kodlayıcı, giriş verisini alıp bu veriden çıkış verisi üretmektedir. Daha sonra, bu çıkış verisi gizli katmana iletilir. Gizli katman da çıkış verisini kod çözücüye giriş verisi olarak aktarır. Bu işlemin sonucunda kod çözücü tekrardan üretilmiş bir giriş verisi üretir. Giriş verisi kopyasının oluşturulma sürecinde gizli katmanda oluşan değerler ile öznitelik çıkarımı, boyut küçültme gibi problemlerin çözülmesinde de kullanılabilir (Makhzani ve Frey, 2014). Giriş verisinin  $h$  gibi bazı öznitelikleri kodlayıcı birimi kullanılarak elde edilmektedir. Elde edilen  $h$  öznitelikleri kod çözücüye aktarılıp giriş olarak verilen veri yeniden üretilmektedir. Seyrek, gürültü giderici ve varyasyonel otomatik kodlayıcı en yaygın kullanılan otomatik kodlayıcı türleridir.



Şekil 5. Otomatik kodlayıcının temel yapısı

## 2.5. Derin Öğrenme Kütüphaneleri

Derin öğrenmenin büyük veriler üzerinde işlem yapabilme yeteneği birçok alanda başarılı şekilde kullanımını mümkün kılmıştır. DL'de bunu sağlayan önemli etkenlerden biri, DL üzerinde çeşitli programlama dilleriyle yazılmış (Python, C++, C#, Java vb.) zengin kütüphanelerin mevcut olmasıdır. Keras, Torch, Lasagne, Caffe, TensorFlow, MXNet vs. bu kütüphanelerden en çok tercih edilenleridir (Toğaçar ve Ergen, 2019). Bu kütüphaneler, İleri Besleme Ağları (FNN), Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN), Evrişimli Sinir Ağları (CNN) gibi farklı DL yaklaşımlarını desteklemektedir.

*TensorFlow*: Açık kaynak kodlu bir derin öğrenme kütüphanesi olan TensorFlow, bir makine öğrenimi algoritmasının hesaplamalarını ve durumlarını tanımlamak için veri akışı grafiklerini kullanır. Bir veri akışı grafiğinde, her düğüm ayrı bir matematiksel operatörü ( *örneğin* , matris çarpımı) ve her kenar bir veri bağımlılığını temsil eder. Her kenarda, bir tensör (n boyutlu diziler), iki düğüm arasında aktarılan bilgilerin veri formatını tanımlar (Jia ve diğerleri, 2021).

*Keras*: Yüksek seviyeli bir DL kütüphanesi olan Keras, Python programlama dili ile yazılmıştır. TensorFlow Kütüphanesi üzerinde çalışabiliyor olması bu kütüphanenin en önemli özelliğidir. Keras, sektör gücünde performans ve ölçeklenebilirlik sağlar: NASA, YouTube veya Waymo gibi kuruluşlar ve şirketler tarafından kullanılır (Keras.io, 2021).

*MXNet*: Çoklu dil desteği sunan açık kaynaklı bir derin öğrenme kütüphanesidir. Bu yönüyle, yapılan çalışmalara farklı programlama dillerinde karşılaştırma imkanı sunar.

*PyTorch*: Son zamanlarda, PyTorch'un popüleritesi, TensorFlow'a kıyasla geliştirilmiş kullanılabilirliği nedeniyle araştırmacılar arasında artmıştır (Pérez-García, Sparks & Ourselin, 2021). Torch ile görüntü işleme, resim, video ve ses işleme vb. alanlarda çalışmalar yapılabilmektedir. Torch, Lua ve Python dillerini desteklemektedir (Toğaçar ve Ergen, 2019). Karmaşık problemlerin çözümüyle alakalı ilgili algoritmayı hızlı ve esnek biçimde hazırlayabilen kütüphane olma özelliği taşımaktadır.

*Caffe*: Hızlı Özellik Gömme için Evrişimsel Mimari olarak bilinen Caffe kütüphanesinin en önemli özelliği önceden eğitilmiş modellere sahip olmasıdır. Caffe, görüntünün sınıflandırılması ve görüntünün segmentasyonuna yönelik farklı türlerde derin öğrenme mimarisini desteklemektedir. LSTM, CNN, R-CNN ve tam bağlantılı sinir ağı tasarımlarını da destekleyen açık kaynak kodlu bir derin öğrenme çerçevesidir.



### 3. METODOLOJİ

Bu çalışmada 35 seçici makalenin incelemesi yöntemsel ve eleştirel bir yaklaşımla sunulmaktadır. Derin öğrenme kullanılarak beyin tümörlerinin tespiti ve sınıflandırılması ile ilgili yapılmış güncel araştırmalar bu derlemeye dahil edilmiştir. Kavramsal bir çerçeve oluşturularak bu çerçeve araştırmanın anahtar kelimelerini belirlemek için kullanılmıştır. Beyin tümörü, BT, MRI, Görüntü işleme, Derin öğrenme, Teşhis ve sınıflandırma anahtar kelimeleri kullanılarak veri tabanları taranmıştır. Bu kapsamda ilgili makalelerin taranması için IEEE explore, Google Akademik, ScienceDirect, Medline, PubMed ve Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi gibi online veritabanları kullanılmış, beyin tümörü tespit ve sınıflandırılması içeren konferans metinleri, makaleler ve tezlere ulaşılmıştır. Çalışmaya yıl sınırlaması getirilmiş ve 2017-2022 zaman aralığındaki çalışmalar taranmıştır. Araştırmanın geçerlik ve güvenilirliği için, makale inceleme formuyla, incelenen her bir kaynaktan edinilen temel bilgiler kayıt altında tutulmuştur.

### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

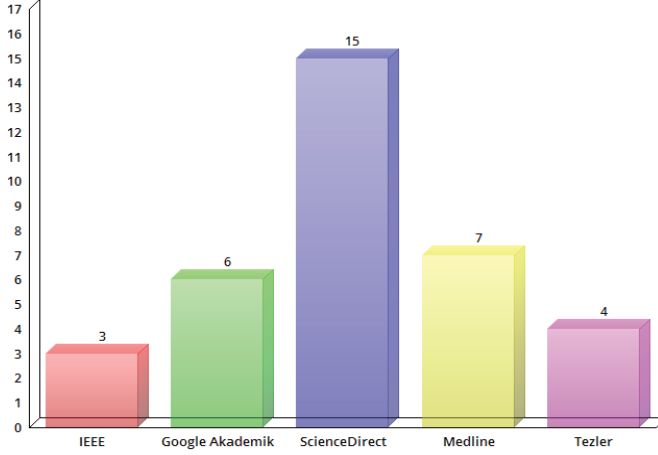
Beyin tümörü hastalığı araştırmalarını ilerletmek için derin öğrenmenin mevcut kullanımları bu çalışma ile gözden geçirilmiştir. Araştırma çerçevesinde, ulusal ve uluslararası alanda yayımlanan ve araştırma kapsamında incelenen makale ve tezler değerlendirilmiş ve bu makalelerin yayın kaynağına göre frekans değerleri aşağıda yer alan Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** *Çalışmanın literatür özeti*

<b>Kategoriler</b>	<b>f</b>
Uluslararası makaleler	25
Türkçe makaleler	6
Tezler	4
<b>Toplam</b>	<b>35</b>

Tablo 1 incelendiğinde, araştırma kapsamına alınan bilimsel çalışmaların 25'ini uluslararası makaleler, 6'sını Türkçe makale ve 4'ünü de lisansüstü tezleri oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında yer alan çalışmaların kaynaklarına göre dağılımı ise Şekil 6'da sunulmaktadır.





Şekil 6. İnceleme için dikkate alınan kaynakların dağılımı

Çalışmanın bulguları, beyin tümörüyle ilgili en çok araştırmanın tümörün saptanması, sınıflandırılması ve segmentasyonu alanında yapıldığını göstermiştir. Tümör sınıflandırılması ve segmentasyonu çalışmaları tümör tespiti çalışmalarına nispeten daha fazla sayıdadır. İncelenen araştırmalarda fark edilen gelişmelerden bir diğeri, MRI ve BT görüntülerinin sınıflandırılması ve saptanması için derin öğrenme algoritmalarının kullanımının yanında görüntülerin ön işlenmesi için de derin öğrenme algoritmalarının kullanılmasıdır.

Derin öğrenme algoritmasının performansını düşüren bazı faktörlerin varlığı yapılan bazı çalışmalarda vurgulanmıştır. Bu performans düşürücü faktörler; MR veya BT görüntülerindeki bozucu faktörler (mekanik çalışma nedeniyle fiziksel durumlar-sınıf dengesizliği-tümör yapısındaki heterojenlik- tümörlerde sınıflar arası değişkenlik), CNN modellerinde bozucu faktörler (çok sınıflı sınıflandırma-her üç görünümde MRI modalitelerinin birleştirilmesi-birlikte çalışabilirlik ve otomasyon eksikliği), veri kümeleri ile ilgili bozucu faktörler (standart veri kümesi kullanılabilirliği-veri artırma-standart ön işleme tekniği), genel sorun ve zorluklar (tıbbi görüntüleme yöntemlerinin entegrasyonu-tüm görevler için tek bir sistem-akıllı özellik seçim mekanizması), genel sınırlamalar (donanım gereksinimleri-sığ mimari ve yakınsama hızı arasındaki denge-derin mimari ve yakınsama hızı arasındaki denge-havuzlama ve doğruluk arasındaki denge-gradyan patlaması ve degradenin kaybolması) olmak üzere kategorize edilebilir.

Performans düşürücü bu faktörlerin yanında performans geliştirmeye yönelik teknikler de vardır (Nazir, Shakil and Khurshid, 2021). Bunlara

göz atacak olursak;

-*Çoklu modaliteler*:Eğitim sürecinde dört MRG yönteminin tümü (T1, T2, T1-c, Flair) kullanılırsa, doğruluk daha da geliştirilebilir ve aşırı uyum azaltılabilir.

-*Havuzlama katmanının eklenmesi*: Boyutsallığın azaltılması için verimli havuzlama katmanları eklenebilir.

-*Bağlantıları atla*:Sinir ağlarındaki bazı katmanları/bağlantıların atlanıp, çıktığı bir sonraki katmana iletmek yerine bir katmanın çıktısını başka bir katmana girdi olarak beslemesi mantığına dayalıdır. Böylece atlanan bağlantılar, ağ boyunca yayılan hatayı optimize etmeye yardımcı olur.

-*Düzenleme*: Derin öğrenme modellerinin verimliliklerini ve sağlamlıklarını artırmak için farklı şema algoritmalar kullanılabilir. Toplu normalleştirme de kullanılacak bir diğer yoldur.

-*Öğrenmeyi aktar*: Transfer öğrenimi, daha az veri kümesi mevcut olduğunda eğitim ağı için etkili bir yaklaşımdır.

-*Optimizasyon algoritmaları*: Doğru hata yayılımına yardımcı olacak verimli ve akıllı optimizasyon algoritmaları gereklidir. Sağlamlığı ve hızlı yakınsamayı artırmaya yardımcı olurlar (Bhatele ve Bhadauria, 2020).

-*Çok görevli derin öğrenme*:Birden çok mimarinin gücünü birleştiren ve birden çok görev için tek bir sistem oluşturmak üzere bunları bir araya getiren nispeten yeni bir fikirdir. Hesaplama maliyetinden tasarruf sağlayan ve fazla uydurmaya karşı sağlamlığı artıran tam otomatik sistemler oluşturmaya yardımcı olur.

-*Topluluk öğrenimi*: Toplu öğrenme, çoklu sınıflandırıcıların sınıflandırma doğruluklarının ortalamasını alır ve ardından nihai sonuçları verir. Araştırmalar, mevcut karmaşık mimariler kadar iyi olduğunu kanıtlayabileceğini göstermiştir (Bhatele ve Bhadauria, 2020).

Derin öğrenme gibi önerilen uzman sistemler genel olarak; veri toplama, ön işleme, segmentasyon, sınıflandırma gibi temel aşamalardan oluşmaktadır. İlk olarak toplanan görüntüler ön işleme modülüne tabi tutulur. Bozuk ve bulanık görüntüler bu modülde filtrelenir. Daha sonra sınıflandırma için model geliştirilir ve değerlendirilir. Geliştirilen modelin performansı ise; kesinlik, duyarlılık, doğruluk, modelin sağlamlığını ortaya koyan F1 skoru gibi değerlendirme metrikleriyle ölçülür.

**Tablo 1.** *Literatür taramasının karşılaştırmalı analizi*

Sr. No	Yazarlar ve Yıl	Amaç	Veri Kümesi	Yöntem	Performans Metrikleri	Sonuç
1	Vankdothu, R., Hameed, M. A., & Fatima, H. (2022).	MRI görüntülerinde beyin tümörlerini tespit etmek için derin öğrenmeye dayalı bir IoT hesaplama sistemi geliştirmek.	3264 MRI taraması içeren Kaggle veri seti	CNN-LSTM derin öğrenme yaklaşımına dayalı geliştirilen hibrit model	Doğruluk, Geri çağırma, F1 puanı, Kesinlik	Deneysel bulgular, önerilen modelin doğruluk açısından önceki CNN ve RNN modellerinden daha iyi performans gösterdiğini kanıtlar.
2	Kılıç, İ. (2019).	U-Net tabanlı bir CNN ağı kullanarak beyin tümörlerinin hacimsel segmentasyonunu gerçekleştirmek	Brats 2017	Beyin tümörlerinin belirlenerek segmentasyonunun yapılması için U-Net Tabanlı CNN geliştirilmiştir.	Doğruluk, IoU skoru	Yapılan çalışmanın beyin tümörlerinin segmentasyonu işleminde oldukça başarılı olduğu görülmüştür.
3	Nazir, M., Shakil, S., & Khurshid, K. (2021).	Derin öğrenme tekniklerinin eleştirel analizi	2015-2020 zaman aralığında ilgili araştırmalar	İnceleme çalışması	-	Beyin tümörünü verimli bir şekilde tespit edebilen ve daha az karmaşıklıkla çoklu sınıflara ayırabilen tam otomatik birleşik çerçeveye güçlü bir ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.
4						
5	Fernando, K. R. M., & Tsokos, C. P. (2022).	Beyin tümörü segmentasyonunda kullanılan derin öğrenme modellerinin gözden geçirilmesi	Gözden geçirilen çalışmalara yıl sınırlaması getirilmiştir	Olasılığa dayalı derin öğrenme ve hibrit yöntemlerin uygulamaları	-	Modele dayalı klasik istatistiklerin ve veriye dayalı derin öğrenmenin, klinik onkolojide otomatik sistemler geliştirmek için güçlü bir kombinasyon olduğunu vurgular.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.

34	Mohsen, H., El-Dahshan, E. S. A., El-Horbaty, E. S. M., & Salem, A. B. M. (2018).	Veri setini normal, glioblastoma, sarkom ve metastatik bronkojenik karsinom tümörleri gibi 4 sınıfa sınıflandırmak	Harvard Tıp Okulu web sitesinden ( <a href="http://med.harvard.edu/AAN-LIB/">http://med.harvard.edu/AAN-LIB/</a> ) toplanan 22 normal ve 44 anormal görüntü ile 66 gerçek insan beyni MRG'sinden oluşur	Aşama 1: Beyin MRG'leri Veri kümesi edinimi Adım 2: Bulanık C-means kullanarak görüntü segmentasyonu Aşama 3: Ayrık dalga-cık dönüşümü (DWT) kullanarak özellik çıkarma ve İlke bileşen analizi (PCA) tekniği kullanarak azaltma Adım 4: DNN kullanarak sınıflandırma	Hatırlama, Hassaslık, F-Ölçüsü, AUC (ROC)	Sınıflandırıcı, güçlü özellik çıkarma aracı olan ayrık dalga-cık dönüşümü (DWT) ve temel bileşenler analizi (PCA) ile birleştirilmiş ve tüm performans ölçümlerinden daha iyi sonuç vermiştir.
35	Havaei, M., Davy, A., Warde-Farley, D., Biard, A., Courville, A., Bengio, Y., ... & Larochelle, H. (2017).	Derin Sinir Ağlarına (DNN'ler) dayalı tam otomatik bir beyin tümörü segmentasyon yöntemi sunmak amaçlanmıştır.	Brats 2013	Yöntem, derin sinir ağlarına (DNN) dayanır ve beyin tümörü segmentasyonuna özgü özellikleri öğrenir.	Duyarlılık, Özgünlük, Zar (F ölçüsüyle aynı)	Sonuçlar, mimarinin şu anda yayınlanan son teknolojiye göre geliştiğini ve 30 kat daha hızlı olduğunu ortaya koymuştur.

Tablo 1 incelendiğinde, beyin tümörünün tespiti, sınıflandırılması ve segmentasyonuna yönelik başarılı sonuçlar üreten derin öğrenme çalışmalarının gerçekleştirildiği görülmektedir. Ayrıca, son zamanlarda araştırmacılara mevcut teknikleri kullanarak yaklaşımlarını eleştirel bir şekilde geliştirmek ve değerlendirmek için popüler bir araç sağlayan Brats veri setlerinin çalışmalarda sıklıkla tercih edildiğini görmekteyiz. Bunun yanında, geliştirilen derin CNN mimarilerinin beyin tümörünü otomatik olarak tespit etme doğruluklarının yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmaların performans değerlendirme ölçütleri ise; kesinlik, doğruluk, duyarlılık, F1 skoru, özgünlük gibi metriklerden oluşmaktadır.

Entegre istatistiksel ve derin öğrenme yöntemleri son zamanlarda tıp, istatistik ve yapay zeka alanlarındaki çok disiplinli bilgileri birleştiren tıbbi uygulamaların otomasyonunda yeni bir yön olarak ortaya çıkmıştır

(Fernando & Tsokos, 2022). Ayrıca, istatistiksel metodolojilerin derin ağlara aşılmasının biyomedikal görüntü bölümlenmesini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, modele dayalı klasik istatistiklerin ve veriye dayalı derin öğrenmenin, klinik onkolojide otomatik sistemler geliştirmek için güçlü bir kombinasyon olduğunu vurgulamaktadır.

## 5. SONUÇ ve GELECEK ÇALIŞMALAR

Beyin tümörü tespiti ve sınıflandırması, bir kişinin ömrünü uzatmada kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, beyin BT ve MR görüntüleri üzerinden tümör hastalığının tespit ve sınıflandırılmasında bir yapay zeka yöntemi olan derin öğrenme yaklaşımlarının kullanımı ele alınmakta ve yakın geçmişte yapılmış çalışmaların derinlemesine bir analizi sunulmaktadır. Bu bağlamda; beyin görüntüleme sistemleri, bu teknolojilerin teşhis ve sınıflandırmada kullanılan türleri, halihazırda yapılmış çalışmalarda kullanılan derin öğrenme mimarileri, tümörün sınıflandırılmasında kabul gören güncel gelişmeler bu çalışma ile teorik boyutta karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Çalışmaya yıl sınırlaması getirilmiş ve 2017-2022 yılları arasında yapılmış çeşitli veritabanlarında taranan 35 ulusal ve uluslararası bilimsel çalışma dahil edilmiştir. Bu çalışmalar kıyaslamalı olarak incelenmiş, elde edilen bulgular yorumlanmış ve sunulmuştur. Ayrıca, araştırmacılara fikir vermek için bazı performans düşürücü faktörler ve bunların çözümleri de listelenmiştir.

Beyin tümörüyle ilgili uygulamalarda yapay zekanın kullanımının medikal alanda birçok avantajı söz konusudur. Bu avantajların en başında, derin öğrenme gibi yapay zeka sistemlerinin çok sayıda veriyi insanların ulaşamayacağı hızlarda işleme kapasitesi sayesinde kimi zaman klinik uzmanlardan daha başarılı biçimde tanı koyma ve sınıflandırabilmesi gelmektedir. Bunun yanında, sağlıklı bireyler için ilgili tümöre sahip oldukları yanılığısıyla yanlış teşhisler konulması klinik uzmanlara göre yapay zeka sistemleri ile daha düşük oranda mümkün olabilmektedir. Fazla veriyi işleme kapasitesi, görüntülerdeki ayrıntıları farketme yeteneği gibi olumlu yönleri yapay zeka temelli derin öğrenme uygulamalarını cazip kılmakla birlikte, veri gizliliği ve güvenilirlik gibi noktalarda bazı endişeleri de ortaya çıkarmaktadır. Bu endişelerin giderilmesi ve yapay zeka sistemlerinin gerçek potansiyeline ulaşılabilmesi için bilgisayar, elektronik gibi mühendislik branşları ile nöroloji, nöroşirürji, radyoloji ve onkoloji gibi sağlık bilimi branşlarına mensup insanların birlikte titizlikle çalışmasıyla mümkün olabileceği vurgulanmaktadır.

Literatürde beyin tümörünü tespit etmek ve sınıflandırmak için çok sayıda derin öğrenmeye dayalı yaklaşım yayınlanmıştır. Bazı çalışmalarda bu modellerden en iyi performans gösterenlerin hibrit (birleştirilen derin öğrenme modelleri) geliştirilen modeller olduğu vurgulanmıştır.

Hibritleştirme, avantajları entegre etmek amacıyla gelecek vaat eden mimarileri ve algoritmaları birleştirir. Bununla birlikte, incelenen çalışmaların sonucunda, Evrişimli Sinir Ağları mimarisinin derin öğrenme ile hastalık tespiti ve sınıflandırılmasında sıklıkla kullanıldığı ve başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Derin Öğrenme tekniklerinin ve algoritmalarının büyük miktarda veriyi işlemek için büyük bir güce ve yeteneğe sahip olduğu açıktır. Buna rağmen derin öğrenmenin bu faydalarından yeterince yararlanılmadığı düşünülmektedir. İncelenen çalışmalar sonucunda, beyin tümörünü verimli bir şekilde tespit edebilen ve daha az karmaşıklıkla çoklu sınıflara ayırabilen tam otomatik birleşik çerçeveye güçlü bir ihtiyaç olduğu sonucuna varılabilir. Ayrıca, son yıllarda yapılan çalışmalar çoğunlukla beyin tümörü sınıflandırması ve segmentasyonuna yöneliktir. Tespit çalışmaları sayıca daha azdır. Tespit insanın hayatta kalma şansını yükselten kritik öneme sahip olan bir aşamadır. Bu gerekçeyle, gelecek çalışmalarda eşit öncelik verilmesi doğru bir yaklaşım olacaktır. Derin öğrenmeye dayalı beyin tümörü çalışmalarının ana hedeflerinden biri beyin cerrahlarına tümör sınıflandırması ve segmentasyonunun otomasyonunda yardımcı olmak olduğundan, bu tür bir çerçevenin geliştirilmesine doğru ilerlemeye öncelik verilmeli ve tüm görevler için tek bir tam otomatik sistem geliştirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Agrawal, P., Katal, N., & Hooda, N. (2022). Segmentation and classification of brain tumor using 3D-UNet deep neural networks. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 3, 199-210.
- Akyel, A. ve Akdemir Özışık, P. (2020). Beyin Tümörlerinde Yapay Zekâ Uygulamaları. Hardalaç F, Serhatlıoğlu S, editörler. Yapay Zekâ Teknikleri ve Radyolojide Uygulanması. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2020. p.17-22.
- Antonelli, M., Reinke, A., Bakas, S., Farahani, K., Landman, B. A., Litjens, G., ... & Cardoso, M. J. (2021). The medical segmentation decathlon. *arXiv preprint arXiv:2106.05735*.
- Bhatele, K. R., & Bhadauria, S. S. (2020). Brain structural disorders detection and classification approaches: a review. *Artificial Intelligence Review*, 53(5), 3349-3401.
- Eker, A. G. & Duru, N. (2021). Medikal Görüntü İşlemede Derin Öğrenme Uygulamaları. *Acta Infologica*, 5 (2) , 459-474 . DOI: 10.26650/acin.927561
- Fernando, K. R. M., & Tsokos, C. P. (2022). Deep and statistical learning in biomedical imaging: State of the art in 3D MRI brain tumor segmentation. *Information Fusion*.
- Gao, X. W., Hui, R., & Tian, Z. (2017). Classification of CT brain images based on deep learning networks. *Computer methods and programs in biomedicine*, 138, 49-56.
- Gülpınar, Ö., & Güçlü, A. G. (2013). Derleme makalesi nasıl yazılır. *Turkish Journal of Urology*, 39(1), 44-48.
- Havaei, M., Davy, A., Warde-Farley, D., Biard, A., Courville, A., Bengio, Y., ... & Larochelle, H. (2017). Brain tumor segmentation with deep neural networks. *Medical image analysis*, 35, 18-31.
- Jia, L., Zhong, H., Wang, X., Huang, L., & Lu, X. (2021). The symptoms, causes, and repairs of bugs inside a deep learning library. *Journal of Systems and Software*, 177, 110935.
- Johnson, D. R., Guerin, J. B., Giannini, C., Morris, J. M., Eckel, L. J., & Kaufmann, T. J. (2017). 2016 updates to the WHO brain tumor classification system: what the radiologist needs to know. *Radiographics*, 37(7), 2164-2180.
- Kapoor, L., & Thakur, S. (2017, January). A survey on brain tumor detection using image processing techniques. In *2017 7th international conference on cloud computing, data science & engineering-confluence* (pp. 582-585). IEEE.
- Karabulut, M. E. (2016). *Biyomedikal Veri Sınıflandırmasında Derin Öğrenme Yaklaşımlarının Araştırılması*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Kaur, H., & Gill, A. K. (2017). Review of Brain Tumor Detection Using Various Techniques. *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, 7(5), 867-870.
- Kılıç, İ. (2019). *Beyin tümörü tespiti için derin öğrenme ile MR görüntülerinin bölütlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Lopez, M. M., & Kalita, J. (2017). Deep Learning applied to NLP. *arXiv preprint arXiv:1703.03091*.
- Mante, V., Sussillo, D., Shenoy, K. V., & Newsome, W. T. (2013). Context-dependent computation by recurrent dynamics in prefrontal cortex. *nature*, 503(7474), 78-84.
- Martinez-Lage, M., & Sahm, F. (2018, February). Practical implications of the updated WHO classification of brain tumors. In *Seminars in neurology* (Vol. 38, No. 01, pp. 011-018). Thieme Medical Publishers.
- Mao, S., Wang, B., Tang, Y., & Qian, F. (2019). Opportunities and challenges of artificial intelligence for green manufacturing in the process industry. *Engineering*, 5(6), 995-1002.
- Mohsen, H., El-Dahshan, E. S. A., El-Horbaty, E. S. M., & Salem, A. B. M. (2018). Classification using deep learning neural networks for brain tumors. *Future Computing and Informatics Journal*, 3(1), 68-71.
- Mudda, M., Manjunath, R., & Krishnamurthy, N. (2020). Brain Tumor Classification Using Enhanced Statistical Texture Features. *IETE Journal of Research*, 1-12.
- Nadeem, M. W., Ghamdi, M. A. A., Hussain, M., Khan, M. A., Khan, K. M., Almotiri, S. H., & Butt, S. A. (2020). Brain tumor analysis empowered with deep learning: A review, taxonomy, and future challenges. *Brain sciences*, 10(2), 118.
- Nazir, M., Shakil, S., & Khurshid, K. (2021). Role of deep learning in brain tumor detection and classification (2015 to 2020): A review. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 91, 101940.
- Panda, B., & Panda, C. S. (2019). A review on brain tumor classification methodologies. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 346-359.
- Perconti, P., & Plebe, A. (2020). Deep Learning and Cognitive Science. *Cognition*, 203, 104365.
- Pérez-García, F., Sparks, R., & Ourselin, S. (2021). TorchIO: a Python library for efficient loading, preprocessing, augmentation and patch-based sampling of medical images in deep learning. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 106236.
- Rajan, K., Harvey, C. D., & Tank, D. W. (2016). Recurrent network models of sequence generation and memory. *Neuron*, 90(1), 128-142.
- Schulz-Schaeffer, W. J. (2017). Alterations in the WHO classification of brain



- tumors from 2016. *Der Radiologe*, 57(9), 701-706.
- Sharif, M., Amin, J., Raza, M., Yasmin, M., & Satapathy, S. C. (2020). An integrated design of particle swarm optimization (PSO) with fusion of features for detection of brain tumor. *Pattern Recognition Letters*, 129, 150-157.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G.,...& Dieleman, S. (2016). Mastering The Game Of Go With Deep Neural Networks And Tree Search. *Nature*, 529(7587), 484-489.
- Sussillo, D. (2014). Neural circuits as computational dynamical systems. *Current opinion in neurobiology*, 25, 156-163.
- Simpson, A. L., Antonelli, M., Bakas, S., Bilello, M., Farahani, K., Van Ginneken, B., ... & Cardoso, M. J. (2019). A large annotated medical image dataset for the development and evaluation of segmentation algorithms. *arXiv preprint arXiv:1902.09063*.
- Şeker, A., Diri, B., & Balık, H. H. (2017). Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 47-64.
- Taghadomi-Saberi, S., & Hemmat, A. (2015). Improving field management by machine vision-a review. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(3).
- Tandel, G. S., Biswas, M., Kakde, O. G., Tiwari, A., Suri, H. S., Turk, M., ... & Suri, J. S. (2019). A review on a deep learning perspective in brain cancer classification. *Cancers*, 11(1), 111.
- Toennies, K. D. (2012). *Advances in Computer Vision and Pattern Recognition*.
- Vankdothu, R., Hameed, M. A., & Fatima, H. (2022). A Brain Tumor Identification and Classification Using Deep Learning based on CNN-LSTM Method. *Computers and Electrical Engineering*, 101, 107960.
- Amerikan Klinik Onkoloji Derneği-ASCO. (2021). İnternet Adresi:<https://beta.asco.org/> Erişim Tarihi: 09.03.2022
- Baran,C.(2019).Yapay Zekâ ve Tıp. İnternet Adresi: <https://medium.com/t%C3%BCrkiye/yapay-zekâ-ve-t%C4%B1p-778e5f4736a4>. Erişim Tarihi: 01.07.2021
- Beşin Tümörü: Tanı (2021). [Online]. İnternet Adresi: <https://www.cancer.net/cancer-types/brain-tumor/diagnosis> Erişim Tarihi: 20.12.2021.
- Caffe (Software). İnternet Adresi: [https://en.wikipedia.org/wiki/Caffe\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Caffe_(software)) Erişim Tarihi: 27.01.2022.
- “Keras Documentation.” [Online]. İnternet Adresi: <https://keras.io/about/> Erişim Tarihi: 27.01.2022.





## **BÖLÜM 6**

### **GIDA TEKNOLOJİSİNDE VAKUM EMDİRME TEKNİĞİ**

*Hatice HAYAT GİRĞİN<sup>1</sup>, Bilge ERTEKİN FİLİZ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Gıda Mühendisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı E-mail: hhgirgin78@gmail.com

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, E-mail: bilgefiliz@sdu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Gıdaların sağlık yararları, son yıllarda içinde gıda endüstrisinin büyük ölçüde üzerinde durduğu özel ve öncelikli konulardan biridir. Günümüzde, besin değeri yüksek ve sağlığa faydalı, aynı zamanda istenilen duyuşsal niteliklere sahip gıdalar üretmek için yeni teknolojiler araştırılmaktadır. Yapısal olarak “bölmeli iç yüzey ve boşluklardan oluşan, boşlukların karmaşık bir yolla doldurulduğu biyolojik sistemler” olarak tanımlanabilen gıdaların (Derossi vd., 2012), doğal ya da proses ile meydana gelen yapısını koruma, dönüştürme, yeniden oluşturma ya da yok etmeye yönelik kontrollü girişimler teknolojik faaliyetler kapsamında gerçekleştirilmektedir (Aguilera, 2005).

Vakum emdirme (Vakum İmpregnasyon-VI), gıda mikro yapısının özellikleri ile ilgili en önemli ve yenilikçi gıda işleme yöntemlerinden biridir (Derossi vd., 2012). Bu yöntem, gıdaların yapısal bütünlüğünü bozmadan, bünyelerinde yer alan suyun bir kısmını uzaklaştırarak ve biyoaktif bileşenleri gıda dokusuna ilave ederek gıda maddelerinin bileşimini değiştirmeyi amaçlayan, ısı işleme dayalı olmayan bir yöntemdir (Tiwari ve Thakur, 2016). Gözenekli katı bir gıda maddesi ile sıvı bir faz arasındaki kütle transferi işlemi vakum emdirme teknolojisi olarak adlandırılabilir (Betoret vd., 2015). Vakum emdirme (VI), hayvan ve bitki dokularının gözenekli yapılarına harici sıvıları kontrollü ve hızlı bir şekilde sokmak için faydalı bir teknik olarak kabul edilir. Vakum emdirme, gıdalara mineral, vitamin, fenolik madde, antimikrobiyal madde, esmerleşmeyi önleyici madde, enzim vb. maddelerin aktarılmasında kullanılan faydalı bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Yılmaz ve Bilek, 2017a). Bu kitap bölümünde, gıda teknolojisinde vakum emdirme teknikleri hakkında bilgi verilerek, teknik ile ilgili yapılan güncel çalışmalar ve araştırmalar derlenmiştir.

## 2. VAKUM EMDİRME İŞLEMİ

Gıdaların ozmotik işlemlerindeki gelişmeler arasında, vakum emdirme tekniği günümüzde kullanılan yenilikçi ve alternatif tekniklerden birisidir (Zhao ve Xie, 2004). Vakum emdirme, gıdaları yalnızca besin öğeleri ve fonksiyonel bileşenlerle değil, aynı zamanda yenilikçi duyuşsal bileşenlerle zenginleştiren bir yöntem olarak tanımlanmıştır. Aynı zamanda ürünün biyokimyasal ve mikrobiyal bozunmasını önlemeye yardımcı olan uygulamalar da gerçekleştirilmektedir (Derossi vd., 2010). Gözenekli bir gıdanın yapısal matrisine biyoaktif bileşikler dahil etme imkanının oluşturulması, vakum emdirme tekniğinin yeni ürün tasarımı için etkili bir teknoloji olduğunu kanıtlamaktadır (Betoret vd., 2015).

Vakum emdirme (VI), vakum basıncının kısmi uygulanmasına dayalı bir işlemdir. Bu, kılcal damarlarda tutulan doğal sıvıların ve gazların çıkarılmasına, atmosferik basıncın geri kazanılmasından sonra arzu edilen

bir harici çözelti ile emdirilmesine olanak tanır (Derossi vd., 2012). Bu işlemin bir sonucu olarak ortaya çıkan bileşim ve yapısal değişiklikler, üründe fiziko-kimyasal değişimlere neden olmakta ve dolayısıyla kalite parametrelerini önemli düzeyde etkilemektedir (Martin-Esparza ve Gonzalez-Martinez, 2008).

Vakum emdirme işlemi, hızlı, düşük enerji maliyetli ve ısı işlem içermeyen bir proses olmasının yanı sıra gıda zenginleştirme uygulamaları için de ideal bir yöntem olarak bildirilmektedir (Tiwari ve Thakur, 2016). Bu yöntemle teknolojik ve/veya zenginleştirme amacıyla antioksidanlar, fitokimyasallar, diyet lifleri, şifalı otlar ve botanikler, probiyotikler, prebiyotikler, sinbiyotikler vb. biyoaktif bileşiklerin, hem koruyucu etkisinden yararlanmak hem de bazı bileşiklerin sinerjistik etkisini sağlamak amacıyla doğal yapılara dahil edilmesine izin verilir (Betoret vd., 2015).

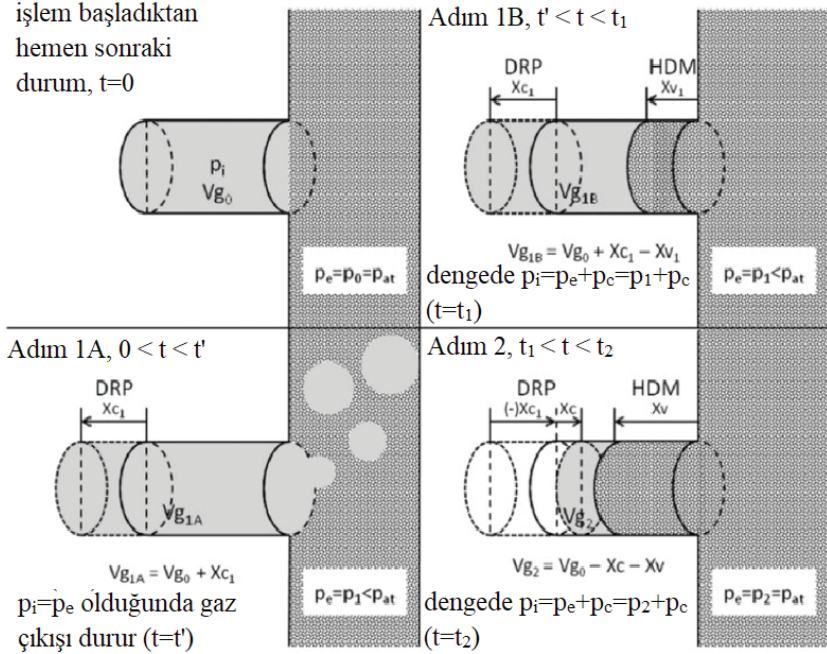
Vakum emdirme, başlangıçta ozmotik dehidrasyonu hızlandıran bir işlem olarak ortaya çıkmış olsa da, son yıllarda meyve ve sebzelerin dokularının biyoaktif maddeler ile zenginleştirilmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir (Yılmaz ve Bilek, 2017a). Vakum emdirme gıdaların işlenmesi sırasında gözenekli dokulardaki hasarı en aza indirmek, gıdanın rengini, doğal lezzetini ve aromasını korumak gibi avantajlarının yanı sıra ısıya duyarlı gıda bileşenlerinin korunmasına olanak sağlamaktadır (Karacaoğlu vd., 2016).

Vakum emdirme sırasında, farklı bileşikler içeren çözeltiler, gıda matrisine nüfuz ettirilerek gıda özelliklerini önemli ölçüde değiştirilmesi ya da iyileştirilmesi sağlanabilir. Bu bileşikler, besin değerinin artırılması (örneğin polifenoller, probiyotikler veya mikro besinler ile zenginleştirme), raf ömrünün uzatılması (örneğin pH'nın düşürülmesi) veya duyu özelliklerinin değiştirilmesi (örneğin şekerin eklenmesi) gibi çeşitli avantajlar sağlamak için ürünün hücre içi boşluklarına ve kılcal damarlarına sokulur. Vakum emdirme, örneğin minimal işleme, kurutma, dondurma ya da meyve ve sebze konservelerinin üretilmesi gibi ön işlemlerde bir aşama olarak sıklıkla uygulanan bir işlemdir. Bu nedenle, temel olarak yöntemin gıda maddelerinin fiziko-kimyasal ve duyu özelliklerini değiştirme yeteneğinin tespiti ve istenen etkinin sağlanması için uygun değişkenlerin seçimi gereklidir (Radziejewska-Kubzdela vd., 2014).

### **2.1. Vakum Emdirme Tekniği İşlem Akışı ve Hidrodinamik Mekanizma (HDM) ile Deformasyon-Gevşeme Fenomeni (DRP) Teorileri**

Tipik vakum emdirme işlemi sırasında, mekanik olarak indüklenen materyalin serbest boşlukları ve kapiler kısımları basınç farkından dolayı dolmaktadır. Vakum emdirme işlemi, başlıca düşük basınç aşaması ve atmosferik basınç aşaması olmak üzere iki aşamadan meydana gelmektedir. Gıdanın vakum emdirilmesi iki olgunun meydana gelmesi ile sonuçlanır.

Hidrodinamik mekanizma (HDM) ve hücre içi kılcal damarların dolmasına yol açan deformasyon-gevşeme fenomeni (DRP) (Radziejewska-Kubzela vd., 2014) . Bu mekanizmalar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Hidrodinamik mekanizma (HDM) ve deformasyon gevşeme fenomeni (DRP) şematik gösterimi ( $t$  — Zaman;  $t'$  — İç ve dış basıncın eşitlenmesi için gereken süre;  $t_1$  — Uygulanan vakum süresi;  $t_2$  — Atmosferik basınç/gevşeme süresi;  $p_0$  — Başlangıç basıncı;  $p_1$  — Vakum basıncı;  $p_2$  — Son basıncı;  $p_i$  — Dahili basınç;  $p_e$  — Dış basınç;  $p_c$  — Kapiler basınç;  $p_{at}$  — Atmosferik basınç;  $V_{g_0}$  — Kapilerde hapsolmuş ilk gaz hacmi;  $V_{g_{1A}}$ ,  $V_{g_{1B}}$ ,  $V_g$  — Her vakum emdirme adımından sonra kapilerde tutulan gazın hacmi;  $X_{c1}$  - DRP sonucunda kılcal damar içine hapsolmüş gaz hacminde artış;  $X_c$  - DRP sonucunda kılcal damar içine hapsolmüş gaz hacminde azalma;  $X_{v1}$  - HDM'nin sonucu olarak kılcal damar içine hapsolmüş gaz hacminin kısmen azalması;  $X_v$  - HDM'nin sonucu olarak kapiler içine hapsolmüş gaz hacminin azalması) (Radziejewska-Kubzela vd., 2014'ten modifiye edilmiştir)

Vakum emdirme işleminin temeli, hidrodinamik mekanizma (HDM)'ya dayanır. Vakum emdirme yönteminde, gözenekli bir gıda yeterli miktardaki sıvı bir ortama daldırılarak iki aşamadan oluşan bir basınç değişikliğine tabi tutulur. Öncelikle mekanik denge sağlanıncaya kadar vakum basıncı ile gözenekli gıda maddesinde gaz akışı desteklenir. Bu aşamada kapiler nüfuz etme atmosferik basınçtan daha yüksek olarak ger-

çekleşir. Atmosferik basınç ikinci bir aşamada geri yüklendiğinde, artık gaz sıkıştırması sonucu basınç devam ederken ortamdaki çözeltinin içeri akışına yol açar. İlk kez Fito (1994) tarafından açıklanan bu fenomene (hidrodinamik mekanizma, HDM) adı verilir (Fito vd., 2001; Comandini, 2012; Derossi vd., 2012). Zhao ve Xie (2004) tarafından, hidrodinamik mekanizma ve deformasyon gevşeme aşamaları sayesinde vakumlu emdirme işleminde daha hızlı bir ozmotik sürece sebep olduğu vurgulanmıştır.

Vakum emdirme işlemi iki adımda meydana gelmektedir:

Gıda maddelerinin bir çözeltiye daldırılarak bir vakum süresince ( $t_1$ ) bir vakum basıncının ( $p$ ) uygulanması (vakum süresi);

Çözeltiye batırılan örnekleri gevşeme süresi ( $t_2$ ) (gevşeme süresi olarak da adlandırılır) boyunca koruyan atmosferik basıncın restorasyonu.

Vakum emdirme işleminde hidrodinamik mekanizma (HDM) ile eşzamanlı olarak bir deformasyon gevşeme fenomeni (DRP) gerçekleşmektedir. HDM ve DRP'nin her ikisi de bir denge durumuna ulaşmayı hedefler ve şiddetleri katı gıda matrisin üç boyutlu gıda mikroyapısı ve mekanik özellikleri ile yakın ilişkilidir (Derossi vd., 2012).

Vakum emdirme yönteminde, emdirme çözeltisi içerisine daldırıldığı andaki kapiler gıda matrisinin iç ve dış basıncı atmosferik basınca eşittir ve kapiler yapının içi gazla dolu haldedir. Birinci aşamada, yani vakum uygulanmasıyla basınç düşer ve kapiler damarlardaki gaz dışarı çıkar. Deformasyon- gevşeme olayının (DRP) ilk adımı olarak, basıncın düşmesiyle birlikte kapiler yapının deformasyonu ve genişlemesi de meydana gelir. Kapiler yapının hacminin artması basınç dengelenene kadar devam eder. Devamında, hidrodinamik mekanizma (HDM) neticesinde kapiler damarlar yavaş yavaş çözelti ile dolmaya başlar, kapiler matrisin iç basıncı da yavaşça yükselir ve serbest hacim azalır. Vakum kesilerek atmosferik basınca döndüğünde, gevşeme aşamasına (DRP) geçilmiş olur. Kapiler yapılarda büzülme başlar ve meydana gelen hacim, ilk aşamadaki gıdanın kapiler matrisinin hacminden daha düşük seviyelere gelir. Bu aşamada, kapiler matrisin iç basıncındaki yükselme ve büzülme neticesi, dıştan içe doğru yoğun olarak sıvı akışı gerçekleşir. Gıda maddesine çözelti içerisindeki bileşenlerin emdiriminin meydana geldiği aşama olduğu için gevşeme olayı vakum emdirme işleminde çok önemlidir. Gıdanın kapiler yapısının sıkışarak kapanmaması ve sonucunda HDM'nin engellenmemesi için vakumun kesilmesi ani ve çok hızlı olmamalıdır (Yılmaz ve Bilek, 2017a).

### 2.3.Vakum Emdirme İşlemini Etkileyen Faktörler

Vakum emdirme uygulamasında uygulama etkinliğini etkileyen faktörler söz konusudur. Tablo 1’de vakum emdirme işlemini etkileyen faktörler gösterilmiştir (Yılmaz ve Bilek, 2017a; Karacaoğlu vd., 2016; Radziejewska-Kubzdela, 2014).

**Tablo 1.** Vakum emdirme işlemini etkileyen faktörler

İç Faktörler	Dış Faktörler
Gözenek yapısı (gözenek boyutu ve dağılımı)	Vakum basıncı
Boyut, şekil ve örneklerin etkili gözenekliği	Vakum uygulama süresi
Gıdanın çeşidi, türü	Vakum sonrası restorasyon süresi
	Emdirme çözeltisinin konsantrasyonu (izotonik, hipertonic veya hipotonik)
	Emdirme çözeltisinde kullanılan çözgenin çeşidi, moleküler ağırlığı
	Emdirme çözeltisinin viskozitesi
	Sıcaklık
	Çözelti miktarı-gıda oranı
	Karıştırma

## 3. VAKUM EMDİRME İŞLEMİNİN TEMEL UYGULAMALARI

Vakum emdirme işleminin gıda teknolojisinde başlıca uygulama alanları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

Gıdaların bileşiminin zenginleştirilmesi

Ürünlerin fiziko kimyasal ve duyuşal özelliklerinin iyileştirilmesi

pH’nın düşürülmesi

Su aktivitesinin (aw) azaltılması

Isıl işlemde kaynaklanan yapı bozukluklarının iyileştirilmesi

Yapının iyileştirilmesi

Renk, aroma ve tat iyileştirilmesi

Diğer vakum emdirme uygulamaları

Vakum emdirme işleminin gıda endüstrisindeki bazı potansiyel uygulamaları şematik olarak bildirilmiştir (Zhao ve Xie, 2004)

### 3.1. Gıda Bileşiminin Zenginleştirilmesi

Meyve ve sebzeler gibi bitkisel gıdaların mineraller, vitaminler veya



diğer biyoaktif bileşenlerle zenginleştirilmesi, fonksiyonel gıda geliştirmek için iyi bir alternatif olabilmektedir. Vakum emdirme yönteminde, meyve ve sebzenin gözenekli yapısına (matris) kontrollü miktarlarda bir çözelti girmesine izin verilmektedir (Fito vd., 2001). Literatürde, son üründe tavsiye edilen günlük alım miktarının önemli bir miktarını elde etmek için meyve ve sebzelerin bir veya daha fazla biyoaktif bileşiği içeren farklı izotonik (eşit yoğunlukta) veya hipertonic (yüksek derişimli) çözeltileri ile vakumlu emdirme işleminin yapıldığı birçok çalışma bulunmaktadır (Betoret vd., 2015). Konuyla ilgili yapılan çalışmalar, meyve ve sebzelerin vitaminler, mineraller, probiyotikler, enzimler, antimikrobiyaller, esmerleşme önleyiciler, kriyoprotektanlar (donma hasarını önleyen maddeler), pH düşürücü maddeler, aromalar ve fenolik bileşiklerle zenginleştirilebileceğini göstermiştir (Betoret vd., 2003; Park vd., 2005; Comandini vd., 2010; Moreno vd., 2017; Tiwari vd., 2018; Duarte-Correa vd., 2019). Tablo 2’de farklı gıda ürünlerinde vakum emdirme işleminin gıdaların zenginleştirilmesi üzerine etkisini gösteren araştırma sonuçları özetlenmiştir.

### 3.2. Ürünlerin Fiziko Kimyasal ve Duyusal Özelliklerinin İyileştirilmesi

Bazı gıdaların dokularındaki yüksek hücre içi boşluk hacmi kriyoprotektanlar, enzimatik esmerleşme inhibitörleri, enzimler, doku yoğunluğunu artıran ve yumuşamasını inhibe eden bileşikler veya su aktivitesini azaltan bileşikler tarafından doldurulabilmektedir. Bu nedenle, vakum emdirme kullanımı, hem fiziko-kimyasal özellikler hem de duyusal nitelikleri iyileştirerek yeni ürünün kalitesini geliştirebilmektedir (Radziejewska-Kubzdela vd., 2014)

Moreno vd. (2004), atmosferik basınçta ozmotik dehidrasyon (OD) ve vakum emdirme (VI) işlemlerinin Şili papayasının bazı fizikokimyasal parametreleri (aw, pH, renk, sertlik ve mikroyapı) üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Vakum emdirme işleminin pH’yı değiştirmeden ozmotik çözelti konsantrasyonundan bağımsız olarak kütle transferini desteklediğini bildirilmişlerdir. Shen vd. (2020), vakum emdirme ve atmosferik basınç altında, farklı tuz konsantrasyonu ve zaman kombinasyonlarının ürünün fiziko-kimyasal özellikleri ve mikroyapısı üzerine etkilerini karşılaştırmışlardır. Söz konusu çalışma ile vakum emdirmenin tuzlamanın etkinliğini önemli ölçüde iyileştirmesi, VI ile mersin balığı filetolarının orijinal doğasının daha iyi korunması nedenleriyle vakum emdirme işleminin daha iyi bir tuzlama yöntemi olarak kabul edilebileceği bildirilmiştir.

### 3.3. pH’nın Düşürülmesi

pH düşürme, gıda stabilitesini iyileştirmek için önemli bir işlemdir (Derossi vd., 2012). Gıdaların pH’sı, mikrobiyolojik güvenliğini etkileyen önemli bir faktördür. Ürünlerin pH değerinin düşürülmesi mikro-

organizmaların ısı direncini ve büyüme oranlarını azaltırken sporların büyümesini de engellemektedir. Vakum emdirme işlemi ile bitki dokusuna organik asitlerin emdirilmesi, hammaddenin pH'sının düşürülmesini kolaylaştırmaktadır. Daha düşük pH değerinde, mikroorganizmalar, hücre içinde nötr pH'yı korumak için daha fazla enerji kullanırken büyüme için daha az enerji kullanmaktadır. Ayrıca pH değerinin düşürülmesi mikroorganizmaların sıcaklığa direncinin azalmasına da yol açmaktadır (Radziejewska-Kubzdela vd., 2014).

Derossi vd. (2010) tarafından, vakum kullanılarak biber dilimlerinde pH değerini düşürmek için bir yöntem çalışılmıştır. Laktik asit çözeltisi ile vakum emdirmenin asitleştirme derecesini, atmosfer basıncında gerçekleştirilen işlemeye göre daha büyük ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir. Derossi vd. (2012), vakumla asitleştirme ve darbeli vakum asitleştirme işlemlerinin, geleneksel asitleştirme-daldırma ile karşılaştırıldığında havuç ve patlıcan dilimlerinde pH düşüşünü iyileştirebildiğini kanıtlandığını bildirmişlerdir. Kang ve Kang (2017), kırmızı biber, havuç, kral istiridye mantarı ve kavun meyveleri üzerinde *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia coli O157: H7* ve *Listeria monocytogenes*'e karşı, organik asit yıkama uygulanan vakum emdirme uygulamasının antimikrobiyal etkisini araştırmışlardır. Hem kral istiridye mantarı hem de kavun için daldırma ve VI muamelesi arasında patojen azalmalarında önemli farklılıkların olmadığı açıklanmıştır. Ayrıca 5 ve 20 dakika süreyle % 2 malik asit ile VI yıkama işlemine tabi tutulan kırmızı biber ve havuçların enstrümental olarak tespit edilen renk, doku ve titre edilebilir asitlik değerlerinin, 7 günlük saklama süresince işlenmemiş kontrol örneklerinden önemli ölçüde farklı olmadığı bildirilmiştir.

### 3.4. Su Aktivitesinin ( $a_w$ ) Azaltılması

Vakum emdirme, gıdaların su aktivitesini azaltmak için de kullanılabilir. Bu yöntem, ozmotik dehidrasyonun ilk aşaması olarak uygulanabilir. Vakum uygulaması, muhtemelen katı çözelti arayüzündeki yüzey geriliminin bir sonucu olarak, ozmotik dehidrasyon sırasında, kapiler akışını ve kütle değişimini iyileştirmektedir

Moreno vd. (2004) Şili papayasına ozmotik dehidrasyon işlemlerinin (atmosfer basıncında (OD) ve 30 °C'de VI ) uygulanması,  $a_w$  ve nem değerlerini düşürmek ve çözünür madde miktarını arttırmak için etkili olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca VI işleminin, pH değişikliği olmaksızın ve ozmotik çözelti konsantrasyonuna bakılmaksızın kütle transferini desteklediğini açıklamışlardır. Karacaoğlu vd. , kivi dilimleri gibi ürünlere kurutma ön işlemi olarak vakum emdirme işlemi ile eş zamanlı olarak ultrasonikasyon işleminin uygulanmasının, vakum emdirme işlemine kıyasla emdirme çözeltisi ve ürün arasındaki kütle transfer hızını arttırdığını bildirmişlerdir.

### 3.5. Isıl İşlemden Kaynaklanan Yapı Bozukluklarının İyileştirilmesi

Vakum emdirmenin gıdaların termal özelliklerini değiştirmek için uygun bir teknik olduğu belirtilmiştir. Hammaddenin termal özellikleri, ürünün haşlanması, pastörizasyon veya sterilizasyon yoluyla korunması sırasında önemli bir rol oynamaktadır. Ürünün bileşimi ve yapısı, iletkenlik ve termal difüzyon katsayısının belirlenmesinde önemli derecede etkilidir. Ürünün yapısının ısıl işlemden önce uygulanan vakum emdirme ile değiştirilmesi, ısı iletiminin etkinliğini geliştirebilmekte ve ürünün kalitesini artırabilmektedir (Radziejewska-Kubzdela vd., 2014). Vakum emdirme tekniği kurutma teknolojisinde enerji tasarrufu sağlamak amacıyla da ön işlem olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Karacaoğlu vd., 2016). Termal iletkenlik ve yayılma, önemli ölçüde gıdaların bileşimi ve yapısı ile ilgilidir (Sasireka ve Ganapathy, 2016).

Nian vd. (2014), vakum emdirme yoluyla uygulanan kitosan manyetik nanopartiküller (CS @ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) ile kombine edilmiş ringa antifriz proteininin (hAFP), dondurma-çözülme döngüleri sırasında kırmızı çipuranın protein konformasyonu ve nem durumu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçların, CS @ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> çözeltileri ile kombine edilmiş hAFP ile vakum impregnasyon yoluyla kırmızı çipura ön işleminin donma-çözülme hasarını en aza indirebileceğini, protein ve lipid oksidasyonunu önleyebileceğini gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca sonuçların, hAFP'nin F-T döngüleri sırasında çipura üzerinde, termal stabiliteyi ve viskoelastisiteyi geliştirerek, su hareketliliğini ve dağılımını kısıtlayarak oldukça etkili olduğunu gösterdiğini, VI işleminin, nihai ürünün kalitesini artırmak için değerli bileşikleri dahil etmek için etkili bir metodoloji olabileceğini bildirmişlerdir.

### 3.6. Yapının İyileştirilmesi

Gıdaların işlenmesinde vakum emdirme, ham maddenin yapısını iyileştirmek için de kullanılabilir. Vakum emdirme ile işlenmiş gıda ürünlerinin tekstür kalitesi, büyük ölçüde kullanılan emdirme çözeltilerinin türü ile ilişkilidir. Farklı çözelti türlerine daldırılan doku hücreleri farklı tepkiler verir.

A) İzotonik çözelti: Hücre zarının içinde ve dışında aynı çözünen konsantrasyonu.

B) Hipotonik çözelti: Hücre zarının dışında, içine göre daha az çözünen molekül.

C) Hipertonik çözelti: Hücre zarının dışında, içinde olduğundan daha fazla çözünen konsantrasyonu.

Özellikle VI bileşimsel olarak formüle edilmiş veya minimum düzeyde işlenmiş meyve ve sebze ürünleri geliştirmek için kullanıldığında, farklı tipte VI çözeltilerinin (izotonik, hipertonic ve hipotonik) kütle aktarım hızı üzerindeki kontrolü önemlidir.

Hipotonik veya izotonik çözeltiler içeren VI, taze elmanın sertliğini değiştirmemiş, ancak VI hipertonic çözelti ile olduğunda sertliği büyük ölçüde azaltmış ve eşzamanlı olarak örnek dehidre olmuştur (Sasireka ve Ganapathy, 2016)

Vakum emdirmenin kullanımı, diğer yapı oluşturan bileşiklerin, örneğin poliaminlerin bitki dokusuna katılmasına izin verirken, ürünün yapısı da yenilebilir kaplamaların oluşumu nedeniyle değiştirilebilir. Poliaminler, kalsiyum iyonları ile benzer özellikler gösterirler. Hücre duvarlarına ve orta lamelde bulunan pektinlere bağlanabilirler. Diğer açıdan, hasarlı dokularda etilen sentezini engelleyebilir ve dokuların yumuşamasından sorumlu enzimlerin etkisini azaltabilirler (Radziejewska-Kubzdela vd., 2014). Vargas vd. (2009) havucu kitosan bazlı yenilebilir filmle kaplamak için vakum emdirme işlemi uygulamışlardır. Vakum emdirme ile kaplamanın, depolama sırasında havuç dilimlerinin mekanik özelliklerinde ve renginde önemli düzeyde iyileşme ile sonuçlandığı bildirilmiştir. Yenilebilir kaplamaların oluşumu için vakum emdirme tekniği, Talens vd. (2012) tarafından da araştırılmıştır. Araştırmacılar bu tekniği kısmen kurutulmuş ananasları kazeinat veya kitosan bazlı yenilebilir kaplamalar ile kaplamak için uygulamışlardır. Kurutulmuş ananasların, vakum emdirme kullanılarak kazeinat içeren bir emülsiyonla kaplanmasının, ürünün raf ömrünün uzamasına katkıda bulunduğu bildirilmiştir.

### 3.7. Renk, Aroma ve Tat İyileştirilmesi

Meyve ve sebze ürünlerinin kalitesini sınırlayan faktörlerden biri de renk bozulmasıdır. Çoğunlukla renk değişikliği, bitki dokusunda meydana gelen enzimatik esmerleşmenin bir sonucu olarak gerçekleşir. Bu reaksiyon, fenolik bileşiklerin oksijen ile oksidasyonunu katalize eden polifenol oksidazlar grubu enzimlerinin aktivitesi ile ilişkilidir. Dokunun enzimatik esmerleşme inhibitörleri içeren çözeltiler ile yoğun bir şekilde vakum emdirme yapılması veya hücre içi boşluktan oksijenin uzaklaştırılması yoluyla yapılan vakum emdirme yönteminin, ürün rengindeki olumsuz değişikliklerin önlenmesine katkıda bulunabileceği belirtilmektedir (Radziejewska-Kubzdela vd., 2014)

Perez-Cabrera vd. (2011) tarafından yapılan çalışma, enzimatik esmerleşmeyi inhibe etmek için vakum emdirme uygulamasına örnek olarak verilebilir. Armutların vakum emdirilmesi sırasında araştırmacılar, minimal işlenmiş armut örneklerine (*Pirus comunis*, cv. *Blanquilla*) kalsiyum laktat ile kombine edilmiş veya edilmemiş, esmerleşmeyi önleyici

bileşikler (EDTA, 4-heksilresorsinol, sitrat ve askorbat) içeren farklı izotonik çözeltiler kullanmıştır. Renkteki olumsuz değişiklikleri en etkili olarak engelleyen uygulama, armutların kalsiyum laktat içeren askorbat çözeltileri ile vakumla emprenye edilmesinin bir sonucu olarak gözlenmiştir. Yılmaz ve Bilek (2017b) çalışmalarında, vakum emdirme tekniğini kullanarak siyah havuç konsantresi ile elma dokusunun doğal renklendirici ile zenginleştirilmesini araştırmışlardır. Yeni bir fonksiyonel taze meyve ürünü olarak, vakum emdirme yöntemi ile siyah havuç konsantresi, kalsiyum laktat ve laktik asit içeren renkli elma diskleri formüle edilerek üretilmiştir.

Literatürde ayrıca, vakum emdirmenin, aroma veya tat gibi ürünün duyuşal özelliklerinin modifikasyonu üzerindeki etkileri belirtilmiştir. Comandini vd. (2010) , elma dilimlerinin yeşil elma aroması ile vakum emdirilmesini araştırmışlardır. Vakum emdirme işlemi, vakumda veya atmosferik basınçta gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numuneler atmosferik basınçta veya ultrason teknolojisi kullanılarak 2.5, 5.0 ve 12.5 dakika süreyle bir çözeltili içerisinde saklanmıştır. En iyi etkinin, vakum emdirme işlemi ile vakum emdirme ve ultrason teknolojisinin kombinasyonu olan uygulamasıyla sağlandığı bulunmuştur. Hofmeister vd. (2005), bir Brezilya peyniri olan Minas peynirinin tuzlama işleminde vakum emdirme yöntemini, tuzlamanın farklı yönlerini görselleştirmek için metilen mavisi ile boyanmış tuz çözeltileri kullanarak incelemiştir. Araştırmacılar, deneysel sonuçların tuz konsantrasyonu için, Minas peynirinin vakumla tuzlanmasının daha homojen tuz konsantrasyonuna sahip ürünler elde etmek için basit ve etkili bir prosedür olduğunu bildirmiştir.

Tamer vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada; yeşil sofralık zeytin cv. “Domat” için acı giderme işleminin uzunluğunu kısaltmak için bir sodyum klorür (NaCl) veya sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ve bunların karışımıyla vakum emdirme uygulanmıştır. Vakum emdirme işleminde NaOH ile NaCl kombinasyonunun kullanılması ile, acılık giderme süresi yaklaşık sekiz kat azalmıştır. Ancak toplam fenolik bileşik miktarındaki azalma bu uygulamada daha fazla olmuştur. Atmosferik koşullar altında acılığı giderilen numunelerin, vakum altında işlenen numunelere göre daha yüksek toplam fenolik miktarına sahip olduğu bildirilmiştir.

### 3.8. Diğer Vakum Emdirme Uygulamaları

Fonksiyonel gıda üretmek için bir araç olarak vakum emdirme tekniğini kullanan çeşitli çalışmalarda, doğal gıdalardan ve ürünlerden (mandalina suyu, aloe tozu, kırmızı kuş üzümü konsantresi, bal vb.) elde edilen farklı zenginleştirici bileşiklerin gıda dokusuna yerleştirilmesi incelenmiştir. Çoğunlukla bu çalışmaların amacı, vakum emdirme tekniğini kullanarak potansiyel zenginleştirmeyi belirlemek, ürünün stabilitesi

için bir yöntem belirlemek, bunun yanı sıra eklenen bileşiklerin ürünün içeriği üzerindeki etkisini belirlemektir (Radziejewska-Kubzdela vd., 2014). Bazı çalışmalarda gıdalarda zenginleştirme için vakum emdirme işlemi ile birlikte uygulanan diğer işlemlerin etkisi incelenmiş veya farklı yöntemlerin etkinliğinin karşılaştırılması da yapılmıştır.

Röfle vd. (2011), taze kesilmiş elma dilimlerini bal ile zenginleştirmek için vakum emdirme işlemine ilave olarak esmerleşmeyi önleyici bileşikler ekleyerek zenginleştirilmiş meyveyi ozmotik dehidrasyona tabi tutmuşlardır. Elma dokusuna bal katılmasının, hem muameleye tabi tutulmayan elmalara kıyasla duyu kalitede bir azalmaya hem de polifenolik bileşiklerin ve antioksidan aktivitenin daha düşük içeriklerine neden olduğu bildirilmiştir.

Bir diğer çalışmada Moreno vd. (2017) tarafından, vakum emdirme tekniği (VI), geleneksel ve ohmik ısıtma (OH) kullanılarak elma küplerinin yarı esansiyel amino asit olan L-arginin ile zenginleştirmek amacıyla uygulanmıştır. Ek olarak, vakum emdirme /geleneksel ısıtma ve vakum emdirme / ohmik ısıtma kombine işlemlerinin etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmada kullanılan biyoaktif bileşik olan L-arginin, taze elma matrisine başarıyla emdirildiği, vakum emdirme işlemi sırasında VI ve OH'nin işlem kombinasyonunun, L-arginin içeriğinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış ve elma küplerinde hızlandırılmış kütle transferini ürettiği bildirilmiştir. Ayrıca araştırmacılar çalışmalarında elde ettikleri verilerin, 50°C'de VI/OH işleminin, L-arginin yönünden zengin kurutulmuş bir elma ürünü elde etmek için en uygun işlem olduğunu bildirmişlerdir.

Sharanabasava vd. (2018), alt barik (basınç altı) kızartma ve vakum emdirme sırasında Hindistana özgü bir ürün olan gulabjamun toplarının nem ve yağ içeriğindeki değişiklikleri incelemişlerdir. Gulabjamun, kızarmış ve ıslatılmış bir süt ürünüdür. Ürün, kahverengi rengi, pürüzsüz ve küresel şekli, topaksız yumuşak ve hafif süngerimsi gövdesi, tek tip granüler doku ve hoş bir pişmiş tat ile karakterize edilmektedir. Gulabjamun toplarının nem içeriğinin barik altı kızartma sırasında azaldığı, vakum emdirme sırasında arttığı ve yağ içeriği için ise bu durumun tersinin gerçekleştiği bildirilmiştir.

Zhang vd. (2019), vakum emdirme (VI) işlemi altında depolama süresince kalsiyum (Ca) ve pektin metilesteraz'ın (PME) hünnap meyvesinin kalite özellikleri ve pektin morfolojisi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kalsiyum klorür ve pektin metilesteraz ile kombine VI ile muamele edilmiş hünnaplardaki 56. günde ağırlık kaybı, kontrol grubundakinin % 60.36'sı olduğu, VI + Ca + PME grubundaki hünnapların sertliği, çözünür katı içeriği ve askorbik asit içeriği kontrol grubundakilerden daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Hünnapların kalitesinin VI + Ca + PME muamelesi

ile etkili bir şekilde korunduğu bildirilmiştir.

Zhao vd. (2019), üzüm çekirdeği ekstresi ile birleştirilen balık jelatininin etkilerini, 12 gün boyunca soğutulmuş tilapia filetolarına vakum emdirme (VI) işleminin uygulanması yoluyla incelemişlerdir. VI işlemi kullanılarak üzüm çekirdeği ekstresi ile birleştirilen balık jelatini bazlı kaplamaların kullanılmasının, damlama kaybını, tekstür değişikliklerini ve mikrobiyal sağkalımı azaltarak balıkların kalitesini önemli ölçüde iyileştirdiği açıklanmıştır. Ayrıca disülfid bağlarının ve karbonil gruplarının oluşumunu inhibe ederek ve daha yüksek bir sülfidril içeriği ve  $Ca^{2+}$  -ATPaz aktivitesini koruyarak protein oksidasyonunu geciktirdiği bildirilmiştir. Atomik kuvvet mikroskobu (Atomic force microscopy) incelemesi ile ayrıca balık jelatini-üzüm çekirdeği ekstresi kaplamasının uzunluk, genişlik ve yüksekliklerini koruyarak miyofibril nanoyapılarını koruduğunu ortaya çıkarılmıştır.

#### 4.SONUÇ

Vakum emdirme, ilk defa yaklaşık 30 yıl önce önerilmiş bir yöntem olsa da, günümüzde bu konu üzerinde çalışmaların sürüyor olması ve farklı potansiyel uygulamalarının bulunması sebebiyle hala gelişmekte olan yeni bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir. Gıdaların üç boyutlu mikro yapısının kullanımına dayalı ilk gıda işleme tekniği olan vakum emdirme, birçok avantaja sahiptir. Vakum emdirme işlemi, gıda işleme endüstrilerinde dehidrasyon, gıda zenginleştirme, ön işleme yöntemleri, acılık giderme prosesleri, pH düşürme, antimikrobiyal etki sağlama, ürünlerin mikro yapısının değiştirilmesi, probiyotik gıda üretimi, gıda tuzlanması vb. amaçlar için büyük uygulama potansiyeli taşımaktadır. Vakum emdirme tekniği, bazı proseslerde ön işlem ya da son işlem olarak kullanılabilir. Vakum emdirme, gıdalara mineral, vitamin, fenolik madde, çeşitli biyoaktif bileşenler, antimikrobiyal madde, esmerleşmeyi önleyici madde, enzim vb. maddelerin aktarılmasında kullanılan bir yöntem olması nedeniyle fonksiyonel gıda üretiminde de geniş bir kullanım alanı bulma potansiyelindedir. Özel tüketici grupları da göz önünde alındığında vakum emdirme tekniği ile gıda matrisine çeşitli maddelerin aktarılması gıda endüstrisinde yeni alternatif ürünlerin geliştirilmesi için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu işlem hızlı bir işlem olması, düşük enerji maliyetleri gerektirmesi, oda sıcaklığında uygulanması ve harici çözeltisinin birçok kez yeniden kullanılabilmesi gibi mühendislik avantajlarına da sahiptir. Bununla birlikte, VI karmaşık bir işlemdir ve birçok iç ve dış değişkenden etkilenir. VI'daki teknik sorunları en aza indirmek için daha fazla çalışmanın yapılması gerekmektedir.



**Tablo 2.** Farklı ürünlerde vakum emdirmeye işleminin fonksiyonel özellikler ve teknolojik parametreler üzerine etkisi

Ürün	Vakum Em-dirme Sıvısı	Koşullar	İncelenen Fonksiyonel ve Teknolojik Parametreler	Sonuç	Referans
Armut ( <i>Pirus cocomunis</i> , cv. <i>Blanquilla</i> )	Kalsiyum ve laktat ile birleştirilmiş esmerleşmeyi önleyici bileşikler içeren izotonik çözeltiler	1) 5000 Pa, 5 dk. 2) $P_{atm}$ 10 dk. 4 °C'de paketlenme ve depolama	Renk, mekanik özellikler, ambalaj tepesi boşluğunda solunum gazlarının ve uçucuların gelişimi ve mikrobiyal sayımlar	Raf ömrünü uzama	Pe-rez-Cab-rera vd., 2011
Armut dilimleri	3 farklı kaynaktan % 0,4 ila % 0,8 arasında $\alpha$ -tocopherol ile seyreltilmiş % 20'lik çiçek balı çözeltisi	1) 100 mmHg, 15 dk. vakum 2) Patm 30 dk. 3) 2 °C ve %88 bağımlı nemde 2 haftaya kadar saklama	Mikrobiyal sayımlar, tüketici duyuşal değerlendirmesi, E vitamini stabilite testleri, renk, pH, titre edilebilir asitlik, toplam çözünür katımlar, nem içeriği, renk, tekstür E vitamini içeriği	VI işlemi armutta E vitamini içeriğinde 80–100 kat artış sağlamıştır. Meyvelerin 2°C sıcaklıkta 2 haftalık depolanması süresince E vitamini % 65 ila % 80 oranında korunmuştur.	Lin vd., 2006
Çilek (cv. <i>Camarosa</i> )	Sakaroz çözeltisi 65 °Briks 2 ppm potasyum sorbat ve 1,13 g/L kalsiyum klorür	1) 50 mbar, 5 dk. 2) $P_{atm}$ 5 dk. 5 ve 10 °C'de depolama	$a_w$ , renk, sertlik, mikro yapı, mikrobiyal stabilite	Sertlik ve renkte daha az kayıp, 5 °C'de depolanan çileklerin raf ömründe artış	Moreno vd., 2012
Çilek (bütün)	Trehaloz çözeltisi, antifriz proteini (AFP), her ikisinin kombinasyonu	1) 4,5 dk. boyunca vakumun kademeli olarak artması 2) 86 kPa'da 5 dk. (manometrik) 3) Vakumun 4,5 dak. boyunca kademeli olarak serbest bırakılması	Kütle kazancı, damlama kaybı, hücre canlılığı, sıklık	meyvenin donma toleransında önemli ölçüde iyileşme.	Velickova vd., 2013
Çilek reçeli	0,29 ila 2,34 mol/L sakaroz çözeltisi	1) 4 kPa, 0-60 dk.	Renk Antosiyanin içeriği ve antioksidan aktivite	Antioksidan aktivite ve reçel renginde iyileşme	Watana-be vd., 2011
Çipura filetosu (Gilt-head) ( <i>Sparus aurata</i> )	Laktik asit bakterileri Nisin	1) 50 mbar, 5 dk. 2) $P_{atm}$ 5 dk. 4 °C'de 15 gün saklama	Nem içeriği, pH, renk, toplam canlı bakteri sayımı, azot bazlı toplam uçucu madde	Fiziko-kimyasal özellikler değişimsiz raf ömrünü uzama.	And-rés-Bello vd., 2014



Elma	Elma kabuğu özü ile zenginleştirilmiş ticari elma suyu	1) 100-800 mbar, 5 dk. vakum 2) $P_{atm}$ 10 dk. 3) 10 dk. bekletme ve yüzeyde kalan çözeltinin damlaması	$\mu$ CT ile X-ray analizi, çözünür katı içeriği, sertlik, 3D bilgisayarlı tomografi analizi, gözeneklilik, toplam gözenek hacmi Flavonoid analizleri, Vakum emdirme işlemi uygulanmış elmaların kuersetin bileşimi	Çalışma, elma korteksindeki gözenek boyutu ve mikro yapı farklılıklarının zenginleştirme sürecini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. 13 elma çeşidinin vakum emdirme işlemi uygulanması 368-604 $\mu$ g/g d.m'lik kuersetin içeriği sağlarken, içerik yerli elmanın sertliği ile korelasyon göstermiştir. VI'nın elmanın iç kısımlarında dış kısımlarına göre daha etkili olduğu bildirilmiştir.	Schulze vd., 2012
Elma dilimleri	0,3 g/100 mL elma kabuğu özü içeren elma suyu, yüksek flavonoidler içerir	1) 100 hPa, 5 dk. 2) $P_{atm}$ 5 dk.	Yüzey alanı, kitle yoğunluğu, renk, nem içeriği ve su aktivitesi Kuersetin türevleri içeriği, Kuersetin stabilitesi	Dokularda daha yüksek nem içeriği, ağırlık artışı ve esmerleşme değerlerinde artış	Schulze vd., 2014
Elma dilimleri	Siyah havuç konsantresi (63,25 °Bx), kalsiyum laktat ve laktik asit çözeltileri	1) 650 mmHg, 10 dk. vakum 2) $P_{atm}$ 30 dk.	Tekstür, renk ve duyu analizler Laktik asit içeriği, kalsiyum içeriği, toplam fenolik, toplam flavonoid, antioksidan kapasite	Tekstürel özellikler, fenolik bileşikler ve antioksidan kapasite açısından işlem görmemiş ürün ile fark oluşmadan doğal renk kazandırma ve kalsiyum ile zenginleştirme	Yılmaz ve Bilek, 2017a
Elma dilimleri	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> içeren ticari elma suyu, ve $10^7$ veya $10^8$ kob/ml <i>Lactobacillus casei</i> (spp. <i>rhamnosus</i> ) içeren tam yağlı süt veya elma suyu	1) 50 mbar, 10 dk. vakum 2) $P_{atm}$ 10 dk. 3) VI elma örneklerinin 40 °C'de 0.037 kg su/kg kuru madde su içeriğine kadar havayla kurutulması ve iki ay boyunca oda sıcaklığında saklanması	$a_w$ , nem içeriği, pH, kriyo-SEM, etkili gözeneklilik, mikrobiyal sayımlar <i>Lactobacillus casei</i> (spp. <i>rhamnosus</i> ) içeriği	$10^6$ - $10^7$ kob/g mikrobiyal içeriğe sahip kurutulmuş elma üretimi başarıyla gerçekleştirilerek, probiyotik etkiye sahip kurutulmuş meyve ürünleri geliştirmek için VI ile konveksiyonel kurutma yöntemini birleştiren bir işlem önerilmiştir.	Betoret vd., 2003

Elma dilimleri	%0.4 $\alpha$ -tokoferol asetat, %7.5 Gluconal Cal (GC) ve %0.04 çinko laktat (ZL) içeren %20 seyreltilmiş yüksek fruktozlu mısır şurubu (HFCS) veya %1 kalsiyum kazeinat (CC) sulu çözeltileri	1) 100 mmHg, 15 dk vakum 2) Patm 30 dk. 3) elmaların polivinil klorür (PVC) menteşeli şeffaf kaplarda paketlenmesi ve 2 °C'de ve 3 haftaya kadar %88 bağıl nemde saklanması	Mikrobiyal analizler, renk, sertlik, duyuşal değerlendirme, tekstür E vitamini, Kalsiyum ve Çinko içerikleri	VI elmalarda 100 g elma için 100 kat daha fazla E vitamini ve yaklaşık 20 kat daha yüksek kalsiyum ve çinko içeriği elde edilmiştir.	Park vd., 2005
Elma dilimleri ( <i>Malus domestica</i> , var. <i>Golden Delicious</i> )	Askorik asit (%0.5 w/w) ve yeşil elma aroması (%0.5 w/w) içeren bir fruktoz izotonik çözeltisi (14.0–15.0 °Bx)	1) 280 mbar, 5 dk vakum 2) P <sub>atm</sub> 1,5 dk. 3) elma dilimlerinin 2.5, 5.0 veya 12.5 dakika boyunca daldırılmış halde tutulması	Farklı empenye teknikleri ve işlem süreleri ile elde edilen aromaların bağıl miktarları	VI ile vakum emdirme ve ultrason teknolojisinin kombinasyonu olan (VUSI) uygulamıyla etkin işlemin sağlandığı bulunmuştur.	Comandini vd., 2010
Elma dilimleri ( <i>Royal Gala</i> )	kalsiyum veya çinko içeren seyreltilmiş yüksek fruktozlu mısır şurubu		Renk, mineral analizleri, tekstür, a <sub>w</sub> , nem içeriği, pH, çözünabilir katılar, titre edilebilir asitlik, toplam asitlik Kalsiyum içeriği, çinko içeriği	200 g taze kesilmiş elma tüketimi ile Kalsiyum ve Günlük Referans Alımının % 15-20'sinin ve Günlük Referans Çinko Alımının ise % 40'ının sağlanabileceği belirtilmiş, depolama süresince, çinko içeren VI'nın renk stabilitesinin önemli ölçüde iyileştirildiği ve kalsiyumun elmanın sertlik değerlerinde artış	Xie ve Zhao, 2003
Hindiba, karnabahar, brokoli ve havuç	5 ve 30 g/L Aloe vera tozu içeren izotonik sakaroz çözeltileri	1) 50 mbar, 10 dk. 2) P <sub>atm</sub> 10 dk.	a <sub>w</sub> , su içeriği, çözünür katı içeriği, gerçek ve görünür yoğunluklar, pH ve solunum hızı Aloe vera içeriği	VI, ile farklı oranlarda Aloe vera ile zenginleştirme ve metabolik strese karşı koruma	Sanzana vd., 2011
Hünnap ( <i>Zizyphus jujube Miller</i> )	Kalsiyum klorür (%1 w/w, CaCl <sub>2</sub> ) ve pektin metilesteraz (PME) (15 U/mL) çözeltileri	1) 20°C'de 5kPa, 10 dk. 2) P <sub>atm</sub> 10 saniye 3) 5 dk. emdirme çözeltilisinde bekletme 4) 1±1 °C sıcaklık ve %75 bağıl nemde polietilen tereftalat ambalajında buzdolabında muhafaza	Sertlik, ağırlık kaybı, çözünür katı içeriği ve pektin içeriği Askorbik asit içeriği	VI ile muamele edilmiş örneklerde daha az ağırlık kaybı, kontrol grubundakilerden daha yüksek sertlik değeri, çözünür madde içeriği ve askorbik asit içeriği, kalitede etkili bir şekilde korunma.	Zhang vd., 2019

Ispanak yaprakları ( <i>Spinacia oleracea</i> )	%40 (w/w) trehaloz çözeltisi	1) 3 dk. boyunca vakumun kademeli olarak artırılması 2) 86 kPa'da 20 dakikalık bir bekletme süresi 3) 2 dk. boyunca vakumun kademeli olarak serbest bırakılması	Hücre canlılığı ve şişkinlik	PEF ile birlikte uygulamada donma toleransını geliştirme	Phoon vd., 2008
Kabak ( <i>Cucurbita pepo</i> L.)	Maltodekstrin çözeltileri, NaCl ve CaCl <sub>2</sub>	1) 25 mbar, 10 dk. 2) P <sub>atm</sub> 30 dk.	Toplam katılar, çözünür katılar, tuz ve kalsiyum içeriği, tekstür ve kryo-SEM	Dokusal ve mikroyapısal değişikliklerde azalma, çözünen madde ve su kazanımında artış	Occhino vd., 2011
Kabak ( <i>Cucurbita pepo</i> , L)	Yapı geliştirici bileşenleri içeren karma çözeltiler (maltodekstrinler, tuz ve CaCl <sub>2</sub> )	1) 20°C'de 25 mbar, 10 dk. vakum 2) 30 dk. vakum sonrası veya gevşeme süresi	Toplam katılar, çözünür katılar, tuz ve kalsiyum içeriği, tekstür ve kryo-SEM	Maltodekstrin, NaCl ve CaCl <sub>2</sub> çözeltileri ile yapılan vakum emdirmenin dokusal ve mikroyapısal değişiklikleri sınırlarken çözünen ve su kazanımını desteklediği bildirilmiştir.	Velickova vd., 2013
Kurutulmuş kuşkirazı meyvesi	Taze sıkılmış elma-armut suyu (12.4°Bx)	1) 4, 6 veya 8 kPa, 2 dk. vakum 2) 2 dk. düşük basınçta infiltrasyon 3) 15 sn. vakum serbest bırakma 4) P <sub>atm</sub> 10 dk. 5) meyvelerin filtre edilmesi tartılması ve kurutulması	Fruktoz, glikoz ve sorbitol içeriği, aw Polifenolik bileşik içeriği ve antioksidan aktivite	Biyoaktif bileşik içeriğinde artış, VI işlemi ile kurutma sonrası antioksidan stabilitede olumlu etki, biyoaktif bileşik içeriği açısından en iyi ürünün 4 kPa vakum basıncında emdirme koşullarında elde edildiği bildirilmiştir.	Nawirska-Olszańska vd., 2020
Patates (bütün)	%70 askorbik asit çözeltisi	1) 70 cmHg, 0-60 dk. 2) P <sub>atm</sub> 3saat pişirme ve 4°C'de 15 gün saklama	Askorbik asit (AA) içeriği -	VI ile yetişkinler için önerilen günlük AA miktarının %90-100'ünü karşılayabilecek düzeyde AA zenginleştirme	Hironaka vd., 2011

Patates ( <i>Solanum tuberosum L.</i> ) cipsi	Farklı konsantrasyonlarda kalsiyum laktat ve çinko sülfat çözeltisi karışımı	Ayarlanan süre için arzu edilen vakum seviyesine (her çalışma için 15 <i>dakika</i> ) ulaşıldıktan sonra, ham cipsler, atmosfer basıncında önceden belirlenmiş bir restorasyon süresine 1:3 oranında özel konsantrasyondaki takviye edici çözelti karışımında tutulmuştur	Kalsiyum ve çinko içeriği (Mikrodalga Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi) Duyusal değerlendirme	Yaklaşık 70-80 <i>mmHg</i> vakum basıncında, her iki mineral için de maksimum düzeyde vakum emdirme sağlanmıştır. Çalışmada optimizasyondan sonra sonuçların, % 4,81 kalsiyum laktat, % 0,72 çinko sülfat olarak bildirilmiştir. 19,52 <i>dakikalık</i> restorasyon süresi ile 33,53 <i>mmHg</i> 'lik vakum emdirme ile patates cipsine kazandırılan kalsiyum ve çinko miktarının hedeflenen tüketici grubun (4-17 yaş) kalsiyum ve çinko ihtiyacını sırasıyla % 10 ve % 21 oranında karşılayabilecek düzeyde zenginleştirme yapılabileceği bildirilmiştir.	Joshi vd., 2016
Patates ( <i>Solanum tuberosum</i> ) cipsi	NaCl izotonik çözeltisi, kalsiyum laktat, D1- $\alpha$ -tokoferol asetat ve L-askorbik asit çözeltileri	1) 50,8-77,9 <i>kPa</i> , 3-5 <i>dk</i> . 2) $P_{atm}$ 3-5 <i>dk</i> .	Taramalı Elektron Mikroskobu ile mikroyapı analizi, duyusal analiz, etkili gözeneklilik Kalsiyum, C vitamini, E vitamini içerikleri	C ve E vitaminleri ve kalsiyum ile zenginleştirilmiş, kurutulmuş ve az yağlı patates cipsi üretimi	Duarte-Correa vd., 2019
Patates cipsi	Kalsiyum klorür çözeltisi	1) 15 <i>mmHg</i> vakum basıncında, farklı haşlama, vakum ve restorasyon süresi kombinasyonları kullanılarak	Tekstür, lezzet, SEM görüntüleme, duyusal analiz ve raf ömrü çalışmaları Kalsiyum içeriği, akrilamid içeriği	Patates cipslerindeki kalsiyum konsantrasyonunun 154,65 <i>mg</i> 'den 700 <i>mg</i> /100 <i>g</i> 'a yükseltiştirilerek, kontrol örneğine göre 4,5 kat daha yüksek kalsiyum içeriğinin sağlanması	Tiwari vd., 2018
Patates yumrusu (bütün)	0,4 <i>g</i> /100 <i>g</i> demir (ferrik pirofosfat) çözeltisi	1) 1000 <i>Pa</i> , 0-120 <i>dk</i> . 2) $P_{atm}$ 0-4 <i>sa</i> . 4 °C'de 30 <i>gün</i> saklama	Demir tayini -	Vakum emdirme sonrası pişirilen patateslerde 6 kat daha yüksek demir içeriği	Erihemu vd., 2014

Sığır eti	İzotonik sodyum klorür çözeltisi	1) 20,3 ve 71.1 <i>kPa</i> vakum basıncı ( $p_v$ ); 0.5, 2.0 ve 4.0 <i>saat</i> ( $t_1$ ) 2) $P_{atm}$ ; 0.0, 0.5, 2.0 ve 4.0 <i>saat</i> ( $t_2$ )	Hacim fraksiyonları, deformasyon seviyeleri, mikroyapı, SEM, Et, İzotonik Çözelti ve Parafin Mumunun Fiziko-Kimyasal Özellikleri, etkin porozite	En yüksek impregnasyon ve deformasyon değerleri 71.1 <i>kPa</i> basınç ve 4.0 <i>saat</i> sürede elde edilmiştir. En yüksek etkin gözeneklilik (% 14.0), 20.3 <i>kPa</i> 'lık basınç ve 4.0 <i>saat</i> sürede elde edilirken, et liflerinin en geniş gerilmesi (98 $\mu$ m) seviyelerinde gözlenmiştir. Sonuçların, etin kalitesini artırmak için izotonik sodyum klorür ile vakum emdirme işleminin uygulanabileceğini gösterdiği bildirilmiştir.	Leal-Ramos vd., 2018
Yer mantarı ( <i>Genus Tuber</i> )	Antifriz proteinini tip III içeren çözelti	1) 50 <i>mbar</i> ; 3 <i>dk.</i> $P_{atm}$ 5 ( <i>dak.</i> ) 2) 200 <i>mbar</i> ; 5 <i>dk.</i> $P_{atm}$ 10 <i>dak.</i> 3) 350 <i>mbar</i> ; 7 <i>dk.</i> $P_{atm}$ 15 <i>dak.</i>	Nem içeriği, yoğunluk, gözeneklilik	Ağırlık ve gözeneklilik fraksiyonunda artış ve taze yer mantarına benzer bir kıvam, dokuda korunma	Derossi vd., 2015

## V. KAYNAKLAR

- Aguilera, J. M., 2005. "Why food microstructure?", *Journal of Food Engineering*, 67 (2005) 3–11.
- Andrés-Bello, A., De Jesús, C., García-Segovia, P., Pagán-Moreno M. J., Martínez-Monzó, J., 2014. Vacuum impregnation as a tool to introduce biopreservatives in gilthead sea bream fillets (*Sparus aurata*), *LWT - Food Science and Technology*, 60 (2), 758-765. doi: 10.1016/j.lwt.2014.09.063.
- Betoret, N., Puente, L., Diaz, M. J., Pagan, M. J., Garcia, M. J., Gras, M. L., Martinez-Monzo, J., Fito, P., 2003. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation, *Journal of Food Engineering* 56:273–277.
- Betoret, E., Betoret N., Rocculi P., Rosa, M.D., 2015. Structure-property relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies, *Trends in Food Science & Technology*, doi: 10.1016/j.tifs.2015.07.006,
- Comandini, P., Blanda, G., Paz, H. M., Fragoso, A.V., Toschi, T.G., 2010. Impregnation Techniques for Aroma Enrichment of Apple Sticks: A Preliminary Study, *Food and Bioprocess Technology*, 3:861–866. doi: 10.1007/s11947-010-0385-6.
- Comandini, P., 2012. Development of Instrumental and Sensory Analytical Methods of Food Obtained by Traditional and Emerging Technologies", *Scienze e Tecnologie Alimentari*, PhD Thesis, Alma Mater Studiorum - University of Bologna-Italy.
- Derossi, A., De Pilli T., Severini, C., 2010. Reduction in the ph of Vegetables by Vacuum Impregnation: A Study on Pepper, *Journal of Food Engineering*, 99: 9–15.
- Derossi, A., De Pilli T., Severini, C. 2012. The Application of Vacuum Impregnation Techniques in Food Industry, in: *Scientific, Health and Social Aspects of the Food Industry*, (eds: Valdez, B., Schorr M., Zlatev, R.), Intech Open, 27.
- Derossi, A., Iliceto, A., De Pilli, T., Severini, C., 2015. Application of vacuum impregnation with anti-freezing proteins to improve the quality of truffles, *Journal of Food Science and Technology*, 52 (11), 7200-7208. doi: 10.1007/s13197-015-1843-y.
- Duarte-Correa, Y., Granda-Restrepo, D., Corte's, M., Vega-Castro, O., 2019. Potato Snacks Added With Active Components: Effects Of The Vacuum Impregnation And Drying Processes, *Journal of Food Science and Technology*, 57 (4), 1523-1534.
- Erihemu, Hironaka, K., Oda, Y., Koaze, H., 2014. Iron enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation, *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 504–509, doi:10.1016/j.lwt.2014.04.043.

- Fito, P. 1994. Modelling of Vacuum Osmotic Dehydration of Food, *Journal of Food Engineering*, 22: 313-328. doi:10.1016/b978-1-85861-037-5.50022-9,
- Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Chafer, M., Martinez-Monzo, J., Andres, A., Vidal, D. 2001. Vacuum Impregnation and Osmotic Dehydration in Matrix Engineering Application in Functional Fresh Food Development, *Journal of Food Engineering*, 49:175-183.
- Hironaka, K., Kikuchi, M., Koaze, H., Sato, T., Kojima, M., Yamamoto, K., ... Tsuda, S., 2011. Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation, *Food Chemistry*, 127(3), 1114–1118. doi:10.1016/j.foodchem.2011.01.11.
- Hofmeister, L. C., Souza, J., A., R., Laurindo, J. B., 2005. Use Of Dyed Solutions To Visualize Different Aspects Of Vacuum Impregnation of Minas Cheese, *LWT* 38, 379–386.
- Joshi, A., Kar, A., Rudra, S. G., Sagar, V. R., Varghese, E., Lad, M., Khan, I., Singh, B., 2016. Vacuum Impregnation: A Promising Way For Mineral Fortification In Potato Porous Matrix (Potato Chips), *J Food Sci Technol*, 53 (12), 4348-4353. doi:10.1007/s13197-016-2424-4.
- Kang, J., Kang, D., 2017. Antimicrobial Efficacy Of Vacuum Impregnation Washing With Malic Acid Applied To Whole Paprika, Carrots, King Oyster Mushrooms And Muskmelons, *Food Control*, 82 (2017) 126-135.
- Karacaoğlu, C., Gürsoy O., Yılmaz, Y., 2016. Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon (Emdirme) Tekniği ile Muamele İşleminin Kivi Dilimlerinin Kuruma Kinetiği Üzerine Etkisi”, *Akademik Gıda*, 14(3) :256-266.
- Leal-Ramos, M. Y., Alarcón-Rojo, A. D., Gutiérrez-Méndez, N., Mújica-Paz, H., Rodríguez-Almeida F., Quintero-Ramos, A., 2018. Improving Cull Cow Meat Quality Using Vacuum Impregnation, *Foods*, 7, 74; doi:10.3390/foods7050074.
- Lin, D. S., Leonard, S. W., Lederer, C., Traber, M. G., Zhao, Y., 2006. Retention of Fortified Vitamin E and Sensory Quality of Fresh-Cut Pears by Vacuum Impregnation With Honey, *Journal of Food Science*, Vol. 71, Nr. 7.
- Moreno, J., Bagueño, G., Velasco, V., Petzold, G., Tabilo-Munizaga, G., 2004. Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation on Physicochemical Properties of Chilean Papaya (*Carica candamarcensis*), *Journal of Food Science*, Vol. 69, Nr. 3.
- Martin-Esparza, E., Gonzalez-Martinez, C. 2008. Osmotic Dehydration – Vacuum Impregnation of Fruit, *Experiments in Unit Operations and Processing of Foods*, 47-51.
- Moreno, J., Simpson, R., Baeza, A., Morales, J., Muñoz, C., Sastry S., Almonacid, S., 2012. Effect of Ohmic Heating And Vacuum Impregnation On The Osmodehydration Kinetics And Microstructure Of Strawberries (Cv. Camarosa), *Food Science and Technology*, 45, 148-154.

- Moreno, J., Echeverria, J., Silva, A., Escudero, A., Petzold, G., Mella, K., Escudero, C., 2017. Apple Snack Enriched With L-Arginine Using Vacuum Impregnation/Ohmic Heating Technology, *Food Science and Technology International*, 23(5), 448–456.
- Nawirska-Olszańska, A., Paślowska, M., Stepień, B., Oziembłowski, M., Sala K., A. Smorowska, A., 2020. Effect of Vacuum Impregnation with Apple-Pear Juice on Content of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Dried Chokeberry Fruit, *Foods*, 9, 108; doi:10.3390/foods9010108.
- Nian, L., Cao, A., Cai, L., Ji, H., Liu, S., 2019. Effect of Vacuum Impregnation of Red Sea Bream (*Pagrosomus Major*) with Herring AFP Combined with CS@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles During Freeze-Thaw Cycles, *Food Chemistry*, 291, 139–148.
- Occhino, E., Hernando, I., Llorca, E., Neri L., Pittia, P., 2011. Effect of vacuum impregnation treatments to improve quality and texture of zucchini (*Cucurbita pepo*, L), *Procedia Food Science I*, 829 – 835.
- Park, S., Kodihalli I., Zhao, Y., 2005. Nutritional, Sensory, and Physicochemical Properties of Vitamin E- and Mineral-fortified Fresh-cut Apples by Use of Vacuum Impregnation, *Journal of Food Science*, 70(9):S593-S599.
- Perez-Cabrera, L., Chafer, M., Chiralt, A., Gonzalez-Martinez, C., 2011. Effectiveness of Antibrowning Agents Applied By Vacuum Impregnation On Minimally Processed Pear, *LWT- Food Science and Technology*, 44 (2011) 2273-2280.
- Phoon, P. Y., Galindo, F. G., Vicente, A., Dejmek, P., 2008. Pulsed electric field in combination with vacuum impregnation with trehalose improves the freezing tolerance of spinach leaves, *Journal of Food Engineering*, 88(1), 144–148. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.12.01.
- Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Kidoń, M., 2014. Applicability of Vacuum Impregnation to Modify Physico-Chemical, Sensory and Nutritive Characteristics of Plant Origin Products—A Review, *International Journal of Molecular Sciences*, 15:16577-16610; doi:10.3390/ijms150916577.
- Sanzana, S., Gras, M. L., Vidal-Brotóns, D., 2011. Functional foods enriched in Aloe vera. Effects of vacuum impregnation and temperature on the respiration rate and the respiratory quotient of some vegetables, *Procedia Food Science*, 1, 1528–1533. doi:10.1016/j.profoo.2011.09.226, 2011.
- Sasireka, R., Ganapathy, S., 2016. Vacuum Impregnation: Emerging Technology For Osmotic Dehydration Of Fruits And Vegetables, *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, Vol.(7)Issue(4), pp.039-047. doi: <http://dx.doi.org/10.21172/1.74.005> e-ISSN:2278-621X, 2016.
- Schulze, B., Peth, S., Hubbermann, E. M., Schwarz, K., 2012. The influence of vacuum impregnation on the fortification of apple parenchyma with quercetin derivatives in combination with pore structures X-ray analysis, *Jour-*



- nal of Food Engineering*, 109, 380–387.
- Schulze, B., Hubbermann E. M., Schwarz, K., 2014. Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage, *LWT - Food Science and Technology*, 57(1), 426–433. doi:10.1016/j.lwt.2013.11.021.
- Sharanabasava, M., Rekha, M., Kumar, P., Shivanand, Arjun V. M., Kalla, A. M., 2018. Changes in Moisture and Fat Content of Gulabjamun Balls during Sub-Baric Frying and Vacuum Impregnation, *International Journal of Chemical Studies*, 6(1): 1108-1111.
- Shen, S., Chen, Y., Dong, X., Liu, F., Cai, W., Wei, J., Jin, D., Lin, M., 2020. The effect of different salt concentration and time combinations in physico-chemical properties and microstructure of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedti*) fillets under vacuum impregnation, *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(2). doi: 10.1111/JFPP.14967.
- Talens, P., Pérez-Masía, R., Fabra, M. J., Vargas, M., Chiralt, A., 2012. Application Of Edible Coatings to Partially Dehydrated Pineapple for Use in Fruit–Cereal Products, *Journal of Food Engineering*, 112, 86–93.
- Tamer, C. E., İncedayı, B., Yıldız, B., Çopur, Ö. U., 2012. The Use of Vacuum Impregnation for Debittering Green Olives, *Food Bioprocess Technol*, 6(12), 3604–3612. doi: 10.1007/s11947-012-0971-x.
- Tiwari P., Thakur M., 2016. “Vacuum Impregnation: A Novel Non-thermal Technique to Improve Food Quality, *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology* ISSN: 2349-8080, 3(7).
- Tiwari, P., Joshi, A., Varghese, E., Thakur, M., 2018. Process standardization and storability of calcium fortified potato chips through vacuum impregnation, *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 3221-3231.
- Vargas, M., Chiralt, A., Albors, A., González-Martínez, C., 2009. Effect Of Chitosan-Based Edible Coatings Applied By Vacuum Impregnation On Quality Preservation Of Fresh-Cut Carrot, *Postharvest Biology and Technology*, 51, 263–271.
- Velickova, E., Tylewicz, U., Dalla Rosa, M., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Gómez Galindo, F., 2013. Effect of vacuum infused cryoprotectants on the freezing tolerance of strawberry tissues, *LWT - Food Science and Technology*, 52(2), 146–150. doi:10.1016/j.lwt.2011.09.013.
- Watanabe, Y., Yoshimoto, K., Okada, Y., Nomura, M., 2011. Effect of Impregnation using Sucrose Solution on Stability of Anthocyanin in Strawberry Jam, *LWT - Food Science and Technology*, 44(4), 891–895. doi:10.1016/j.lwt.2010.11.003.
- Xie, J., Zhao, Y., 2003. Nutritional enrichment of fresh apple (Royal Gala) by vacuum impregnation, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54(5):387 -398.

- Yılmaz, F. M., Bilek, S. E. 2017a. Vakumlu Emdirim (İmpregnasyon) Teknolojisinin Fonksiyonel Meyve ve Sebze Ürünlerinin Geliştirilmesinde Kullanımı, *Akademik Gıda*, 15(2):163-171, DOI: 10.24323/akademik-gida.333673
- Yılmaz F. M., Bilek, S. E., 2017b. Natural Colorant Enrichment Of Apple Tissue With Black Carrot Concentrate Using Vacuum İmpregnation, *International Journal of Food Science and Technology*, 52 (6), 1508-1516 . doi:10.1111/ijfs.13426.
- Zhang, L., Wang, P., Chen, F., Lai, S., Yu, H., Yang, H., 2019. Effects Of Calcium And Pectin Methylene Esterase On Quality Attributes And Pectin Morphology Of Jujube Fruit Under Vacuum İmpregnation During Storage, *Food Chemistry*, 289 (2019) 40–48.
- Zhao Y.Y., Xie, J. 2004. Practical Applications of Vacuum İmpregnation in Fruit and Vegetable Processing, *Trends in Food Science & Technology*, 15:434–451.
- Zhao, X., Zhou, Y., Zhao, L., Chen, L., He, Y., H. Yang, H., 2019. Vacuum İmpregnation of Fish Gelatin Combined With Grape Seed Extract İnhibits Protein Oxidation and Degradation of Chilled Tilapia Fillets, *Food Chemistry*, 294, 316–325.

## **BÖLÜM 7**

### **İKİ KADEMELİ BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMİNDE KONDENSER VE SOĞUTUCU AKIŞKAN TÜRÜNÜN PERFORMANS KATSAYISI ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL ANALİZİ**

*İsmail TUNÇİL<sup>1</sup>, Mutlu Tarık ÇAKIR<sup>2</sup>*

1 Arş. Gör. İsmail TUNÇİL: Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Makine Mühendisliği, ORCID: 0000-0001-6910-1019

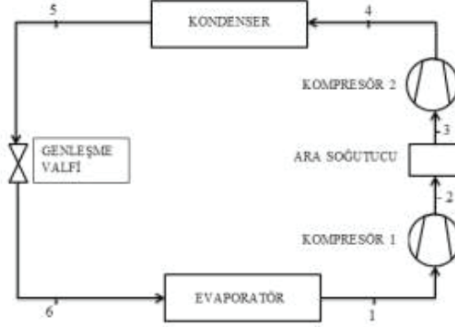
2 Doç. Dr. Öğr. Üyesi Mutlu Tarık ÇAKIR: Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Makine Mühendisliği, ORCID: 0000-0002-0107-594X

## 1-GİRİŞ

Buhar sıkıştırırmalı soğutma günümüzde yaygın olarak kullanılan soğutma sistemlerinden biridir. Buhar sıkıştırırmalı soğutmada temel elemanlar kompresör, kondenser, genişleme valfi ve evaporatördür [3]. Bu elemanlar birbirlerine bağlanarak bir kapalı devre oluştururlar. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimde soğutucu akışkan kompresörde sıkıştırılarak kızgın buhar haline getirilir daha sonra kondenserde kanatçıklı bakır borular ya da bu araştırmada kullanıldığı gibi alüminyum mikro kanallı kondenserde soğuyarak sıvı fazına dönüştürülür daha sonra genişleme valfinden basıncı düşürülerek evaporatöre gönderilir, evaporatöre gönderilen soğutucu akışkan evaporatör kanallarından geçerken bulunduğu ortamdaki ısıyı çekecek ortamın sıcaklığını düşürür ve gaz fazında kompresöre girer. Bu işlem tekrar tekrar gerçekleşerek çevrim sürekli hale gelir [4].

Genelde küçük kapasitedeki soğutma cihazlarında bakır borulu alüminyum kanatlı kondenserler kullanılmaktadır. Bu projede bakır borulu kondenser haricinde mikro kanallı kondenser de kullanılarak soğutucu akışkan ile temas yüzeyi artırılıp ısı transferi hızının değişimi incelenmiştir [13]. Ayrıca kademeli kompresör kullanılarak cihazın tek modda sürekli çalışmasının önüne geçilmiştir. Soğutma yüküne göre kompresör kademeli olarak çalışmış ve sistemde enerji verimliliği sağlanmıştır. Ayrıca tasarlanan cihazda en yüksek performans katsayısını (COP) elde edeceğimiz akışkan ve çalışma parametreleri belirlenmiştir.

Soğutma ihtiyacının olduğu bazı alanlar çok düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyabilir bu durumlarda soğutma sisteminin çalışması gereken çalışma aralığı (sıcaklık) çok yüksek olabilir. Çalışma aralığının yüksek olduğu durumlar yüksek basınç aralığı demektir ve bu durum kompresörün verimini azaltan bir durumdur. Çalışma aralığının yüksek istendiği sistemlerde çözüm olarak kademeli soğutma sistemi uygulanabilir [1]. Kademeli soğutma çevrimleri birçok şekilde tasarlanılabilir. Şekil-1' de örnek bir iki kademeli ve tek evaporatörlü soğutma sistemi görülmektedir [3]. Fakat iki kompresörün kullanıldığı durumlarda ikinci kompresörün zarar görmemesi için bir ısı değiştirici kullanılmalıdır.



Şekil-1.

Buharlaştırma sıcaklığındaki düşüş, soğutma çevriminin performans katsayısını düşürmektedir. Bu sebeple, düşük buharlaştırma sıcaklıklarının gerektiği durumlarda kademeli soğutma yaparak kompresörden çıkan soğutucu akışkanın basıncı ve sıcaklığı ikinci kompresöre girmeden düşürülebilir [2]. Ayrıca kademeli sıkıştırma yapmak ihtiyaca göre sıkıştırma işini düzenlediği için elektrik tüketimi miktarını da azaltmaktadır.

Mikro kanallı kondenserler de bakır borulu ve alüminyum kanatlı kondenserler ile aynı temel prensipte çalışır. Mikro kanallı kondenserlerin bakır borulu kondensere göre daha fazla yüzey alanına sahip olması daha yüksek ısı transferine olanak sağlamaktadır. Kondensere giren soğutucu akışkan çok ince kanallardan geçerek ısı kaybeder ve sıcaklığı düşer ancak kanalların yüzey alanı bakır borulu kondensere göre daha fazla olduğu için ısı transfer miktarı daha fazla olur.

Literatürde buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimleriyle ilgili pek çok çalışma mevcuttur bu çalışmalardan bazıları şöyledir;

Ünlü (2011), çalışmasında tek kademeli buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi kullanarak R134a soğutucu akışkanını ile R1234yf akışkanının, soğutma sistemlerinde soğutkan olarak kullanılması durumlarında enerji ve ekserji analizlerini “Engineering Equation Solver” programı yardımı ile hesaplamıştır. R1234yf ile R134a soğutucu akışkanlarının, kondenser sıcaklığı 30, 40 ve 50 °C’lerde sabit tutulup evaporatör sıcaklığı ile soğutma performans katsayısı, ekserji verimi ve soğutucu akışkanın kütleli debisi arasındaki ilişkileri grafikler halinde sunmuştur. Bu çalışmada R134a ve R1234yf karşılaştırdığında, R134a enerji ve ekserji verimliliği açısından, R1234yf’den daha olumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Aksoy (2014), çalışmasında bir tesisin iki kademeli buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemini incelemiştir. R-717 soğutucu akışkanın hacimsel debisi bir ultrasonik debimetre yardımıyla ölçülmüştür. Soğutucu akışkan

R717'nin entalpi, entropi ve özgül hacmi deneyler ve EES yazılımı kullanılarak hesaplamıştır. Çalışmasında, belirlenen önemli çevrim noktalarında sistem sürekli iken sıcaklık, basınç ve debi ölçümleri yapılmış ve bu veriler kullanılarak belirlenen noktaların termodinamik özelliklerini noktada belirlemiştir. Sistem elemanlarına ait termodinamik özellikler kullanılarak elemanların giriş ve çıkışında enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Deneyler sonucunda, soğutma sistem bileşenlerinin enerji ve ekserji kayıplarını hesaplamış ve birbirleri ile karşılaştırmıştır. En fazla kayıpların evaporatör ve kompresörlerde olduğunu tespit etmiştir.

Singh vd. (2019), çalışmalarında Toplu tip açık çevrim ısı pompası kurutucusunun modelini, R134a ile kurutmanın yerine umut vaat eden düşük GWP değerine sahip R290, R600a, R32, R152a ve R1234yf soğutucu akışkanlarını kullanarak sistem performanslarını ve yiyecek kalitesini incelemek için yapmışlardır. R134a kullanarak, ısı pompası kurutucu test tesisinin model doğrulamasını yapmışlardır. Kuruma süresi ve malzeme nemi içeriğinin performans katsayısı, nem çekme oranı, spesifik nem çekme oranı, spesifik enerji tüketimi, kurutma verimliliği, ekserji yıkımı, ekserji verimliliği ve ürün suyu aktivitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar, nem çekme oranının R32 için maksimum, spesifik nem çekme oranının R152a için maksimum, spesifik enerji tüketimi R152a için minimum, kurutma verimi R152a için maksimum ve ekserji yıkımı R152a için minimumdur. R152a'nın performansı, düşük GWP ve yanıcılığının düşük olması dikkate alınarak ısı pompası kurutucusu için potansiyel bir seçenek olabileceğini belirtmişlerdir.

Sun vd. (2019), çalışmalarında kaskad soğutma sistemi için alçak sıcaklık döngüsünde R23, R41 ve R170 soğutucu akışkanları, yüksek sıcaklık döngüsünde R32, R1234yf, R1234ze, R161, R1270, R290 ve R717 soğutucu akışkanlarını kullanmışlardır. Kaskad soğutma sisteminde soğutucu akışkanların potansiyelini değerlendirmek ve hangi soğutucu akışkan çiftinin daha iyi performans gösterdiğini bulmak için enerji ve ekserji analizi yapmışlardır. Çalışmaların sonucunda R161'in yüksek sıcaklık döngüsünde, R41 ve R170'in düşük sıcaklık döngüsünde kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. İnceledikleri soğutucu akışkan gruplarından, R41/R161 ve R170/R161'in kaskad soğutma sisteminde kullanılmasını önermişlerdir. Kaskad soğutma sisteminde R41/R161'in kullanılmasının, COP ve termodinamik performansın iyileştirilmesinde diğer soğutucu akışkanlara göre üstün olduğunu ve ekserji kaybının donanımlar arasında en çok kondenser de olduğunu belirtmişlerdir. Kaskad soğutma sisteminde düşük GWP soğutucu akışkan çiftlerinin seçimi için teorik bir temel sağladığını ortaya koymuşlardır.

Mancuhan (2019), çalışmasında farklı soğutucu akışkanlar kullanarak bir flaş ara soğutmalı iki kademeli soğutma sisteminde düşük ve orta sıcaklıktaki soğutucuların termodinamiğin birinci ve ikinci yasa analizle-

rini yaparak karşılaştırmış. Bu çalışmasında kondenser sıcaklığı arttıkça COP değerinde azalma, toplam ekserji kaybında artış, evaporatör sıcaklığı azaldıkça ekserji kaybının arttığı gözlemlenmiştir.

Seyitoğlu ve Kılıçarslan (2015), soğutucu akışkan olarak R600, R290, R152a ve R141b kullanan buhar sıkıştırırmalı bir soğutma sisteminin, ikinci kanun analizini yapmışlardır. Soğutma çevriminde meydana gelen kayıpları, farklı buharlaştırıcı ve yoğuşurucu sıcaklıklarına göre incelenmiştir. Kondenser sıcaklığı arttıkça çevrim elemanlarında oluşan kayıpların arttığını, buharlaştırıcı sıcaklığının artırılması ile sistem elemanlarında meydana gelen kayıpların azaldığını gözlemlenmişlerdir. Buharlaştırıcı ve yoğuşurucu sıcaklıklarının artırıldığında sistemin en düşük toplam tersinmezlik değerleri R141b soğutucu akışkanın kullanıldığı çevrimde oluştuğunu gözlemlenmişlerdir.

Yılmaz vd. (2017), çalışmalarında yüksek sıcaklık çevriminde R404A, düşük sıcaklık çevriminde ise R508B akışkanının kullanıldığı iki kademeli bir soğutma sistemini termodinamik olarak incelemişlerdir. Engineering Equation Solver yazılımı kullanarak çok düşük sıcaklıklarda çalışan bir soğutma çevrimine ait elemanların enerji ve ekserji analizi yapmışlardır. Yürütülen analizler sonucunda kaskad ısı değiştiricisindeki buharlaşma sıcaklığının artışı sistem performansını arttırmakta kaskad ısı değiştiricisindeki sıcaklık farkının artışının ise performans değerini azalttığını gözlemlenmişlerdir.

Chen vd. (2017), çalışmalarında soğutucu akışkan olarak Amonyak (R717) kullanarak mikro trijenerasyon sisteminde sıkıştırma işlemini iki kademede gerçekleştirerek sistemin performans analizini yapmışlardır. Sıkıştırma işlemi ilk olarak mekanik kompresör ile ikinci olarak ise ejektör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Orta basınç, buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarının soğutma sisteminin karakteristiği üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucu elde edilen veriler, 10 kW kapasiteli mikro trijenerasyon sistemlerinde uygulamaya yönelik pilot küçük ölçekli iki kademeli soğutma ünitesi için gerekli bilgileri sağlar. İki kademeli soğutma sisteminin kullanılması, aynı çalışma koşulları altında elektrikli buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemine kıyasla elektrik tüketiminin %34,5 oranına kadar azalmaya izin verir.

Sánchez vd. (2017), çalışmalarında soğutucu akışkan R134a'nın alternatifleri olarak düşük GWP değerine sahip R1234yf, R1234ze, R600a, R290 ve R152a soğutucu akışkanları kullanılarak aynı çalışma koşulları altında hermetik bir kompresör ile donatılmış soğutma tesisinde enerji performans değerlendirmesi yapmışlar elde edilen sonuçları grafik şeklinde sunarak yorumlamışlardır. Soğutma tesisinin enerji tüketimi ve soğutma kapasitesi göz önüne alındığında R1234yf ve R152a soğutucu akışkanları-

nın R134a için alternatif olduğunu, R1234ze (E), R600a ve R290soğutucu akışkanlarının ise alternatif olmadığını belirtmişlerdir.

Gaurav ve Kumar (2018), çalışmalarında buhar sıkıştırma sisteminin simülasyonun da R134a referans alınarak toplam otuz bir soğutucu akışkanı basınç oranı, kütle akış hızı, soğutma kapasitesi, ekserji verimi ve yıkımı gibi çeşitli parametreler ile test etmişlerdir. Soğutucu akışkanlar arasında R290'nın soğutma performans katsayısının en yüksek, verimlilik hatasının en düşük olmasına rağmen yüksek hacimsel soğutma ve yanıcılık değeri nedeniyle R134a'ya alternatif olarak kullanılamayacağını belirtmişlerdir. R134a'nın en iyi alternatifin %40 R134a, %22 R1234yf ve %38 R1234ze oranlarındaki soğutucu akışkan karışımının olduğu bildirmişlerdir.

Liu vd. (2021), çalışmalarında elektrikli araçlarda geleneksel klima sistemlerinin yetersiz performansa sahip olduğu için mikrokanallı kondenserlerin her iki tarafındaki yapıların, termal hidrolik performansı ve klima sisteminin COP'sinin optimize edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Sayısal hesaplamalar ve deneyler yardımıyla; mikrokanal sayısı, düz boru delik en boy oranı, akış geçişleri ve kanatçık aralığının optimum değerlerini belirlemek için mikrokanallı kondenserlerin termal hidrolik performansı değerlendirilmiştir. Sayısal hesaplama modelleri ile elde edilen sonuçların  $\pm\%5,6$  hata oranına sahip olduğu saptanmıştır. Gözlemler sonucunda, mikro kanallı kondenserlerin ısı transfer performanslarının belirli hava hızında kanat aralığının azaltılarak geliştirilebileceği belirtilmiştir. Deneyler sonucunda 3 ve 4 yollu mikrokanallı kondenserlerin ısı transfer performanslarının birbirlerine çok yakın olduğu ve iki yollu mikrokanallı kondensere göre %36,5 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda üç yollu mikrokanallı kondenserde, dört yolluya göre soğutucu akışkan akış direncinin daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Xu vd. (2016), çevrenin korunması için, ev tipi buzdolabı ve klimalarda yanıcı hidrokarbon soğutucuların kullanıldığı ve soğutucu şarjının nasıl azaltılacağına hidrokarbonların güvenli kullanımı için önemli bir sorun olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada geliştirilen düşük şarjlı mikrokanallı kondenserin ev tipi klima sistemlerinin ısı transferine etkisi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar; yeni mikrokanallı kondenser tasarımının, normal mikrokanallı kondenserler ile karşılaştırıldığında soğutma kapasitesinin %1,6, sistem soğutucu akışkan şarjının ise %28,3 azaldığı gözlemlenmiştir.

Heun (1995) çalışmasında, mikro kanallı ısı eşanjörlerin ilk kullanımının mobil iklimlendirme sistemleri için kondenserler olduğunu belirtmiştir. Geleneksel yuvarlak-boru/plaka-kanat kondenserler ile karşılaştırıldığında, mikrokanallı kondenserlerin küçük boyutlarına rağmen daha fazla ısı transfer kapasitelerine sahip olması ve basınç düşüş performans-



larının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda mikrokanallı kondenserlerin daha az yüzey alanlarına sahip olması sayesinde sistem şarjını azalttığı belirtilmiştir. Otomobil üreticilerinin motor bölümlerini küçültmesiyle, daha küçük yüzey alanlarına sahip soğutuculara ihtiyaç duyulması ve aynı zamanda hem çevresel hem de maliyet nedeniyle daha az soğutucu şarjına gerek duymaları bu alanda mikro kanal teknolojisinin hızlı bir şekilde uygulamaya konulmasına yol açtığı belirtilmiştir. Benzer sebeple, klima sistemi tasarımcıları mikrokanal teknolojisini geliştirmeye odaklanmıştır.

Struss vd. (1989), tarafından gerçekleştirilen deneysel testler, mikrokanallı kondenser kullanılarak ısı transfer performansının, çok daha yüksek bir soğutucu şarjı gerektiren dalgalı araç kondenserine göre eşit veya daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Sugihara ve Lukas (1990), hem soğutucu akışkanın hem de hava akış hızlarını artırmanın ısı transfer katsayısına etkisinin, mikro kanallı kondenserlerde, dalgalı kondenserde görülen etkiden daha fazla olduğunu belirtmiştir.

Yin vd. (2015), mikrokanallı kondenserlerin performans analizini sonlu hacimler tabanlı sayısal model ile incelemiştir. Model bir ve iki plakalı tasarım için yapılan 45 adet deney ile doğrulanmış ve her iki tasarım için toplam kapasite ve basınç düşüşünün tahmin edilebilmesi için geliştirilmiştir. Uniform olmayan hava akışı, paralel yassı borulardan soğutucu akışkanın doğru dağılmamasına sebep olmakta ve genel performansı önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Tek levha için, uniform olmayan hava akışı, ısı transfer performansını 1.5% artırmış, 6.8% basınç düşüşü ve 12.5% soğutucu akışkan şarjında azalma sağlamıştır. İki plaka için, plakalar arası karıştırılmamış hava akışı toplam kapasitenin 0.5% azalmasına ve soğutucu akışkanda 9.7% basınç düşüşü sağlamıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde iki kademeli mikro kondenserli farklı soğutucu akışkanların kullanılacağı soğutma sistemi mevcut değildir. İmalatı biten cihazda özellikle farklı soğutucu akışkanlar test edilerek kompresörün her iki kademesinde sistem performansı ölçülmüştür. Ayrıca bakır borulu kondenser ile mikrokanallı kondenserin kıyaslaması yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, alternatif soğutucu akışkanlarla çalışan iki kademeli ve mikro kondenserli ara soğutmalı monoblok soğutma sistemlerinin analizi konusunda çalışan akademisyen ve özel sektör çalışanlarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2- Materyal ve Metot

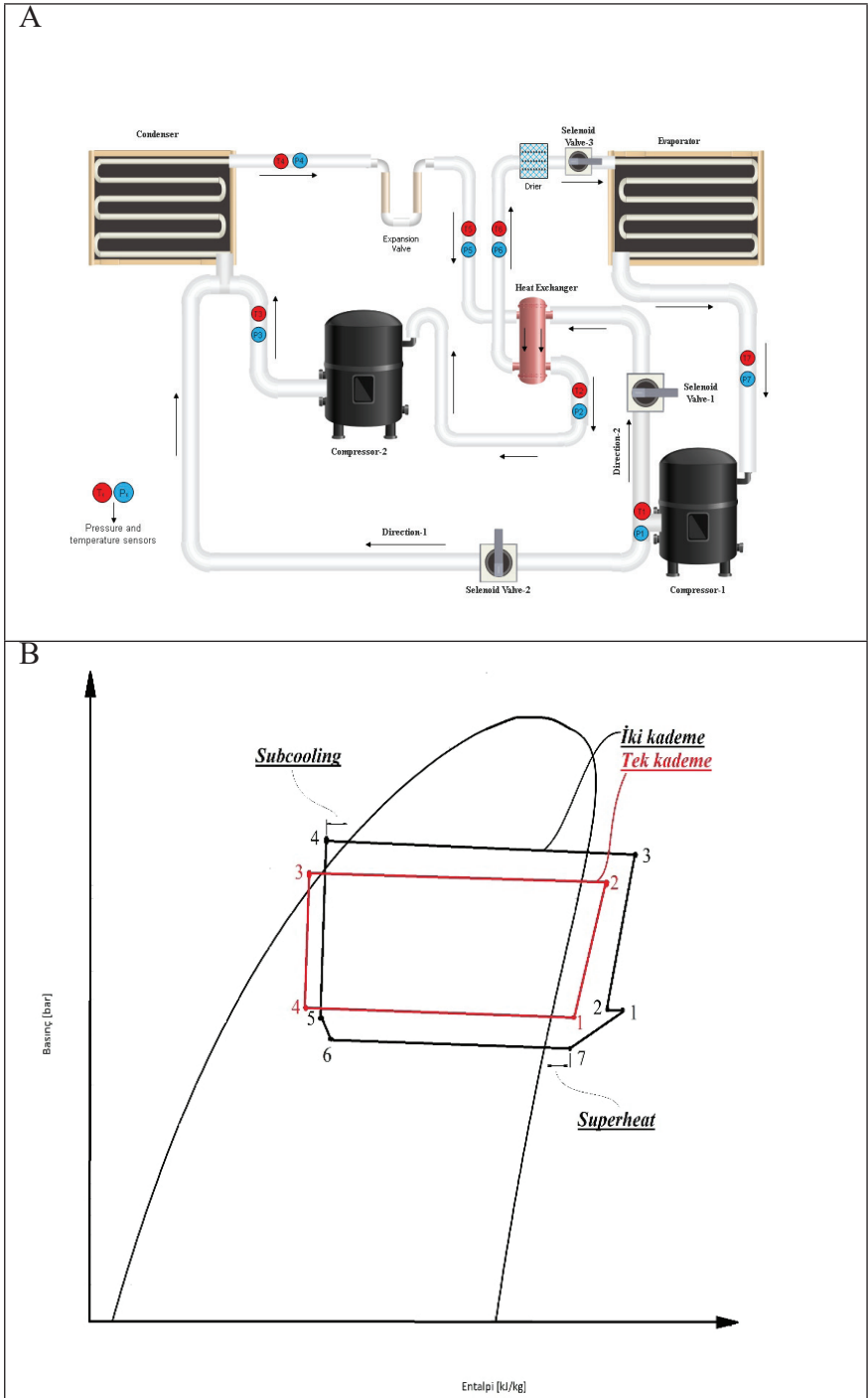
Toplam sekiz farklı tasarım için deneyler yapılmıştır. Sistemin soğutma kapasitesi ölçümü için ölçümler esnasında evaporatör 2.5\*2.5\*2 metre

boyutlarında yalıtılmış bir oda içerisinde muhafaza edilmiştir. Deneyler esnasında ilk olarak bakır borulu kondenser çevrime yerleştirilmiş ve deneyler yapılmıştır. Daha sonra mikro kanallı kondenser, bakır borulu kondenserin yerine sisteme dahil edilmiştir. R404A ve R449A soğutucu akışkanı her iki kondenser için deneylerde kullanılmıştır. Ek olarak deney aşamasında bir kondenser ve bir soğutucu akışkan seçimi yapılan deneyler tek kompresör ve çift kompresörün çalıştığı durumlar için tekrar edilmiştir. Çevrimle ilgili görseller Şekil-2.1'de verilmiştir. Çevrimin şeması Şekil-2.1A'da, tek kademeli ve çift kademeli çevrimin basınç entalpi diyagramı Şekil-2.1B'de sunulmuştur.

Şekil-2.1A'da sunulan çevrim şemasında görülen ölçüm noktalarında basınç ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık ve basınç değerleri kullanılarak entalpi değerlerinin elde edilmesi için kullanılmıştır. Cihazda bulunan selenoid valfler sayesinde akışkan seçilen yöne doğru hareketini sürdürür. Sistemde iki kompresörün aynı anda çalıştığı durumlarda yüksek basınçlar üretilmektedir. Yüksek basınçlar aynı zamanda sıcaklığı da yükseltmektedir bu halde birinci kompresörden çıkan yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa sahip kızgın buhar halindeki soğutucu akışkanın ikinci kompresöre zarar vermemesi için çevrime bir adet ısı değiştirici eklenmiş ve birinci kompresörden kızgın buhar genleşme valfinden çıkan nispeten daha soğuk akışkan tarafından soğutulmuştur. Bu sayede ikinci kompresörün zarar görmesi engellenmiştir.

Cihazda iki adet kompresör kullanılmıştır. İki kademeli tasarımda iki kompresör seri olarak bağlı aktif olarak çalışmaktadır. Çevrimde birinci kompresörden sonra 2 yol vardır sistemde bulunan selenoid valfler kontrol edilerek soğutucu akışkanın hangi yoldan gideceği belirlenmektedir. Akışkanın birinci yoldan gitmesi durumunda çevrim tek kademeli olmaktadır ve kompresörden çıkan gaz başka bir kompresörde sıkıştırılmayacağı için ısı değiştirici bu durumda işlevsizdir. Akışkanın ikinci yoldan gitmesi durumunda çevrim iki kademeli olmaktadır.

Şekil-2.1B'de tek kademeli ve iki kademeli soğutma durumları için, deneyler sonucunda elde edilmiş verilerle hazırlanan basınç-entalpi grafiği sunulmuştur. İki kademeli çevrimde daha yüksek basınç elde edildiği görülmektedir. Ayrıca grafikte subcooling (aşırı soğutma) ve superheating (aşırı kızdırma) gösterilmiştir.



Şekil-2.1

İmalatı yapılan cihazda deney aşamasında kıyaslama yapabilmek için üç değişken vardır, bunlar kondenser türü, (mikro kanallı kondenser-bakır borulu kondenser) çalışan kompresör sayısı (1-2) veya başka bir ifadeyle sistemin tek kademeli ya da çift kademeli olduğu ve gaz türü (R404A-R449A). Bulunan üç değişken ve her bir değişken için farklı iki alternatif olmak üzere cihaz için toplam sekiz farklı tasarım ortaya çıkmaktadır. Bu tasarımların isimleri Tablo-2.1'de verilmiştir ek olarak tasarım isimlerinin kısaltması da Tablo-2.1'de verilmiştir.

Tablo-2.1

Tasarım	Kısa İsim
Bakır Borulu Kondenser-R404A-Tek Kompresör	B-404-1
Bakır Borulu Kondenser-R404A-2 Kompresör	B-404-2
Mikro Kanallı Kondenser-R404A-Tek Kompresör	M-404-1
Mikro Kanallı Kondenser-R404A-2 Kompresör	M-404-2
Bakır Borulu Kondenser-R449A-Tek Kompresör	B-449-1
Bakır Borulu Kondenser-R449A-2 Kompresör	B-449-2
Mikro Kanallı Kondenser-R449A-Tek Kompresör	M-449-1
Mikro Kanallı Kondenser-R449A-2 Kompresör	M-449-2

Deneyler yapıldıktan sonra COP (Coefficient of Performance) değerleri bulunurken aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

•Evaporatör gücü;

$$q_{evap} = h_7 - h_6$$

•Kondenser gücü;

$$q_{cond} = h_4 - h_3$$

•Tek kademeli tasarım ;

$$COP = \frac{h_7 - h_6}{h_1 - h_7}$$

•İki kademeli tasarımda COP;

$$COP = \frac{h_7 - h_6}{(h_1 - h_7) + (h_3 - h_2)}$$

•Enerji Tüketimi;

$$P(\text{Watt}) = I(\text{Amper}) \times V(\text{Volt})$$

Tablo-2.2

Fiziksel Özellikler	Birim	R-449A	R-404 A
Moleküler Ağırlık	(Gr/mol)	87,2	97,61
Kaynama Noktası (1,013 bar için)	(°C)	-46	-46,45
Kritik Sıcaklık	(°C)	81,5	72,07
Kritik Basınç	(Bar)	44,5	37,31
Buharlaştırma Basıncı (25 °C için)	(Bar)	12,75	12,42
Sıvı Yoğunluğu (21,1 °C için)	(Kg/m <sup>3</sup> )	1113,3	1048
Yanıcılık (25°C için)	-	Yok	Yok
Ozon Tükenme potansiyeli (ODP)	-	0	0
Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	-	1397	3922
Sıcaklık Kayması	K	4	0,7

Cihazda deney aşamasında kullanılan gazların fiziksel özellikleri Tablo-2.2'de sunulmuştur[19]. Tabloda görüldüğü üzere her iki gazın da ozon tükenme potansiyelleri sıfırdır. R-404A gazının küresel ısınma potansiyeli R-449A göre daha yüksektir.

Deneyler yapılırken mikro kanallı kondenserin bulunduğu tasarımlarda (M-404-1, M-404-2, M-449-1, M-449-2) yüklenen gaz miktarı 2000 gram iken bakır borulu kondenserin bulunduğu tasarımlarda yüklenen gaz miktarı 4000 gramdır. Yüklenen gazın kondenser tipine göre değişmesinin sebebi kondenselerin farklı iç hacimlere sahip olmasıdır. Basınçlara ve genişleme valfi çıkışında gazın faz durumuna bakılarak yüklenen gazın miktarına karar verilmiştir.

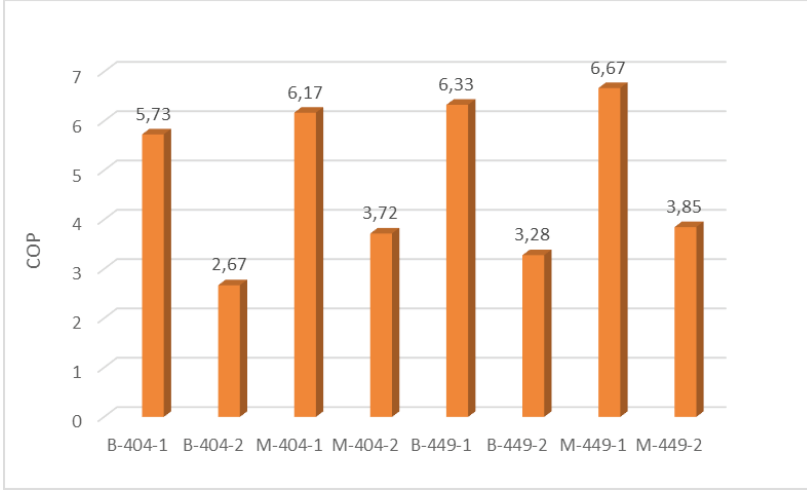
### 3-Bulgular ve Tartışmalar

Deneyler tamamlandıktan sonra elde edilen veriler analiz edilmiştir. Tablo-3.1 deneyleri yapılan sekiz farklı tasarımın COP değerlerini ve enerji tüketim miktarlarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir.

Tablo 3.1

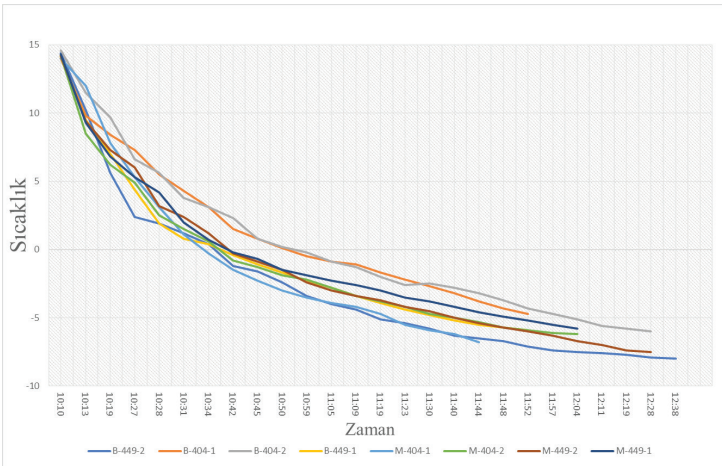
Tasarım	COP	Elektrik Tüketimi (W)
Bakır Borulu Kondenser-R404A-Tek Kompresör	5,73	1897,5
Bakır Borulu Kondenser-R404A-2 Kompresör	2,67	2668,3
Bakır Borulu Kondenser-R449A-Tek Kompresör	6,33	1840,8
Bakır Borulu Kondenser-R449A-2 Kompresör	3,28	2576,2
Mikro Kanallı Kondenser-R404A-Tek Kompresör	6,17	1794,3
Mikro Kanallı Kondenser-R404A-2 Kompresör	3,72	2658,5
Mikro Kanallı Kondenser-R449A-Tek Kompresör	6,67	1771
Mikro Kanallı Kondenser-R449A-2 Kompresör	3,85	2564,5

Elektrik tüketimi en az olan tasarım 1771 Watt ile mikro kanalı kondenser kullanılan, R449A gazı ve tek kompresörle çalıştırılan tasarımdır, elektrik tüketimi en fazla olan tasarım 2668,3 Watt ile bakır borulu kondenser kullanan, R404A gazı ve iki kompresörle çalıştırılan tasarımdır.



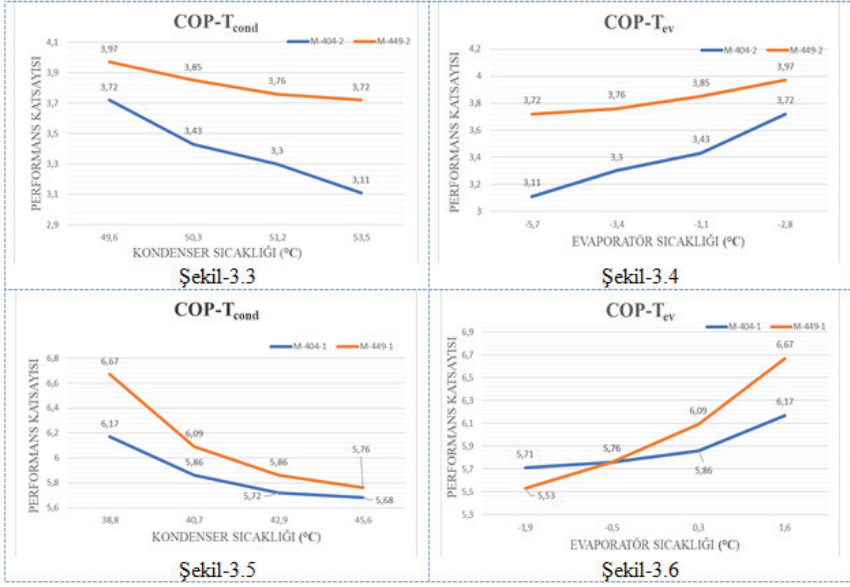
Şekil-3.1

Şekil-3.1 sekiz farklı tasarım için analizler sonucunda elde edilen COP değerlerini göstermektedir. Grafiğe göre en yüksek COP değerine sahip tasarım 6,67 değerine sahip mikro kanallı kondenserli R-449A gazı kullanan tek kademeli tasarımdır. En düşük COP değerine sahip tasarım 2,67 değerine sahip bakır borulu kondenserli R-404A gazı kullanan iki kademeli tasarımdır.



Şekil-3.2

Şekil-3.2 sekiz farklı tasarım için deney odası sıcaklığının zamana göre değişimini göstermektedir. Deney odası sıcaklığı deney başlangıcında 14 santigrat derece iken deney sonunda -8 santigrat dereceye kadar düşmüştür. Elde edilen veriler incelendiğinde deney odasını en kısa zamanda soğutan tasarım M-449-2, en uzun zamanda soğutan tasarım B-404-1 tasarımıdır.



Şekil-3.3, Şekil-3.4, Şekil-3.5 ve Şekil-3.3,  $T_{ev}$  (evaporatör sıcaklığı) ve  $T_{cond}$  (kondenser sıcaklığı) sıcaklıklarının performans katsayılarına (COP) etkisini göstermektedir.

#### 4- Sonuç

Bu çalışmada bir buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin deneysel incelemesi yapılmıştır. Üretilen cihazda üç değişken, kondenser tipi, soğutucu gaz tipi ve kompresör sayısı değiştirilerek toplamda sekiz farklı tasarım yapılmıştır. Her bir tasarım için yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler önceki bölümlerde sunulmuştur.

Bu çalışmanın amacı buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde kondenser türünün, soğutucu gazların ve kompresör sayısının performans katsayısına etkisini deneysel olarak araştırmaktır. Üretilen cihazda selenoid valfler kullanılarak sistemin tek ya da iki kademeli olacağı belirlenmiştir böylece kompresör sayısı tercihi yapılırken sistemi demonte hale getirmeye gerek kalmadan istenilen kademe sayısı elde edilmiştir. Daha önceki bölümde sunulduğu üzere kompresör sayısı tercihi elektrik tüketimini et-

kilemektedir. Sonuç olarak elde edilen veriler analiz edildiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Mikro kanallı kondenserin kullanıldığı tasarımlar bakır borulu kondenselerin kullanıldığı tasarımlara göre daha yüksek performans katsayısına (COP) sahiptir.

- R-449A soğutucu gazının kullanıldığı tasarımlar R-404A soğutucu gazının kullanıldığı tasarımlara göre daha yüksek performans katsayısına (COP) sahiptir.

- Bir kompresör kullanıldığı tasarımlar iki kompresörün kullanıldığı tasarımlara göre daha yüksek performans katsayısına (COP) sahiptir.

- İki kompresörün kullanıldığı tasarımların enerji tüketimi tek kompresörün kullanıldığı tasarımların enerji tüketiminden daha yüksektir.

- Deney odasını en kısa zamanda soğutan tasarım M-449-2, en uzun zamanda soğutan tasarım B-404-1 tasarımıdır.

- Şekil-3.3, Şekil-3.4, Şekil-3.5 ve Şekil-3.6 göstermektedir ki; kondenser sıcaklığının artışıyla çevrimin performans katsayısı (COP) azalmakta ancak evaporatör sıcaklığının artışıyla çevrimin performans katsayısı (COP) değeri artmaktadır.

- Kompresör sayısındaki artış soğutma hızını da arttırmaktadır.

- Analizler sonucunda görülmüştür ki üretilen cihaz için en verimli tasarım mikro kanallı kondenserin kullanıldığı ve R-449A gazı ile çalışan tasarımıdır.



## 5-Kaynakça

- 1-Ünlü, A. (2011). Alternatif Bir Soğutkanın (HFO-1234yf) Kullanıldığı Bir Soğutma Sisteminin Ekserji Analizi. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- 2- Aksoy, A. (2014). İki Kademeli Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Çevriminin Enerji Ve Ekserji Analizleri İle İncelenmesi. (Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- 3- ŞAHİN, B. (2020). Farklı Akışkanların Kullanıldığı İki Kademeli Soğutma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 10(2), 37-41.
- 4-Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). Termodinamik. *Mühendislik Yaklaşımıyla*, 946.
- 5-Singh, A., Sarkar, J. & Sahoo, R. (2019). Comparative analyses on a batch-type heat pump dryer using low GWP refrigerants. *Food and Bioproducts Processing*, 117, 1-13.
- 6-Sun, Z., Wang, Q., Xie, Z., Liu, S., Su, D. & Cui, Q. (2019). Energy and exergy analysis of low GWP refrigerants in cascade refrigeration system. *Energy*, 170, 1170-1180.
- 7- Mancuhan, E. (2019). A comprehensive comparison between low and medium temperature application refrigerants at a two-stage refrigeration system with flash intercooling. *Thermal Science and Engineering Progress*, 13.
- 8-Seyitoğlu, S. S., & Kılıçarslan, A. (2015). Second law analysis of different refrigerants in a two-stage vapor compression cycle. *Isi Bilimi ve Tekniği Dergisi / Journal of Thermal Science & Technology*, 35(2), 89-97.
- 9-Yılmaz, D., Sınar, Ü., Özyurt, A., Yılmaz, B. & Mancuhan, E. (2017). Ultra Düşük Sıcaklıklardaki İki Aşamalı Soğutma Sisteminin Alt Performans ve Aşırı Isınmanın Etkileri Üzerine Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (3), s.1172-1180. Doi: 10.5578/fmbd.66304
- 10- Chen, G., Volovyk, O., Ierin, V. & Shestopalov, K. (2017). Performance analysis of a two-stage mechanical compression–ejector cooling cycle intended for micro-trigeneration system. *International Journal of Refrigeration*, 81, 33-40.
- 11- Sánchez, D., Cabello, R., Llopis, R., Arauzo, I., Catalán-Gil, J. & Torrella, E. (2017). Energy performance evaluation of R1234yf, R1234ze(E), R600a, R290 and R152a as low-GWP R134a alternatives. *International Journal of Refrigeration*, 74, 269-282.
- 12-Gaurav & Kumar, R. (2018). Computational energy and exergy analysis of R134a, R1234yf, R1234ze and their mixtures in vapour compression system. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 3229-3237.
- 13-Liu, N., Li, H., Li, K., Fang, Y., Su, L., Zhang, H., & Jin, X. (2021). Design and performance optimization of microchannel condensers for electric vehic-

- les. *International Journal of Energy Research*, 45(7), 10912-10923.
- 14-Xu, B., Wang, Y., Chen, J., Li, F., Li, D., & Pan, X. (2016). Investigation of domestic air conditioner with a novel low charge microchannel condenser suitable for hydrocarbon refrigerant. *Measurement*, 90, 338-348.
- 15-Heun, M. K. (1995). *Performance and optimization of microchannel condensers* (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign).
- 16-Struss, R. A., Henkes, J. P., El-Bourini, M. R., & Eigenberger, J. J. (1989). *Refrigerant Charge Reduction Through the Application of a New Vehicular Condenser* (No. 890226). SAE Technical Paper.
- 17-Sugihara, A., & Lukas, H. G. (1990). *Performance of parallel flow condensers in vehicular applications* (No. 900597). SAE Technical Paper.
- 18-Yin, X. W., Wang, W., Patnaik, V., Zhou, J. S., & Huang, X. C. (2015). Evaluation of microchannel condenser characteristics by numerical simulation. *International Journal of Refrigeration*, 54, 126141.
- 19- *ANSI/ASHRAE Standard 34-2004, Designation and Safety Classification of Refrigerants*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2007-03-03. ISSN 1041-2336

## **BÖLÜM 8**

### **SERAMİK SINIRLAMA TİPLERİNİN BALİSTİK PERFORMANSA ETKİLERİ VE FARKLI SONUÇLARIN SEBEPLERİ<sup>1</sup>**

*Melek Duygu UYKUN EŞKARA<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Yazarın “Silisyum Karbür Zırh Plakasının Polimer ve Kompozit Kaplanmasının Balistik Performansına Etkisi” adlı, Prof. Dr. Burhanettin İNEM danışmanlığında ve Nuro Teknoloji ortaklığında yürütülen tezinden türetilmiştir.

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans (ORCID: 0000-0003-2302-3603, YÖK Tez Referans No: 10391744)

## GİRİŞ

Balistik malzemeler, çeşitli mühimmatlar veya şarapnelere karşı koruma sağlarlar. Temelde personel koruma, araç koruma ve yapısal koruma alanlarında kullanılırlar. Mühimmatın tipi, hızı, atış sayısı, müşterinin ağırlık ve en-boy ihtiyaçları doğrultusunda zırhın yapısı şekillendirilmektedir. Kullanım yeri ve tehdit seviyesine göre değişiyor olmakla birlikte, günümüzde sıklıkla seramik-polimer matrisli kompozit ya da seramik-metal hibrit zırhlar kullanılmaktadır. Zırhın çözümünde kullanılacak malzemelerin mukavemeti, sertliği, yoğunluğu, kalınlığı gibi özellikler, balistik penetrasyon üzerinde etkili olduğundan, zırhın çözümünü belirlerken önemli etmenlerdir (Sherman, 2000).

Araç zırhlama temelde kara araçları, deniz araçları ve hava araçları olmak üzere 3 alandan oluşur. Hepsinin zırhı için farklı ihtiyaçlar oluşmaktadır ve bu özelliklere göre dizaynlar yapılmaktadır. Mühimmatın geldiği atış yüzünde metal ya da seramik; arka yüzde ise kompozit ya da metal kullanılarak hibrit zırhlar oluşturulmaktadır. Bu yapılar birbirine kalıcı olarak monte edilmiş olabilir ya da istenildiğinde takıp çıkarılabilir şekilde “*add-on*” yapılar olarak tercih edilebilir (Bhatnagar (Ed.), 2016).

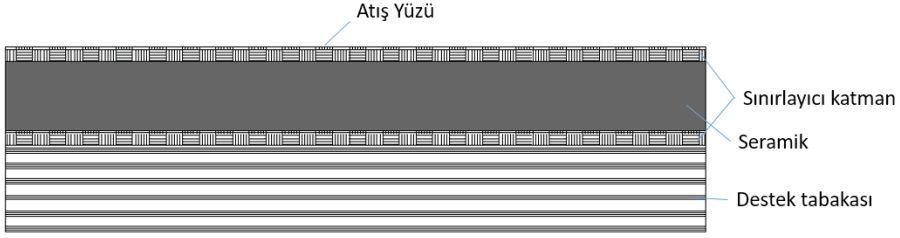
Personel koruma kullanım alanı açısından vücut koruma, miğfer, yüz ve göz koruma, kalkan gibi temel ürünlerden oluşmaktadır. Vücut için kullanılan zırhlar genellikle yumuşak balistik ve sert balistik olmak üzere sınıflandırılır. Yumuşak balistik zırhlar genellikle tabanca mermileri ya da patlama gibi durumlarda saçılan parçacıklara karşı koruma sağlamaktır. Genellikle aramid veya UHMWPE (ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen) gibi yüksek balistik dayanımlara sahip fiberlerin kullanıldığı kompozit kumaşların bir araya getirilmesi ile üretilirler.

Sert balistik zırhlar ise uzun namlulu silahlara karşı koruma sağlayan yapılardır. Bu yapılar zırh delici olan ya da olmayan tehditlere göre farklı konfigürasyonlarda tasarlanmaktadırlar. Zırh delicilerin çekirdekleri, yüksek karbon ve/veya yüksek alaşım element içeriğine sahip bir çelik ya da demir içermeyen, yüksek yoğunluklu sert bir malzemedir yapırlar (Di Benedetto, Matteis, & Scavino 2018).Günümüzde zırh delici tehditlere karşı sert zırh plakaları sıklıkla seramik ve kompozit yapıların birlikte kullanıldığı hibrit yapılar olarak üretilmektedirler. Sert zırh plakaları mühimmatın çaptığı yüzde genellikle düşük yoğunluk ve yüksek sertlikte (yaygın olarak  $Al_2O_3$ ,  $B_4C$ , SiC (Bhatnagar (Ed.), 2016) veya  $TiB_2$ , AlN ve WC (Bhatnagar (Ed.), 2016) seramikler kullanılır. Zırhın konfigürasyonu oluşturulurken, seramiğin malzemesi, kalınlığı, geometrisi en temel faktörlerdir. Seramiğin arkasında ise destek malzemesi olarak sıklıkla UHMWPE veya aramid fiber takviyeli balistik kompozitler kullanılır. Zırh delici olmayan mühimmatlar için sadece kompozitin preslenmesi ile üretilen (seramik içermeyen) zırhlar da kullanılabilirlerdir.

Seramik içeren zırhların çalışma prensibinde, mühimmatın çarptığı yüzde bulunan seramik tabakanın görevi, mühimmatı aşındırarak/erozyona uğratarak ve/veya kırarak deforme etmektir (Rahbek, Simons, Johnsen, Kobayashi & Shockey, 2017). Merminin deforme olduğu süreçte, merminin hızında ve kinetik enerjisinde azalma da sağlanacaktır (Akella & Naik, 2015; Rahbek & Johnsen, 2019). Kırılan mermi parçalarının en büyüğü, en yüksek kinetik enerjiye sahip ve en yüksek delme olasılığına sahip olacağından, en tehlikeli ve kritik olan parçadır (Rahbek & Johnsen, 2019).

Zırh sistemleri; zırhın kullanım yeri, geometrisi, tehdit seviyesi vb. faktörlere bağlı olarak farklı geometrilere seramikler kullanılarak dizayn edilebilir. Temelde monolitik (yekpare) veya karolardan oluşan çok parçalı seramikler kullanılabilir. Monolitik seramikler istenilen zırhın geometrisinde (düz ya da kavisli) tek parça olarak üretilirler. Genellikle personel zırhlamada tercih edilirler. Karolardan oluşan sistemde ise zırhın geometrisine uygun şekilde, küçük karolar yan yana yapıştirılarak, yüzey seramik ile kaplanır. Karolar personel korumada da kullanılıyor olmakla birlikte genellikle araç zırhı gibi geniş alanların korunması (Medvedovski, 2010) için tercih edilirler. Karoların şekilleri de kare, altıgen, silindirik vb. (Akella & Naik, 2015) ihtiyaca bağlı olarak birbirlerinden farklı olabilmektedir. Monolitik seramikler daha fazla enerji soğurma yeteneğine ve daha iyi balistik performansa sahiptir (Bhatnagar (Ed.), 2016; Medvedovski, 2010). Buna rağmen, balistik darbe sırasında çatlak davranışları kontrol edilemediğinden, çoklu atış için karolar daha güvenilirdir; çünkü çatlak ilerlemesi karo kenarında biter (Medvedovski, 2010) ya da çevresindeki yalnızca belli sayıda seramik deforme olur. Karolu sistemlerin dezavantajı da, birleşim noktalarının balistik olarak zayıf bölgeler olmasıdır.

Seramiklerin arkasında kullanılan destek malzemelerinin temel görevi, hem seramik parçalarının hem de mühimmatın kinetik enerjilerini sönmek/dağıtmak (Rahbek vd. 2017) ve böylece durdurulmalarını sağlamaktır. Elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit plakalarda enerji sönmek ve hasar mekanizmaları şöyledir: matris kırılması, delaminasyon, fiber çekilmesi ve uzaması, fiber kırılması, kumaşın şişerek buruşması (Akella & Naik, 2015; Gower, Cronin, & Plumtree, 2008). Kompozit plakaların oluşturulmasında, dokuma kumaşlar veya çapraz serilmiş (0°/90°) tek yönlü (UD) katmanlar kullanılır. İhtiyaca göre değişmekle birlikte, aramidler genellikle dokuma kumaş olarak kullanılırken, UHMWPE'ler çapraz serilmiş UD katmanlar olarak kullanılır (Chen (Ed.), 2016). Balistikte sıklıkla kullanılan UHMWPE ve aramid kumaşlar, birbirleriyle ya da aynı malzemenin farklı ürünleriyle hibrit yapılarak da kullanılabilir. Balistik kumaşlarda/katmanlarda, balistik fiberler kullanılır. Bu malzemeler, yüksek kopma gerilimlerine, yüksek mukavemete ve düşük yoğunluklara sahiptir (Rahbek & Johnsen, 2015; Akella & Naik, 2015; Prevorsek, Kwon & Sharma, 1977).



**Şekil 1. Sert Balistik Plaka Şematik Gösterimi**

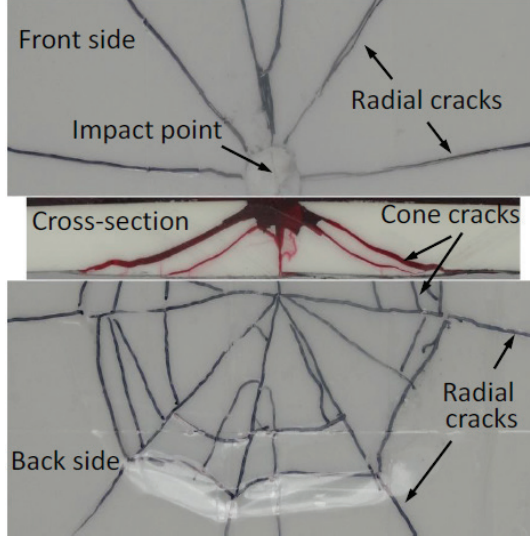
Şekil 1'de sert balistik bir plakanın şematik olarak gösterimi mevcuttur. Zırhı oluşturan temel iki malzeme olan seramik ve kompozit tabakalar dışında, balistik dayanımda önemli yeri olan bir diğer etken, seramiğin sarılması (*wrapping*) ya da kaplanması (*covering*) gibi yöntemlerle sağlanan sınırlama/hapsetme (*confinement*) (Gooch, 2002) etkisidir. Seramik sınırlamanın çok sayıda olumlu etkisi vardır. Temelde, seramiğin atış sonrası yekpare kalmaya devam etmesi ve böylece çoklu atışlarda koruma sağlayabilmesi (Bhatnagar (Ed.) 2016); Rahbek vd. 2017]; mühimmat deformasyonlarında artış; mühimmatın hız ya da enerji düşüşleri (Rahbek & Johnsen, 2019; Reddy, Madhu, Ramanjaneyulu, Bhat, Jayaraman & Gupta, 2008) veya kırılma mekanizmalarında sağladığı değişimler (Rahbek & Johnsen, 2015; Sarva, Nemat-Nasser, McGee, & Isaacs, 2007) sayesinde balistik performansta iyileştirme sağladığı aşıkardır. Literatürde farklı seramiklerin, farklı malzemelerle (metal levha, polimerik kompozitler (Sarva vd. 2007) vb.) ve farklı yöntemlerle sınırlandırılmasının etkisi tartışılmıştır. Literatürdeki çalışmalar genellikle tek bir yöntemde hemfikir olamamış, çoğunda farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu yazıda, seramiğin sınırlanması konusunun, balistik dayanım üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar ayrıntılı olarak incelenecektir. Seçilen çalışmalarda özellikle birbirlerinden farklı parametrelerin etkisinin incelenmiş olmasına dikkat edilmiştir. Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle seramiğin kırılma mekanizmasından bahsedilecek, sonrasında çalışmaların incelemesine geçilecektir.

### **Balistik Seramiklerin Kırılma Mekanizması**

Seramiğin zırhtaki temel görevi mermiyi deforme etmektir. Yüksek sertlikte balistik seramikler sayesinde bu etki sağlanmaktadır. Seramikteki kırılma mekanizması, balistik direnç için önemlidir çünkü doğru mekanizma ile kırılmazsa etkili mühimmat deformasyonu sağlayamaz ve/veya sonraki atışlarda koruma sağlamaya devam edemez. Bu yüzden seramiğin kırılma mekanizması ve iyileştirme yöntemleri pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır.

Balistik seramikler, yüksek sertlik (dolayısıyla düşük tokluk) ve düşük gerilme mukavemetine (Zhang, Han & Lu, 2021) sahiptirler. Seramiğin malzemesine, mühimmata, mühimmatın hızına, sınırlama etkisine veya destek malzemesinin türüne bağlı olarak farklılıklar oluşabiliyor olsa da temelde benzer kırılma (Shockey, Marchand, Skaggs, Cort, Burkett & Parker, 1990) mekanizmaları sergilerler.



**Şekil 2. Darbe Altında Seramikte Oluşan Hasarlar (Rahbek, 2017)**

Balistik etki altında, merminin seramiğe çarptığı bölgede, seramikler ufalanır, ince tozlar [Zhang vd. 2021; Sarva vd. 2007] oluşur ve ısı meydana gelir (Akella & Naik, 2015).  $Al_2O_3$  karolar ile yapılan çalışmada (McGinn, Klopp & Shockey, 1994), merminin ucunun değdiği darbe noktasına “Mescall bölgesi” denir ve buradaki kırılma olayı iki aşamada gerçekleşir: 1. taneler arası kırılma ile kaba parçaların oluşumu, 2. tane içi kırılmalar ile ince parçaların oluşumu. Seramik plakanın ince toz parçacıklarına dönüşüm sürecine pulverizasyon denir (Akella & Naik, 2015). Bu bölge ve çevreleyen bölgedeki malzeme, kalınlık yönü boyunca yoğun basma kuvveti altındadır ve bu bölgedeki basma gerilimi malzemenin basma dayanımı sınırını aşarsa, basınç kırılması meydana gelir (Akella & Naik, 2015). Aynı zamanda, darbe kuvvetinin etkisiyle, merminin çevresindeki seramik bölgede kesme gerilmeleri meydana gelir (Akella & Naik, 2015). Kesme gerilmeleri, koni çatlakları (Şekil 2) meydana getirir (Zhang vd. 2021). Bu süreçte radyal çatlaklar da oluşmaya başlar. Koni çatlakları, plakanın arkasında doğru ilerlerken, Şekil 2’de de görüldüğü gibi, arka plakanın yükleme alanını genişletir, böylece daha fazla enerji emilmesini sağlar (Zhang vd. 2021). Seramiğin küçük parçalara ayrılması, mikro ve makro çatlakların oluşumu, seramiğin ince toz haline gelmesi ve ince to-

zun ön ve arka yüzeylerden atılması süreçleri sonucunda kırılma gerçekleşir (Akella & Naik, 2015; Shockey vd. 1990; Curran, Seaman, Cooper & Shockey, 1993). Yapılan bir çalışmaya (Woodward, Gooch Jr, O'donnell, Perciballi, Baxter & Pattie, 1994) göre, merminin önündeki ezilmeyle çok ince seramik parçacıklar oluşurken; daha büyük parçacıklar, stres dalgası etkileşimiyle oluşmaktadır.

Seramik tozunun sıkıştırma mukavemeti, seramik plakanınkinden önemli ölçüde daha yüksek olduğundan, penetrasyon ilerledikçe seramik/seramik tozunun sunduğu basınç direnci artacaktır (Akella & Naik, 2015). Merminin ilerleyip seramikten çıkabilmesi için önündeki direnç sağlayan ince seramik parçalarının yolundan uzaklaşması gerekmektedir. Yapılan çalışmaya (Curran vd. 1993) göre, dinamik sıkıştırma kırılma enerjisi, sürtünme-akış gibi malzeme özellikleri ve ince parçalanmış malzemenin aşındırıcı özellikleri, seramiklerin penetrasyon direncini yönetir. Seramik malzemenin parçalanması, püskürtme mekanizması ve kinetik enerjinin çeşitli hasar mekanizmalarına dağılımı, penetrasyon direncini etkileyen başlıca faktörlerdir (Sarva vd. 2007; Woodward vd. 1994). Yapılan çalışmaya (Woodward vd. 1994) göre mermi kinetik enerjisinin büyük bir kısmı, fırlatılan seramik parçacıklarının kinetik enerjisine dönüşmektedir.

Hasarlar yarı-statik ve dinamik olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Yarı-statik hasar; radyal çatlaklar, koni çatlağı ve koni bölgesinin parçalanmasını kapsarken; dinamik hasar genellikle destek ve seramik arasındaki yüzeyden yansıyan stres dalgalarından kaynaklanan hasar sınıfıdır (Sherman, 1997). Yarı statik hasar mekanizmaları tarafından yayılan enerji, dinamik hasara göre çok daha düşüktür; çünkü yarı-statik kırılmada, düşük kırılma enerjisi ve küçük kırılma yüzeyleri etkilidir (Sherman, 1997). Kırılma mekanizmalarında seramiklerin kalınlığı önemli bir faktördür. Nispeten kalın seramiklerde penetrasyon direnci sağlayan ana hasar mekanizması koni çatlaklarıyken; kalınlığı mermi çapıyla karşılaştırılabilir olan ince seramiklerde ana hasar mekanizmasının radyal çatlak olduğu görülmüştür (Sherman, 2000).

Kırılma mekanizmalarında önemli olan bir diğer faktör ise merminin zırha çarpma hızıdır. 700 m/s'ye kadar olanlar düşük hızdır ve yarı statik hasar oluştururken; 3000 m/s seviyelerindeki hızlar ise hiper hız olarak tanımlanır ve hidrodinamik akış hasarı oluşur (Sherman, 2000). Ara hızlarda ise yarı statik ve dinamik hasar birlikte oluşur (Sherman, 2000).

### **Seramik Sınırlama/Hapsetme**

Seramiğin sınırlanması/hapsedilmesi anlamında literatürde “*confinement*” terimi kullanılmaktadır. Konu üzerine pek çok araştırma vardır. Araştırmalarda farklı yöntemler ile seramiğin hapsedilmesi çalışılmıştır. Seramiğin sarılması ya da ön ve/veya arka yüzünün kaplanması gibi me-



totlar denenmiştir. Tüm çalışmalarda seramiğin balistik performansında iyileşme gözlemlenmiştir ancak çalışmalar genellikle farklı malzemeler, farklı metotlar, farklı mühimmatlar ile yapıldığından ortak bir kanı oluşmamıştır.

Seramiğin sarılması, öncelikli olarak çoklu atış dayanımı için seramiğin atış sonrası bütünlüğünü korumasını sağlamaktadır. Farklı işlemler ile farklı faydalar sağlanmıştır. Mühimmatın deformasyonunda artış ya da hız ve/veya kinetik enerjide düşüş tespit eden çalışmalar mevcuttur. Bunların çoğunun temelinde “*dwell time*” yani “bekleme süresi” olarak adlandırılan fenomenden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu kavram, merminin seramiğe ilk darbesinden itibaren hedefi delmeye başladığı ana kadarki süreyi ifade eder ve bu süre içerisinde mermi seramikle temas etmeye ve deforme olmaya devam eder (Rahbek & Johnsen, 2015). Bu yüzden bu sürenin uzun olması balistik performansı geliştirmektedir ve araştırmacılar bu süreyi uzatabilmek için çalışmalar yapmaktadırlar. Sınırlamayı, seramiğe ön gerilme uygulayarak mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanan çalışmalar da olmuştur. Bu çalışmalar genelde metaller ile sınırlandırılarak yapılmıştır.

Seramiğin sınırlandırılarak balistik performansını artırmayı hedefleyen çok sayıda çalışma mevcuttur. Çalışmaların çoğu birbirleriyle hem fikir değildir. Yazının devamında bu çalışmalardan bazıları ayrıntılarıyla incelenecek; benzerlikleri, farklılıkları ortaya konulacak ve farklı sonuçların muhtemel sebepleri irdelenecektir.

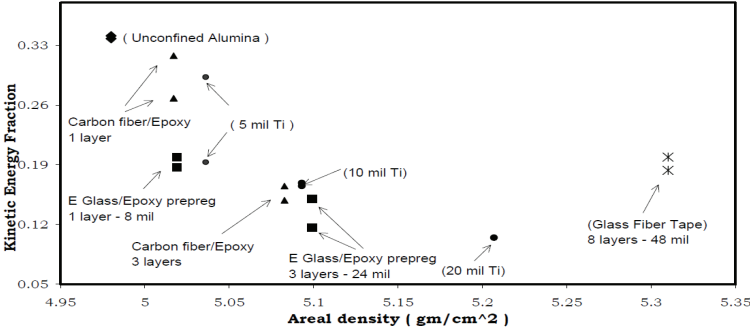
## **Karoların Sınırlandırılması**

### **a. Ön Gerilim Uygulanmadan Seramiğin Sınırlanması**

Horsfall ve Buckley (1996) yaptıkları çalışmada, seramik karoların önünde parçacık kalkanı, arkasında ise kompozit destek malzemesi kullanılmıştır. Seramiklerde kalınlık boyunca çatlaklar oluşturularak, çatlak seramikteki  $V_{50}$  değişimini gözlemlemeyi amaçlamışlardır. İkisi de sınırlandırılmış, biri sağlam diğeri çatlak olan plaka arasında  $V_{50}$  düşüşü yalnızca %3 olarak tespit edilmiştir. Bunun parçacık katmanının sağladığı seramiği bir arada tutma etkisi olduğu söylenmiştir. Bu çalışmayla, sınırlama etkisinin çoklu atış performansını artırdığı kanıtlanmıştır. Bu çalışmayı destekleyen bir başka çalışma da Cunniff (1999) tarafından yapılmıştır (Sarva vd. 2007).  $Al_2O_3$  karoları Kevlar ile sınırladığında, darbe sonrası bütünlüğün ve çoklu vuruş kabiliyetinin korunduğu ve balistik performansta herhangi bir azalma olmadığını ortaya koymuştur.

Sarva ve arkadaşları (Nemat-Nasser, Sarva, Isaacs & Lischer, 2002; Sarva vd. 2007) cam elyaf bant, E-cam elyaf/epoksi prepreg, karbon-fiber/epoksi prepreg ve Ti-3% Al-2.5% V alaşım levha ile birkaç ön yüz mal-

zemesinin etkisini incelemiştir. Cam elyaf bant, tek yönlü fiberlere sahip olduğu için  $0_2/90_2/0_2/90_2$  konfigürasyonu ile uygulanmıştır. E-cam/epoksi prepreg ve karbon-fiber/epoksi prepreg çapraz örgüye sahiptir. 10,16 cm x 10,16 cm x 1,27 cm boyutlarında  $Al_2O_3$  ve SiC karolar kullanılmıştır. Balistik performans,  $f_{KE} = (\text{artık kinetik enerji})/(\text{ilk kinetik enerji})$  ile değerlendirilmiştir ve sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. En iyi sonuç %2.5 alansal ağırlık artışıyla performansın %25 artırıldığı 3 kat cam/epoksi prepreg uygulamasında alındığı görülmektedir.



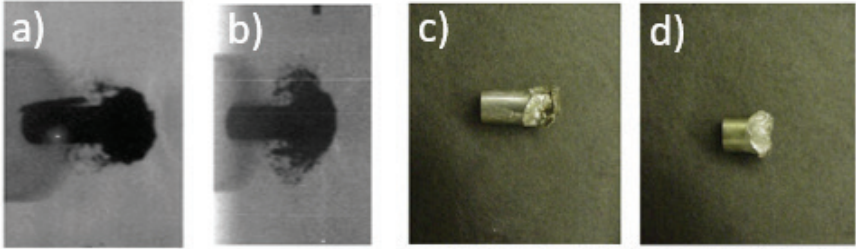
Şekil 3.  $Al_2O_3$  Karoların Ön Yüz Kaplamasının Balistik Performansa Etkisi (Nemat-Nasser vd. 2002)

Elde edilen diğer sonuçlar şöyledir:

- Uzaması/sünekliliği gibi malzeme özellikleri ile balistik performansta ortaya çıkan iyileşme arasında henüz bir ilişki bulunamamıştır.
- Hem ön hem arka yüzün kaplanmasının, ön yüz kaplamasına ek bir fayda sağlamadığı sonucuna varılmıştır.
- Artık hız ve artık kütle ölçümleri incelenmiştir. Artık hız ile artan katman kalınlığı arasında henüz güçlü bir ilişki gözlemlenmemiştir.
- Katman kalınlığının artmasının erozyonda artışa neden olduğu görülmüştür. Sebebinin artan katman kalınlığı ile birlikte çarpma yüzünde gerilme mukavemetinde artışa sebep olduğu, böylece merminin erozyonunun arttığı öne sürülmüştür.
- Ön yüz katmanını belirli bir kritik kalınlığına ulaşıldıktan sonra, ilave kat eklenmesinin balistik performansta minimal bir artış sağlaması beklenmektedir. Bu kritik kalınlığın 3 katman civarında olduğu söylenmiştir.

Sonuçların sebeplerinin anlaşılabilmesi için yüksek hızlı kamera ve flash radyografi incelemeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar:

- Yüksek hızlı kamerada ön yüzden çıkan püskürükler gözlemlenmiştir. Ön kaplaması olan seramiklerin püskürük hızı, olmayan seramiklere göre %40 daha fazladır. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, merminin kinetik enerjisi püskürüğe aktarılmaktadır ve bu yüzden kaplamalı seramiklerde hız düşüşü daha fazla olmuştur.
- Flash radyografi sonuçlarında ise mermilerin deformasyonu incelenmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi, kaplamalı numuneler için mermi, daha büyük bir mantarlaşma sergiler. Bu, merminin artan penetrasyon direncini ve erozyonunu doğrular.



**Şekil 4. a ve c) Çıplak, b ve d) Ön Kaplamalı Seramik için Mermi Deformasyonları (Nemat-Nasser vd. 2002)**

Rahbek ve Johnsen (2019) yaptıkları çalışmada kompozit kaplamanın, merminin daha yüksek aşınmasına ve parçalanmasına katkıda bulunup bulunmadığını incelemek amacıyla 100,1×100,1×8,2 mm boyutunda  $Al_2O_3$  karolar kullanmışlardır. Hem çıplak seramikle hem de Twill 2/2 örgüye sahip cam fiber-PET matris bir kompozit kumaş kullanılarak ön ve/veya arkası 2 ve/veya 4 katsayıda kaplanarak farklı konfigürasyonlar çalışılmıştır. 7,62x63 AP sert çelik çekirdekli mühimmat ile testler gerçekleştirilmiştir. Sarva ve arkadaşlarının yaptığı bir önceki makalenin aksine, en iyi sonucu 4 kat sadece arka kaplama yapılmış olan plakalarda almıştır. Arka tarafında kompozit örtü bulunan hedefler daha yüksek çekirdek parçalanması sağlamış ve en büyük parçanın artık kütesinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Alüminanın arkasında dört kompozit örtü tabakası olan hedefler için çekirdek kütlede %61 azalma gözlemlenmiştir. Kompozit örtünün konumunun, çekirdek parçasının artık hızı üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Kalıntı kütledeki farklılıktan dolayı, alüminanın arkasındaki dört kompozit örtü tabakası ile kinetik enerjide %84 oranında (en büyük parça için) azalma sağlanmıştır.

Burada test edilen hedeflerde, kaplama malzemesi eklendiğinde artan alansal yoğunluk, artan balistik performansla mutlaka katkıda bulunacaktır ancak bu küçük artış, çekirdek parçalanması ve kinetik enerji kaybı

üzerinde gözlenen etkileri tek başına açıklayamayacağı, diğer bazı mekanizmaların da katkıda bulunması gerektiği öne sürülmüştür. En olası mekanizma, arka kaplamanın yarattığı sınırlandırmanın, seramiğin arkasındaki çekme çatlaklarının açılmasını geciktirmesidir. Seramik parçaların ayrılmasındaki gecikme, delici-seramik etkileşimi için daha fazla zaman sağlamış (bekleme zamanını artırır), dolayısıyla hedefin balistik performansını iyileştirmiştir.

Önceki makalede Sarva ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan farklı sonuçlar alınması incelenmiş ve olası sebepleri irdelenmiştir:

- Sarva ve arkadaşları, silindirik düz uçlu bir tungsten ağır alaşım (WHA) delici kullanmışlardır. WHA delici, penetrasyon sırasında kırılmamış, erozyona uğrayarak deforme olmuştur. Bu sayede verilerdeki saçılmalar az gerçekleşmiştir. Bu durum sert çelikten yapılan mermilerden farklıdır. Sert çelikler düşük süneklikleri nedeniyle çarpma sırasında parçalanmıştır. Crouch, Appleby-Thomas & Hazell (2015) tarafından yapılan çalışmadan örnek verilmiş ve seramik sınırlamanın yumuşak çelik çekirdekli bir merminin erozyonu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Mermi sertliğinin de önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir.

- Bir diğer faktör olarak delicinin geometrisi öne sürülmüştür. Merminin burnunun farklı şekilde olması (Sarva ve arkadaşlarının çalışmasında düz, bu çalışmada ise sivri uçlu), farklı penetrasyon mekanizmalarına ve delme hızlarına yol açabilir. Konik veya oval uçlu mermilerin, silindirik/küt mermilere göre daha düşük hızlarda hedefi delebileceğinden bahsedilmiştir.

- Yine mermi geometrisinden kaynaklı olarak; ön kapaktan kaynaklanan kısıtlamalar nedeniyle, mermiye doğru artan seramik döküntü akışının, sivri uçlu mermilerde, küt uçlu mermilere göre daha az etki ettiği belirtilmiştir. Bu sebeple kullanılan hedef-delici kombinasyonunun sonucu değiştirebileceği belirtilmiştir.

- Seramik kısıtlaması sayesinde çatlakların açılmasında zaman kazanılması, seramikteki hasarı artırır ve böylece delici önündeki bölgede daha küçük boyutlu seramik döküntüleri oluşur. Mermi daha uzun süre delicinin yüklenmesinde ve aşındırılmasında yer alır, bu da bekleme süresi (dwell time) artışını sağlar. Bu açıdan bakıldığında iki çalışma da benzer sonuçlar vermiştir.

- Ancak bekleme süresinin uzaması, arka kaplama sayesinde balistik performanstaki artışı tam olarak açıklamaz. Bir arka kaplama söz konusu olduğunda, kompozit kısıtlamanın seramiğin arkasındaki çekme çatlaklarının gecikmeli olarak açılmasına katkıda bulunma olasılığının daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

Nunn, Hansen, Frame & Lowden (2005) yaptıkları çalışmada, fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerle sınırlandırmada farklı malzeme ve kat adetlerinin yanında, farklı kumaş serim oryantasyonlarının da etkisini incelemiştir. 102x102x6,2 mm B<sub>4</sub>C karolar kullanılmıştır. Tüm konfigürasyonlarda seramiğin atış yüzünde 1 mm kalınlığında parçacık tutucu Spectra katmanı, arkada ise 7,25 mm kalınlığında aynı malzemeden destek tabası kullanılmıştır. Sınırlama uygulanan plakalarda kompozit tabaka, çıplak seramiğin yüzeyine uygulanmış ve kürlenmiştir. Spectra parçacık tutucu katman, fiber takviyeli kompozit tabakadan sonra uygulanmıştır. Kullanılan kompozitler ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Karbon fiberler için epoksi, Zylon için vinilester kullanılmıştır. Kompozitler, her yüzünde 2 ila 8 katman olacak şekilde uygulanmıştır. Her katmandaki karbon elyafın yönü, karbonun dikey kenarlarına, 0,45 veya 90 derecedir. Zylon malzeme 0/90 derece dokuma kumaştan oluşmaktadır ve fiberler seramik kenarlarına paralel olarak yönlendirilmiştir. Balistik testler, 7.62 mm AP M61 zırh delici mermi ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler çelik bir çerçeveye monte edilerek atış yapılmıştır. Atışlar sonrası zırh kısmen delinmiş, mermi zırh içerisinde kalmıştır.

Tablo 1. Sınırlamada Kullanılan Fiberler (Nunn vd. 2005)

Sample Number	Fiber	Material	Elastic Modulus	Tensile Strength
2-6	Toray T700 <sup>a</sup>	Carbon	Intermediate	High
7	Granoc XN-05 <sup>b</sup>	Carbon	Low	Low
8	Toray M46J <sup>a</sup>	Carbon	High	High
9	Granoc CN-80 <sup>b</sup>	Carbon	Ultra-high	Low
10	Zylon <sup>c</sup> (PBO) <sup>c</sup>	Polymer	Intermediate	High

<sup>a</sup>Toray Carbon Fibers America, Inc.; <sup>b</sup>Nippon Graphite Fiber Corp.; <sup>c</sup>Toyobo Company, Ltd.

Balistik darbe testlerinin sonuçları Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Numune Konfigürasyonları ve Balistik Test Sonuçları (Nunn vd. 2005)

Sample Number	PMC Fiber	PMC Plies	Fiber Orientation	Areal Density, psf	"V <sub>50</sub> "*, fps	"V <sub>50</sub> " Increase
1	No PMC	-	-	5.26	2050	-
2	T700	2	0/90	5.20	>2175	>6%
3	T700	4	0/90/0/90	5.53	2550	24%
4	T700	8	0/90/0/90	5.73	>2880	>40%
5	T700	4	+45/-45/+45/-45	5.41	>2625	>28%
6	T700	4	0/-45/+45/90	5.44	no partial	-
7	XN-05	4	0/90/0/90	5.35	2500	22%
8	M46J	4	0/90/0/90	5.42	no partial	-
9	CN-80	4	0/90/0/90	5.45	>2610	>27%
10	Zylon <sup>c</sup> (PBO)	4	0/90/0/90	5.43	>2730	>33%

\*For most variations, the number of samples tested was insufficient to determine a true ballistic V<sub>50</sub> value. V<sub>50</sub> is the velocity at which 50% of impacts are complete penetrations and 50% are partial penetrations.

- Kaplaması olan karolar, kaplaması olmayan karoya göre geliştirilmiş balistik darbe performansı sergilemiştir.
- Karoların alan yoğunluğunun, kaplama eklenmesi artmıştır ancak

çok az artışlar için penetrasyon direncinde ciddi bir iyileşme kaydedilmiştir. Örneğin, 8 PMC katmanına sahip 4 numaralı numunenin alan yoğunluğu, kaplamasız zırha göre % 9 artmıştır, ancak  $V_{50}$  değeri % 40'tan fazla artmıştır.

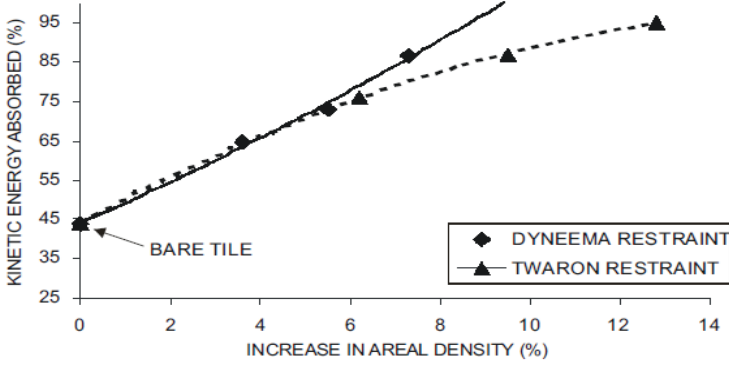
- 2,3,4 nolu numunelerde görüldüğü gibi kat sayısı arttıkça balistik performans iyileşmiştir.

- Liflerin oryantasyonunun etkisi olduğu görülmektedir. 3,5 ve 6 nolu numuneler için yalnızca oryantasyon değişmiştir. 5 nolu +45/-45/+45/-45 oryantasyonundaki numune, 3 nolu 0/90/0/90 oryantasyonuna sahip numuneden daha iyi, o da 6 nolu 0/-45 /+45/90 oryantasyonlu numuneden daha iyi bir performans göstermiştir.

- Kullanılan fiber tipleri arasında açıkça üstün bir fiberin tanımlanması zordur çünkü doğrulamak için daha fazla teste ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm lifler, kaplamasız seramiğe göre penetrasyon direncinin iyileştirilmesinde fayda sağlamıştır (M46J lifi hariç). CN 80 karbon fiber ve Zylon (PBO) fiber, 4 katlı, 0/90/0/90 PMC konfigürasyonu için en iyi performansı gösteriyor gibi görünmektedir.

Seramiğin kompozit ile kaplanmasının balistik darbe performansında sağladığı iyileşmenin nedeni henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Fiber konfigürasyonunun etkisine bağlı olarak, tabakaların seramik karodaki gerilim dalgalarının yayılmasını etkileyen ve kırılmayı geciktiren bir dalga sönümleme formu sağlıyor olabileceğinden bahsedilmiştir. Her bir konfigürasyon için sınırlı sayıda test numunesi değerlendirildiğinden, mutlak sonuçlar için test sayısının artırılması gerektiği söylenmiştir. Ayrıca diğer başka üreticilerin seramikleri için de benzer etkilerin gözlemlenip gözlemlenmeyeceğinin de bilinmediği belirtilmiştir.

Reddy ve diğerleri (2008) yaptıkları çalışmada yine kompozit ile sınırlamanın etkisini araştırmıştır ancak diğer çalışmalardan farklı olarak HMWPE ve aramid kumaşları karşılaştırmıştır. 75x75x7 mm boyutlarında  $Al_2O_3$  karolar kullanmışlardır. HMWPE kumaşlar tek yönlü, aramid düz dokumaya sahiptir. Numuneler 4,6,8 katla sarılarak üretilmiştir. Yapıştırmak için seramik üzerinde ve tüm katların arasında epoksi reçine kullanılmıştır. Bütün numunelerin arkasında 10 mm E-cam laminat destek malzemesi olarak kullanılmıştır. Testlerde 7,62x63 AP mermisi kullanılmıştır. Numuneler çelik bir çerçeve içerisine yerleştirilerek atışları yapılmıştır.



**Şekil 5. Sınırlama Etkisindeki Karolarda Enerji Absorblama (Reddy vd. 2008)**

- Şekil 5’te görüldüğü gibi, enerji absorblama açısından aramid ve HMWPE benzer özellikler göstermişlerdir.
- Sınırlama miktarı (kat sayısı) arttıkça daha ince parçacık miktarının da arttığı görülmüştür. Daha fazla miktarda, daha ince parçalanma, daha yüksek miktarda yüzey alanının oluşmasına yol açar. Ufalanmış seramiğin mermi erozyonuna ve daha uzun bir kırılma sürecine katılmasına neden olur. Bu sayede yapı daha fazla miktarda enerji emer ve ayrıca merminin artık kütlesi de azalır. Enerji değişimleri ve mermi artık kütle verileri bu tespiti desteklemektedir. Bu sonuç, önceki çalışmalarla paraleldir.
- Atış bölgesindeki zorlanmalar ve kopma tipleri, fiberin sadece seramiği bir arada tutmaya değil, balistik dayanımları yüksek fiberler oldukları için merminin enerjisinin absorblanmasına da katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

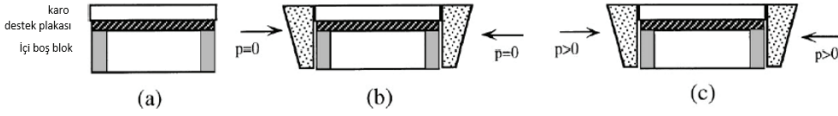
### **b. Ön Gerilim Uygulanarak Seramiğin Sınırlanması**

Seramiklere ön gerilme uygulanmasının, balistik özellikleri iyileştirdiği bilinmektedir (Holmquist & Johnson, 2005) . Sherman ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda (Sherman, 2000; Sherman, 1997; Sherman & Ben-Shushan, 1998), seramiğe ön gerilme uygulanarak sınırlandırılmasının etkisi incelenmiştir. Yanal sınırlama uygulanmıştır, ön veya arkasına sınırlama amacıyla ek malzemeler kullanılmamıştır. Aynı çalışmada, seramik arkasında kullanılan destek malzemesinin, sınırlandırılmış seramikte sebep olduğu hasar mekanizmaları incelenmiştir.

50x50 mm<sup>2</sup> 3-12 mm kalınlıkta Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karolar kullanılmıştır. Destek malzemesi olarak farklı kalınlıklarda çelik, alüminyum ve Spectra kompozit kullanılmıştır. Seçilen destek malzemeleri, birbirinden ayırt edici şekilde farklı olan sertlik, enerji soğurma ve empedans farklılığı sebebiyle



tercih edilmiştir. Malzemelerin  $Al_2O_3$  ile olan empedans farkları büyükten küçüğe; Spectra, alüminyum, çelik şeklindedir. Seramikleri sınırlandırmak için çift eksenli kuvvet uygulayabilen bir hapsedme çerçevesi kullanılmıştır. 3 farklı sınırlama koşulu uygulanmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi, a) sınırlama yok b) 4 tarafı çevrelenerek karonun hareketi sınırlandı ancak yük uygulanmadı (“sıfır” olarak adlandırılmıştır) c) yaklaşık 130 MPa çift eksenli basma gerilmesi uygulandı. Rahbek ve Johnsen'in (2019) yaptıkları çalışmada da olduğu gibi 7,62x63 AP sivri uçlu sert çelik çekirdek ile testler uygulanmıştır. Yarı statik hasarın değerlendirilebilmesi için destek bloklarının geri döndürülemez sapsması (*deflection*) ve radyal çatlakların sayısı kullanılmıştır.

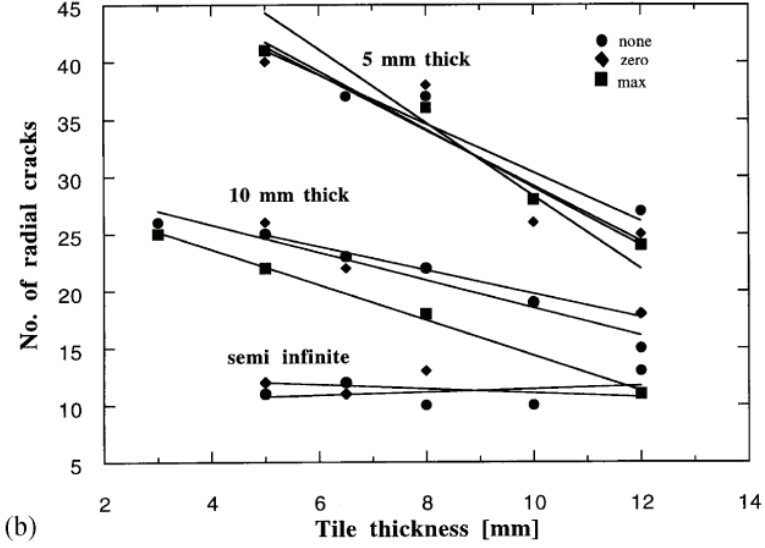


**Şekil 6. Sınırlandırma koşulları a) sınırlama yok b) 4 tarafı çevrelenmiş ancak yük “sıfır” c) yaklaşık 130 MPa çift eksenli basma gerilmesi uygulaması**

Spectra destek malzemesi kullanılan bütün (farklı kalınlıklar, farklı sınırlama koşulları dahil) deney setlerinde, çok sayıda radyal çatlak gözlemlenmiş ve seramik fazla miktarda ufalanmış ya da küçük parçalara bölünmüştür. Radyal çatlakların sebebi, kompozitin penetrasyon doğrultusunda düşük bükülme direncine sahip olmasına bağlanmıştır. Parçacıkların sebebi ise seramik-kompozit arasındaki yüksek empedans farkı sebebiyle arka yüzeyden dalgaların çoğunun geri yansımadır.

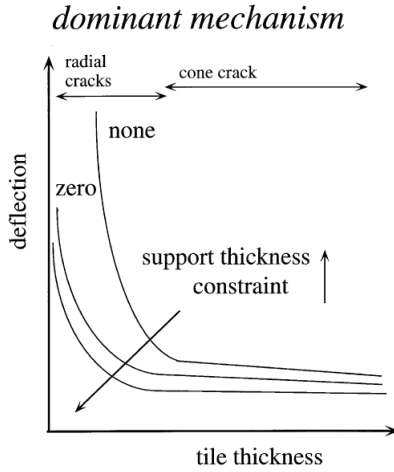
Spectra ve çelik destekler kıyaslandığında, kompozit destekli deneyde, fazla sayıda seramik parçacık oluştuğu ve sebebi de dinamik hasar olduğundan, dinamik hasarın yanal sınırlamadan etkilenmediği, destek malzemesinden etkilendiği ortaya konmuştur.





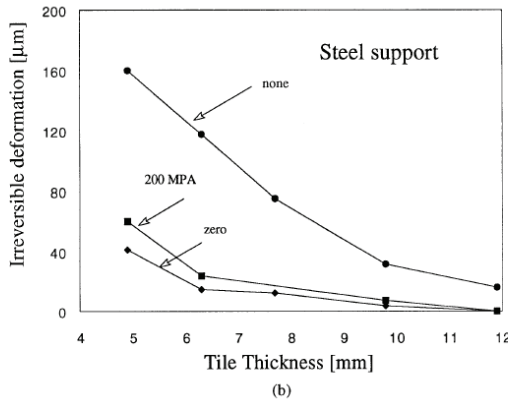
Şekil 7. Karonun Kalınlığı Ve Desteğin Kalınlığına Bağlı Olarak Radyal Çatlak Sayısı (Sherman, 2000)

En düşük empedans farkına sahip olan çelik destek kullanılarak yapılan deneylerde ise sınırlandırılmamış, sıfır sınırlandırılmış ve basınçlı sınırlandırılmış karolar benzer hasarlar göstermiştir. Şekil 7’de karonun kalınlığı ve desteğin kalınlığına bağlı olarak radyal çatlak sayısındaki değişim verilmiştir. Görüldüğü üzere aynı kalınlıktaki destekler için, farklı sınırlama koşullarının yarattığı radyal çatlak sayıları birbirlerinden çok da farklı değildir. Ancak destek malzemesinin kalınlığındaki değişim, radyal çatlak sayısından yüksek oranda artışa sebep olmuştur. Sonuç olarak yarı-statik hasar için yanal sınırlamanın etkisinin çok düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Desteğin mekanik özelliklerinin, hasar mekanizmasında daha etkili olduğu ortaya konmuştur. Bu bilgi, farklı çalışmaların elde ettiği farklı radyal çatlakların oluşma sebebine ışık tutabilir.



**Şekil 8. Seramiğin Kalınlığına ve Sınırlama Etkisine Bağlı Geri Dönülmez Sapma Şematik Gösterimi (Sherman, 2000)**

Çalışmada elde edilen bir diğer sonuç ise Şekil 8’de görüldüğü gibi seramik kalınlığına bağlı olarak kırılma mekanizmalarının değişmesidir. Önceki bölümlerde bu durumdan bahsedilmişti. İnce seramiklerde radyal çatlak oluşumu baskın olurken, kalın seramiklerde koni çatlakları etkilidir. İnce seramikler de koni çatlakları görülebilir. Koni çatlakları yüksek basma dayanımına sahip bölgeler oluşturduğu ve bu sebeple de seramiğin daha fazla deforme olmasına katkı sağladığı belirtilmiştir. Elde edilen bu sonuç, farklı makalelerde farklı sonuçlar elde edilmesi açısından açıklayıcı olabilir.



**Şekil 9. Farklı Sınırlama koşulları için kalınlığa bağlı deformasyon (Sherman & Ben-Shushan, 1998)**

Seramik kalınlığına bağlı olarak, geri döndürülemez deformasyonu

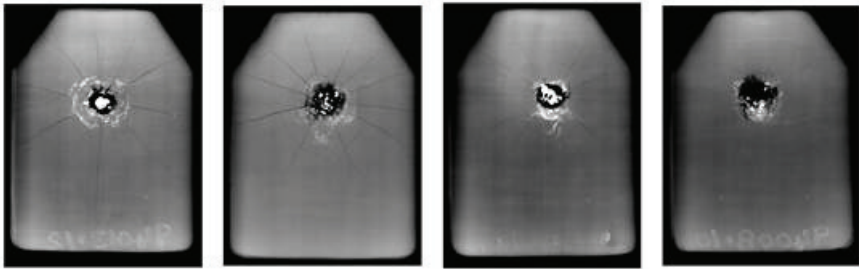
gösteren Şekil 9'daki veri de yine diğer çalışmalardaki tutarsız sonuçlara sebep olarak gösterilebilecek niteliktedir. Grafikte görüldüğü gibi, düşük kalınlıklar için hiçbir sınırlama uygulanmayan ve sınırlama uygulananlar için ciddi bir fark vardır ancak 0 yük uygulanan ve 200 MPa uygulanan arasında ciddi bir fark yoktur. Daha yüksek kalınlıklara gidildikçe sınırlama olan/olmayan arasındaki fark da çok az seviyelere düşmektedir. 200 MPa için beklenen sonucun alınmama sebebinin, çift eksenli sıkıştırma gerilmelerinin darbenin ilk aşamalarında karonun burkulmasına sebep olmuş olabileceği ileri sürülmüştür.

Hiçbir sınırlama uygulanmayan duruma kıyasla, parçaların yanal hareketine engel olmak karoya verilen hasarı azaltmıştır; ancak çift eksenli yükleme ile ön gerilme uygulamak az miktarda ek koruma sağlamıştır.

### Göğüs Plakasının Sınırlanması

Göğüs plakasının sınırlandırılmasının incelendiği nadir sayıda çalışma mevcuttur. Crouch (2014) SiC göğüs plakasının sınırlandırılması üzerinde çalışma yapmış ve çoklu atış performansını incelemiştir. Crouch'un bu çalışmasına erişim Rahbek ve Johnsen'in (2015) yayınlamış olduğu makale ile sağlanmıştır. Göğüs plakası; karolardan çok daha büyük boyutta olması, çoklu atış yapılabilmesi ve genellikle kavisli yapıları olması yönünden farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada 9 mm kalınlığında SiC kullanılmıştır. Kaplamasız, elastomerik polimer film, polyester fiber/epoksi prepreg ve aramid fiber/epoksi prepreg ile kaplanarak etkileri incelenmiştir. Destek malzemesi olarak UHMWPE kullanılmıştır. 7,62x63 AP mermisi ile test edilmiştir ve testler sırasında arkasında kil kullanılarak travma değeri ölçülmüştür.



(a) No cover.

(b) Polymer film.

(c) Polyester/epoxy.

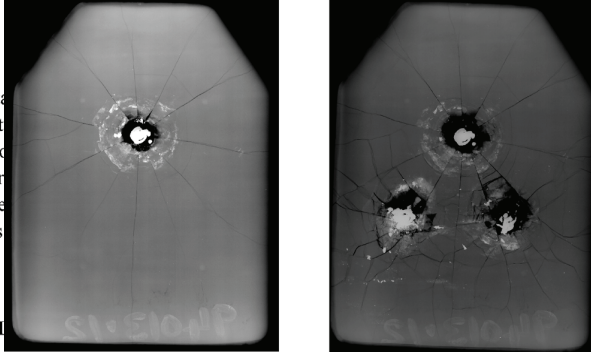
(d) Aramid/epoxy.

**Şekil 10. Sınırlanmamış ve Sınırlanmış Plakaların İlk Atış Sonrası X-Ray Görüntüsü (Crouch, 2014)**

Seramiklerin ilk atış sonrası X-Ray görüntüleri Şekil 10'da mevcuttur. Sonuçlar incelendiğinde radyal çatlak sayısının kaplama yapıldığında arttığı tespit edilmiştir. Radyal çatlak sayısı, daha güçlü kaplama yapıldı-

ğında daha da artmıştır. Sebebinin, kaplama sebebiyle seramikteki çember (*hoop*) gerilimin artması olduğu düşünölmüştür. Rahbek ve Johnsen'ın (2005) çalışmasında; çember geriliminin, silindirik koordinatlarda, hem radyal yöne hem kalınlık yönüne teğet ilerleyen çevresel gerilim olduğu ifade edilmiştir.

Çatlak açıklığı değerlendirildiğinde, Şekil 10'da göröldüğü gibi, kaplama olmayan numunede çatlaklar çok daha açıkken, en kuvvetli kaplama olan aramid/epoksi kaplamaya doğru gidildikçe açıklığın iyice azaldığı görölmüştür.



Şekil 11. Tek Atış ve Üç Atış Sonrası X-Ray Görüntüsü (Crouch, 2014)

Kaplanmış olan seramiklerin ilk atıştan sonra seramik bütünlüğünün bozulmaması çoklu atışa izin vermesini sağlamıştır. Şekil 11'de göröldüğü gibi, 1. atışta oluşan radyal çatlakların, 2. ve 3. atışlardan yayılan çatlakları durdurucu görev üstlendiği gözlemlenmiştir. Güçlü kaplama sebebiyle oluşan fazla sayıdaki çatlak, balistik performansta düşüşe sebep olmamıştır. Travma değerleri kaplı olanlarda (özellikle fiber kaplılarda) daha düşük gelmiştir.

## SONUÇ

Seramiklerin sınırlandırılmasının balistik performansı artırdığı ortadadır. Ancak yapılan çalışmaların hemfikir olduğu bir yöntem mevcut değildir. Yukarıdaki bölümlerde, farklı olmalarının muhtemel sebepleri vurgulanmıştır. Özetle;

- Farklı seramik malzemelerin (SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C gibi) kullanımı hatta farklı firmalarda üretilmiş ya da farklı yöntemlerle üretilmiş olması,
- Farklı seramik geometrileri (kare karolar, göğüs plakası gibi)
- Seramiğin kalınlığı,
- Farklı malzemeler (metal, cam elyaf kompozit, karbon elyaf kompozit..) ile sınırlandırılması ve hatta örgü tipleri ve/veya alansal yoğunluk-

ların dahi birbirinden farklı olması,

- Farklı sınırlama yöntemleri uygulanması (kaplama, sarma, yanal sınırlama, ön gerilimli/gerilimsiz vb.)
- Balistik testlerde kullanılan mühimmatların ve hızların birbirinden farklı olması
- Verilerin elde edildiği sonuçların ve hassasiyetlerinin farklı olması (örneğin çıkış hızı ölçümün sensörler ile ya da hızlı kamera görüntüleriyle alınması gibi)
- Destek malzemesinin farklı olması (UHMWPE, çelik, alüminyum, cam elyaf laminat gibi)

Yukarıdaki sıralanan sebeplerden dolayı çalışmalar birbirleriyle aynı sonuca ulaşamamıştır. Ancak çalışmaların çoğunda sınırlama etkisinin, seramiklerin balistik performansına olumlu yönde etki ettiği sonucuna varılmıştır. İyileşmenin sağlandığı temel etkenler ise aşağıda belirtilmiştir:

- Çoklu atış performansında artış
- Merminin artık kinetik enerjisinde düşüş
- Mermi erozyonunda artış

Tüm bu çıktılara göre, kullanılacak zırhın konfigürasyonuna (seramikte veya kompozitte kullanılan malzeme türünden kalınlığına kadar), sınırlamadan beklenen faydaya (enerji düşüşü, erozyonda artış, çoklu atışta artış) vb. bağlı olarak en iyi sınırlama yönteminin ve malzemesinin, spesifik olarak çalışılması ve o sisteme özel ideal sınırlamanın tespit edilmesi faydalı olacaktır.

## KAYNAKÇA

- Akella, K., & Naik, N. K. (2015). Composite armour—A review. *Journal of the Indian Institute of Science*, 95(3), 297-312.
- Bhatnagar, A. (Ed.). (2016). *Lightweight ballistic composites: military and law-enforcement applications*. Woodhead Publishing.
- Chen, X. (Ed.). (2016). *Advanced fibrous composite materials for ballistic protection*. Woodhead Publishing.
- Crouch, I. G. (2014, September). Effects of cladding ceramic and its influence on ballistic performance. In *International symposium on ballistics*.
- Crouch, I. G., Appleby-Thomas, G., & Hazell, P. J. (2015). A study of the penetration behaviour of mild-steel-cored ammunition against boron carbide ceramic armours. *International Journal of Impact Engineering*, 80, 203-211.
- Cunniff, P. M. (1999, November). Assessment of small arms (ball round) body armor performance. In *Proceedings of 18th international symposium on ballistics* (p. 806).
- Curran, D. R., Seaman, L., Cooper, T., & Shockey, D. A. (1993). Micromechanical model for comminution and granular flow of brittle material under high strain rate application to penetration of ceramic targets. *International Journal of Impact Engineering*, 13(1), 53-83.
- Di Benedetto, G., Matteis, P., & Scavino, G. (2018). Impact behavior and ballistic efficiency of armor-piercing projectiles with tool steel cores. *International Journal of Impact Engineering*, 115, 10-18.
- Gooch, W. A. (2002). An overview of ceramic armor applications. *Ceramic transactions*, 134, 3-21.
- Gower, H. L., Cronin, D. S., & Plumtree, A. (2008). Ballistic impact response of laminated composite panels. *International Journal of Impact Engineering*, 35(9), 1000-1008.
- Holmquist, T. J., & Johnson, G. R. (2005). Modeling prestressed ceramic and its effect on ballistic performance. *International Journal of Impact Engineering*, 31(2), 113-127.
- Horsfall, I., & Buckley, D. (1996). The effect of through-thickness cracks on the ballistic performance of ceramic armour systems. *International journal of impact engineering*, 18(3), 309-318.
- McGinn, J. T., Klopp, R. W., & Shockey, D. A. (1994). Deformation and comminution of shock loaded  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the Mescall zone of ceramic armor. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 362.
- Medvedovski, E. (2010). Ballistic performance of armour ceramics: Influence of design and structure. Part 2. *Ceramics International*, 36(7), 2117-2127.

- Nemat-Nasser, S., Sarva, S., Isaacs, J. B., & Lischer, D. W. (2002). Novel ideas in multi-functional ceramic armor design. *Ceramic transactions*, 134, 511-526.
- Nunn, S. D., Hansen, J. G. R., Frame, B. J., & Lowden, R. A. (2005, January). Improved ballistic performance by using a polymer matrix composite facing on boron carbide armor tiles. In *Advances in Ceramic Armor: A Collection of Papers Presented at the 29th International Conference on Advanced Ceramics and Composites, January 23-28, 2005, Cocoa Beach, Florida, Ceramic Engineering and Science Proceedings* (Vol. 26, pp. 287-292). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc..
- Prevorsek, D. C., Kwon, Y. D., & Sharma, R. D. (1977). Structure and properties of Nylon 6 and PET fibres: the effects of crystallite dimensions. *Journal of materials science*, 12(11), 2310-2328.
- Rahbek, D. B., & Johnsen, B. B. (2015). Dynamic behaviour of ceramic armour systems.
- Rahbek, D. B., Simons, J. W., Johnsen, B. B., Kobayashi, T., & Shockey, D. A. (2017). Effect of composite covering on ballistic fracture damage development in ceramic plates. *International Journal of Impact Engineering*, 99, 58-68.
- Rahbek, D. B., & Johnsen, B. B. (2019). Fragmentation of an armour piercing projectile after impact on composite covered alumina tiles. *International Journal of Impact Engineering*, 133, 103332.
- Reddy, P. R. S., Madhu, V., Ramanjaneyulu, K., Bhat, T. B., Jayaraman, K., & Gupta, N. K. (2008). Influence of polymer restraint on ballistic performance of alumina ceramic tiles. *Defence Science Journal*, 58(2), 264.
- Sarva, S., Nemat-Nasser, S., McGee, J., & Isaacs, J. (2007). The effect of thin membrane restraint on the ballistic performance of armor grade ceramic tiles. *International Journal of Impact Engineering*, 34(2), 277-302.
- Sherman, D. (1997). Quasi-static and dynamic ballistic damage mechanisms in confined ceramic tiles. *Le Journal de Physique IV*, 7(C3), C3-1021.
- Sherman, D., & Ben-Shushan, T. (1998). Quasi-static impact damage in confined ceramic tiles. *International Journal of Impact Engineering*, 21(4), 245-265.
- Sherman, D. (2000). Impact failure mechanisms in alumina tiles on finite thickness support and the effect of confinement. *International Journal of Impact Engineering*, 24(3), 313-328.
- Shockey, D. A., Marchand, A. H., Skaggs, S. R., Cort, G. E., Burkett, M. W., & Parker, R. (1990). Failure phenomenology of confined ceramic targets and impacting rods. *International Journal of Impact Engineering*, 9(3), 263-275.
- Woodward, R. L., Gooch Jr, W. A., O'donnell, R. G., Perciballi, W. J., Baxter, B. J., & Pattie, S. D. (1994). A study of fragmentation in the ballistic impact

of ceramics. *International Journal of Impact Engineering*, 15(5), 605-618.

Zhang, R., Han, B., & Lu, T. J. (2021). Confinement effects on compressive and ballistic performance of ceramics: a review. *International Materials Reviews*, 66(5), 287-312.



## **BÖLÜM 4**

### **MİKROENKAPSÜLASYON VE GIDALARDA UYGULAMA ALANLARI**

*Alican AKÇİÇEK<sup>1</sup>,  
Merve METE<sup>2</sup>,  
Dilek DÜLGER ALTINER<sup>3</sup>*

1 Öğr. Gör. Dr. , Kocaeli Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kartepe/Kocaeli, Türkiye, a.akcicek@kocaeli.edu.tr, Orcid: 0000-0001-5586-1228

2 Gıda Yüksek Mühendisi, Yıldız Holding Müşteri İletişim Merkezi, İstanbul, Türkiye, mervemete4@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2057-5798

3 Dr. Öğr. Üyesi, Kocaeli Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kartepe/Kocaeli, Türkiye, dilek.dulger@kocaeli.edu.tr, Orcid: 0000-0002-7043-2883

## GİRİŞ

Son yıllarda gıdaların depolanması ve işlenmesi sırasında biyoaktif bileşenlerin degradasyonuna neden olan reaksiyonların oluşmasını engellemek amacıyla enkapsülasyon teknolojisine yönelme giderek artmaktadır (Soyuçok vd., 2019). Bir madde veya bileşenin bir diğer polimerik madde ile kaplanması olayı enkapsülasyon olarak belirtilmektedir (Madene vd., 2006). Bu işlemde aktif madde (öz materyal-core-iç faz-dolgu) ve kaplama (duvar-kabuk-membran) materyali gibi iki farklı yapı bulunmaktadır (Cavalheiro vd., 2015). Mikro kapsül şematize edilmiş hali Şekil 1’de verilmiştir. Enkapsülasyon sonucunda gıda maddeleri çevresel faktörlere karşı korunma, taşıma ve ambalajlamada kolaylık meydana gelmektedir (Atak vd., 2017). Enkapsülasyon tekniği kapsül boyutuna göre; nanoenkapsülasyon, mikroenkapsülasyon ve makroenkapsülasyon şeklinde 3 farklı kategoriden oluşmaktadır (Gökmen vd., 2012).

Mikroenkapsülasyon, doğal biyoaktif bileşikleri ve mikroorganizmaları, çeşitli işleme ve depolama koşulları sırasında bozulmadan korunmak için kapsüllendiği işlemidir (Mehta vd. 2022). Bir diğer tanımla aktif bir maddeyi farklı kaplama materyali ile kaplanmasını gerçekleştiren teknolojidir. Mikroenkapsülasyon, salınımı, çözünürlüğü ve biyoyararlanımı kontrol etmek için bir engel görevi görmekte; taşımayı kolaylaştırmakta ve ayrıca hoş olmayan tatları ve aromaları maskeleymektedir (Dias vd., 2015). Yağlar, vitaminler, renk bileşenleri, mineral maddeler ve çeşitli enzimler mikroenkapsüle edilmektedir. Mikro kapsüller basitçe küre yapısındadır ve etrafında homojen bir duvar bulunmaktadır. Mikro kapsüller genellikle 0,2 ila 5000 µm çapındadır ve aktif maddeyi içeren bir çekirdeği saran kapsülleyici veya duvar malzemesinden oluşmaktadır. Nihai parçacık boyutu, işleme yöntemi ve kapsülleme malzemesinin doğası gibi birçok faktöre bağlı olmaktadır (Calderón-Oliver ve Alquicira, 2022). Mikroenkapsülasyon gıda, kozmetik, boya, farmakoloji ve kimya gibi farklı pek çok alanda kullanılmaktadır (Koç vd., 2010). Mikroenkapsülasyon teknolojisinin doğal avantajları, ilgili sağlık yararları ve artan farkındalık nedeniyle tüketiciler arasında popülerlik kazanmaktadır (Mehta vd. 2022). Bu bölümde mikroenkapsülasyon kavramı, kullanılan materyaller, tekniğin kullanıldığı gıdalarda yapılan çalışmalara yönelik bilgiler paylaşılacaktır.



Şekil 1. Mikro kapsül yapısının şematize edilmiş hali (Bosnalı ve Ocak, 2018)

## MİKROKAPSÜLASYONDA KULLANILAN MATERYALLER

Mikrokapsüllerin stabilitesi, boyutu ve özellikleri enkapsülasyon tekniklerine ve duvar materyali olarak kullanılan materyallere bağlıdır (Petkova vd., 2022). Mikrokapsüller 0.2 ile 5000 µm aralığındadır ve duvar materyali ile aktif (çekirdek) bileşenden oluşmaktadır (Calderón-Oliver ve Alquicira, 2022). Mikrokapsüllerin fizikokimyasal özelliklerini enkapsülasyonda kullanılan materyal ve aktif bileşen belirlemektedir (Sousa vd., 2022). Bu nedenle spesifik enkapsülasyon tekniklerinde kullanılacak duvar materyalinin belirlenmesi oldukça önemlidir (Calderón-Oliver ve Alquicira, 2022).

### *Duvar Malzemeleri*

Duvar malzemeleri, temel malzemeyi korumaya yaramaktadır. Duvar malzemesi, enkapsüle edilen materyalle birbirine yapışan yapışkan bir film oluşturmalıdır (Sousa vd., 2022; Mehta vd., 2022). Duvar malzemelerinin seçiminde duvar malzemelerinin fizikokimyasal özelliklerinin yanı sıra moleküler ağırlık, emülsifiye edici özellikler, çözünürlük, film oluşturma özellikleri belirleyici rol oynamaktadır (Petkova vd., 2022). Gıda endüstrisinde kullanılan duvar malzemeleri, güvenli, biyolojik olarak parçalanabilir ve gıdanın tadını etkilememe gibi bazı kriterleri karşılamalıdır. (Petkova vd., 2022). Ayrıca, duvar malzemeleri çekirdek ile reaksiyona girmemek için kimyasal olarak uyumlu ve kimyasal olarak inert olmalıdır (Sousa vd., 2022).

Mikroenkapsülasyonda kullanılacak olan ideal bir kaplama materyali;

- İç materyal ile uyum içinde olmalı,
- Dolgu materyalini stabilize edebilmeli,
- Dolgu materyaline karşı inert bir yapıda olmalı,
- Belirli koşullarda kontrollü salınımı gerçekleşmeli,
- Ucuz ve basitçe temin edilebilir olmalıdır (Sri vd., 2012; Bosnalı ve Ocak, 2018). Tek bir kaplama malzemesi yerine birden çok materyalin birlikte kullanılması tavsiye edilmektedir (Desai ve Park, 2005).
- Hem doğal hem de sentetik polimerler duvar materyali olarak kullanılabilir.

Doğal polimerler: Doğal biyolojik olarak parçalanabilen polimerler, organizmaların büyüme döngüleri sırasında doğada oluşur. Bu polimerlerin, örneğin; kolay işlenme, elde etme, biyoyouyumluluk ve biyobozunurluk gibi çeşitli avantajları vardır.

*-Polisakkarit Bazlı Duvar Materyalleri: Polisakkaritler monosakkarit*

birimlerinden oluşan karbonhidratlardır. Biyobozunur, çok kararlı, biyolojik olarak uyumlu, toksik olmayan, hidrofilik ve kolayca modifiye edilebilirler (Parente vd., 2022). Polisakkaritler (aljinat, nişasta, kitosan, selüloz asetat ftalat, k-karagenan, bitkisel gam), protein (jelatin, süt proteini) ve yağ, mikropartiküllerin oluşturulmasında kullanılmaktadır (Misra vd., 2022). Karbonhidrat grubu içinde nişasta, maltodekstrin ve mısır şurubu tozu mikroenkapsülasyon yönteminde en çok tercih edilen materyallerdendir (DeZarn, 1995). Çözünürlüklerinin iyi olması ve düşük viskoziteye sahip olmaları açısından iyi kaplama malzemeleri olarak nitelendirilirler. Ayrıca ucuz olmaları ve yaygın kullanım alanları tercih edilme sebeplerindedir (Dziezak, 1988; Mutka ve Nelson, 1988). Gıda sektöründe en çok kullanılan duvar malzemesi gamlardır. Doğada doğal olarak bulunurlar, Gamlar polisakkaritler grubu içerisindedir ve en çok kullanılan temsilcisi gam arabiktir.

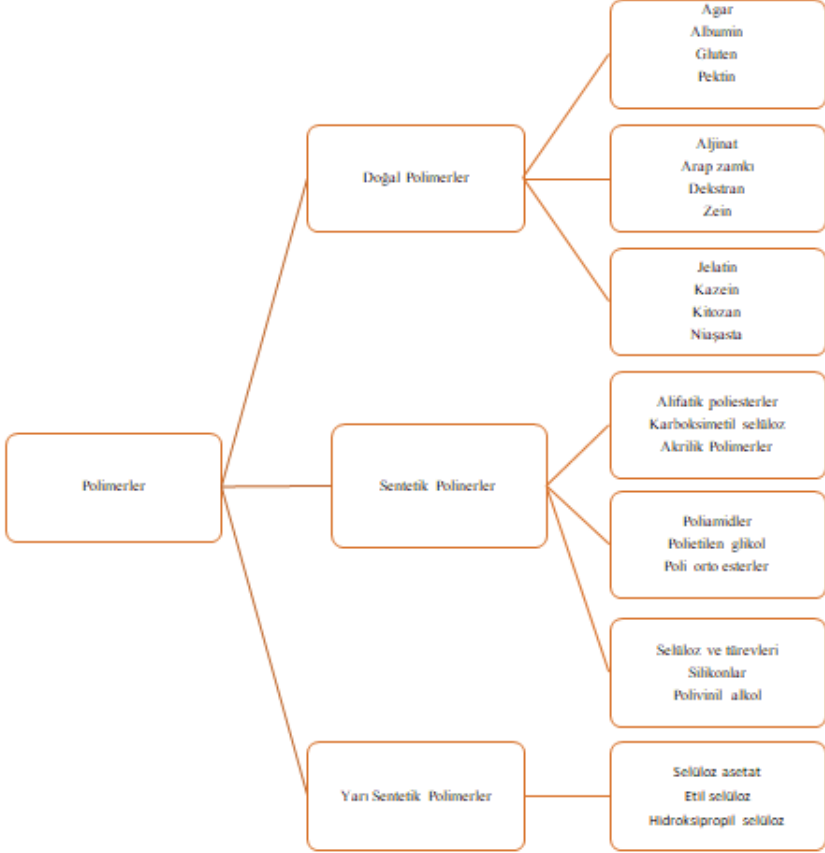
*-Protein Bazlı Duvar Materyalleri:* Proteinler farklı amino türlerinin düzenlemelerine sahip kopolimerler asitler, biyosentezlerini içeren karmaşık bir süreç haline getirir. Proteazlar kullanılarak proteinin enzimatik parçalanması, bir amid hidroliz reaksiyonudur (Parente vd., 2022). Mikroenkapsülasyon teknikleri içerisinde duvar materyali olarak önemli bir yere sahiptir.

*-Sentetik Bazlı Duvar Materyalleri:* Doğal polimerlerin yanında doğada bulunmamakla birlikte kimyasal olarak üretilen sentetik polimerler de bulunmaktadır. Çeşitli biyolojik olarak parçalanabilen ve biyolojik olarak uyumlu polimerler kimyasal yöntemlerle sentezlenir (Parente vd., 2022). Şekil 2'de mikroenkapsülasyon tekniklerinde kullanılan doğal ve sentetik polimerler gösterilmektedir.

### **Çekirdek malzemeler**

Çekirdek maddeleri maddenin farklı hallerinde (katı, sıvı, gaz), süspansiyon ve emülsiyon şeklinde olabilmektedir. Kapsülün çekirdeğinde ve duvar malzemesi içinde kapsüllenmiş olan aktif bileşenlerdir. Sonunda elde edilen ürünün doğası, kapsülleme için kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlı olmaktadır. Temel malzemelerin nasıl düzenlendiğine bağlı olarak, tek çekirdekli ve çok çekirdekli kapsüller elde edilebilmektedir (Petkova vd., 2022). Çekirdek malzemesinin aktif ve yararlı olabilmesi için moleküler yapı, fiziksel durum, biyolojik yapı, çözünürlük ve yüzey aktivitesi, optik özellikler ve kimyasal kararlılık gibi özellikleri dikkate alınmalıdır. Gıda içeriği üretimi için tipik çekirdek malzemeler sıvılar ve katılardır. Uygun özelliklere sahip mikrokapsüller, çekirdek malzemelerin canlılığını ve stabilitesini arttırmaktadır. Diyet lifi; oligosakkaritler, şeker alkoller; amino asitler, peptidler ve proteinler; glikozitler, alkoller; izoprenler ve vitaminler; kolinler; laktik asit bakterisi; mineraller; doyma-

mış yağ asitleri ve diğerleri, örneğin fitokimyasallar ve antioksidanlar gibi pek çok farklı aktif maddeler bulunmaktadır (Ye vd. 2018).



Şekil 2. Mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan bazı polimerler (Sayit, 2015; Bosnalı ve Ocak 2018)

## MİKROENKAPSÜLASYON TEKNİKLERİ

Gıda bileşiklerinin kapsülasyonu için çok sayıda teknik mevcuttur. Mikroenkapsülasyon tekniğinin seçimi, duvar ve çekirdek malzemesinin yapısını, istenen parçacık boyutunu, salınım sistemini ve enkapsülasyon verimliliğini doğrudan etkiler (Petkova vd., 2022). Enkapsüle edici bileşikler sıklıkla sıvı formda olduğundan, birçok teknoloji kurutmaya dayalıdır.

Mikroenkapsülasyon tekniklerini üç gruba ayrılmaktadır; Atomizasyon (püskürtmeyle kurutma ve püskürtmeyle soğutma), liyofilizasyon, püskürtmeyle kaplama (akışkan yatak) ve ekstrüzyon, mikrokürelere yol açan fiziksel tekniklerdir (Gouin, 2004; Arenas-Jal vd., 2020). Ayrıca, koaservasyon, arayüzey polimerizasyonu, çözücü buharlaştırma, kim-

yasal işlemler genellikle mikrokapsüllere yol açar. Ayrıca, bazı teknikler bu kategoriler arasında yer alır, fizikokimyasal tekniklerin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Aktif bileşenlerin mikrokapsülasyonu için püskürtmeli kurutma, akışkan yatakta kaplama, ekstrüzyon, dondurarak kurutma, kokristalizasyon, püskürtmeli dondurma ve koaservasyon gibi farklı teknikler mevcuttur (Şekil 3). Gıda endüstrisindeki en yaygın tekniklerden bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.



Şekil 3. Mikroenkapsülasyon Teknikleri (Gouin, 2004; Arenas-Jal vd., 2020)

### Püskürtmeli kurutma

Gıda endüstrisinde kullanılan püskürtmek kurutma, en eski ve en yaygın mikrokapsülasyon tekniklerinden biridir. bir çözücü içinde çözünen, dağılan veya emülsifiye edilen bir duvar materyali ve çekirdek materyal karışımı atomize edilerek bir aerosol oluşturulur. Ardından, çözücü, ilgili bileşikleri hapseden küçük katılaşmış damlacıklar (mikrokürelere) yaratarak ısı ile elimine edilir (Arenas-Jal vd., 2020).

Püskürtmeli kurutma özel bir ekipmana ihtiyaç duyulmaması nedeniyle ekonomik ve uygun bir metottür. Tekniğin dezavantajları arasında yapışma tehlikesi, oksidasyon, renk ve aroma değişimi belirtilebilir. Bu yöntem ile üretilen toz ürünler düşük bir nem içeriği ve su aktivitesi ser-

gilemektedir. Böylece üründe mikrobiyolojik dayanıklılık artış gösterir, ürünlerin kimyasal ve mikrobiyolojik olarak daha dayanıklı hale gelmektedir (Gharsallaoui vd., 2007).

Püskürterek kurutma tekniğinde karbonhidratlar, selülozlar, gamlar, proteinler kullanılabilir (Koç vd., 2010). Püskürterek kurutma yönteminin, uçucu ve sıcaklığa hassas maddelerin enkapsülasyonunda soğuk kurutma prosesi kullanılmakta ve bu proseste, kaplama maddesi içerisinde bulunan çekirdek emülsiyonu, etil alkol ve polialkoller gibi kaynama noktası düşük sıvılar içerisinde püskürtülerek vakumda kurutulmaktadır (Kınık vd., 2003).

### **Dondurarak Kurutma Yöntemi**

Dondurarak kurutma tekniği liyofilizasyon olarak da adlandırılmaktadır. Ürünün ilk aşamada dondurulduktan sonra ortamdaki basıncın düşürülerek suyun sıvı hale geçmeden buharlaştırılması tekniğine dayanan bir işlemdir. Dondurarak kurutma 3 aşamada meydana gelir. Bunlar dondurma, temel kurutma ve son olarak ikinci kurutma aşamasıdır.

İlk olarak dondurma kısmında; gıdadaki su içeriğinin buz kristallerine dönüştürülmesi, temel kurutma kısmında; buz kristallerinin süblimasyon yoluyla üründen uzaklaştırılması, son olarak ikinci kurutma kısmında ise gıdada bulunan bağlı suyun uzaklaştırılması gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem daha çok aroma maddeleri ve ısıya duyarlı maddelerin mikroenkapsülasyonunda kullanılmaktadır (Fezyoğlu, 2016). Tekniğin aroma, tat koku kaybının çok düşük seviyede tutması, son ürünün rekonstitüsyon karakteristiğinin çok iyi seviyede olması, çözünen maddelerin gıdada hareketinin yüksek seviyede olması dolayısıyla kayıpların çok düşük olması en önemli avantajlar arasında bulunurken, tekniğin uzun zaman alması ve yüksek maliyet gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Cerimedo vd., 2008; Koç vd., 2010).

### **Akışkan yatakta kaplama**

Akışkan yatak kaplama eczalık sektöründe tat maskeleyme, ilaçların kaplanması esnasında film oluşturma, ürünlerin stabilitesini artırma gibi amaçlarla kullanılırken gıda endüstrisinde yüksek maliyet sebebiyle püskürtmeli kurutmaya karşın genel olarak tercih edilebilen bir teknik değildir. Bununla beraber sürekli akışkan yatak sistemlerinin günümüzde daha çok meydana gelmesiyle gıda endüstrisinde de kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Akışkan yataklı kaplama, kaplamanın katı toz parçacıklarına uygulandığı kesikli bir işlemdir. Bu kapsülleme tekniği, katı parçacıklar ve duvar malzemesi hava akımı ile karıştırıldığı için belirli bir sıcaklıkta gerçekleştirilir. Kabuk için kullanılan malzemenin, termal olarak kararlı

olması, viskozitesine bağlı olarak enjeksiyon ve pompalamayı engellemesi ve partiküllerin yüzeyinde bir film oluşumuna izin vermesi gibi bir takım özelliklere sahip olması gerekir (Petkova vd., 2022).

Akışkan yataklı kaplama, kaplama malzemesinin akışkanlaştırılmış çekirdek malzeme üzerine püskürtüldüğü bir kapsülleme yöntemi olarak tanımlanabilir (Desai ve Park, 2005). Bu yöntemde göre toz yapıdaki iç malzeme akışkan yatak aracılığıyla sıcak bir gaz içerisinde çözündürülür ve süspanse durumdaki yapıya doğru sıvı haldeki membran materyali püskürtülerek kapsül oluşturulur. Çözücünün buharlaşarak uzaklaşmasıyla kabuk maddenin çekirdek materyalini kaplaması sağlanır. Oluşan mikrokapsüllerin boyutları 20–1500 µm arasında değişkenlik göstermektedir (Sarier ve Önder, 2012; Bosnalı ve Ocak, 2018).

Akışkan yatakta kaplama tekniği çeşitli vitamin ve minerallerin enkapsülasyonunu gerçekleştirmek üzere kullanılmaktadır. Unlu mamullerde özellikle C vitamini, asetik asit, laktik asit, potasyum sorbat, kalsiyum propiyonat, sorbik asit, ve tuzun yanı sıra mayalama sistemi bileşenlerini enkapsülasyonunu sağlamak için de kullanılır. Et endüstrisinde ise renk, aroma gibi özelliklerin geliştirilmesi için farklı gıda asitleri bu yöntemle enkapsüle edilmektedir. Ayrıca kürlenmiş et ürünlerinde tekrarlanabilir bir pH elde etmek ve işlem sürelerini kısaltmak için kullanılırlar. Etlere hem acılaşmayı hem de miyofibriller bağlanma nedeniyle erken sertleşmeyi önlemek için akışkan yataklı kapsüllenmiş tuz kullanılır (Dezarn, 1995).

### **Ekstrüzyon**

Genellikle düşük sıcaklıkta uygulanan enkapsülasyon yöntemi olarak bilinmektedir ve uçucu, ısı stabilitesi düşük olan aroma bileşenlerinin enkapsülasyonunu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Kınık vd., 2003). Bu teknik çözünmüş halde bulunan karbonhidrat polimerlerinin katı yapıdaki aktif bileşenlerin enkapsülasyonu temeline dayanmaktadır.

Ekstrüzyon, çekirdek malzemeyi ve kolloid karışımını, basınç altında iğneli borudan sıvı damlalar halinde sertleştirme banyosuna sıkıştırarak mikrokapsüller oluşturmak için kullanılan fiziksel bir yöntemidir. Ürünlerin raf ömrünü önemli ölçüde uzatmak amacıyla yağ buharlaşma ve oksijenden etkili bir şekilde koruyabilir (Yang vd., 2020). Ekstrüzyon yöntemi ile oksijene karşı bir bariyer oluşturulması sağlanır. Ekstrüzyon tekniği yardımıyla aroma maddelerinin mikrokapsülasyonu sonucunda oksidasyona karşı dayanıklı ve raf ömrü uzun mikrokapsüller meydana gelmektedir (Gouin, 2004). Ekstrüzyon tekniği gıda sektöründe karanfil, zeytin, kekik ve tarçın yağları gibi bazı bitkisel ve uçucu (esansiyel) yağları enkapsüle etmek amacıyla kullanılmaktadır. (Sun-Waterhouse vd., 2011; Soliman vd., 2013).



## **Koaservasyon**

Koaservasyon, polimerlerin çekirdek partikülleri etrafındaki sıcaklık, iyonik kuvvet, pH ve polarite gibi fizikokimyasal özelliklerini değiştirerek kümeleşmesini sağlayan bir metoddur. Mikrokapsüller filtrasyon ve santrifügasyon gibi ayırma tekniklerinden biri yardımıyla ortamdan uzaklaştırılmakta ve tek tek partiküller standart bir yöntem kullanılarak kurutulmaktadır (Kınık vd., 2003).

Koaservasyon en eski ve en yaygın kullanılan kapsülleme tekniklerinden biridir. Modifiye edilmiş bir emülsifikasyon tekniği ile karşılaştırılabilecek nispeten basit bir yöntemdir. Koaservasyon işlemi: çekirdek malzeme parçacıklarının sıvı fazda askıya alınması, üç fazlı bir sistemin üretilmesi, yani ikinci sıvı fazın (koaservat) salgılanması, sıvı polimerin çekirdeğin etrafında birikmesi, jelleşme, ve mikrokapsül duvarının katılaşması olarak dört aşamadan oluşmaktadır (Napiorkowska ve Kurek, 2022).

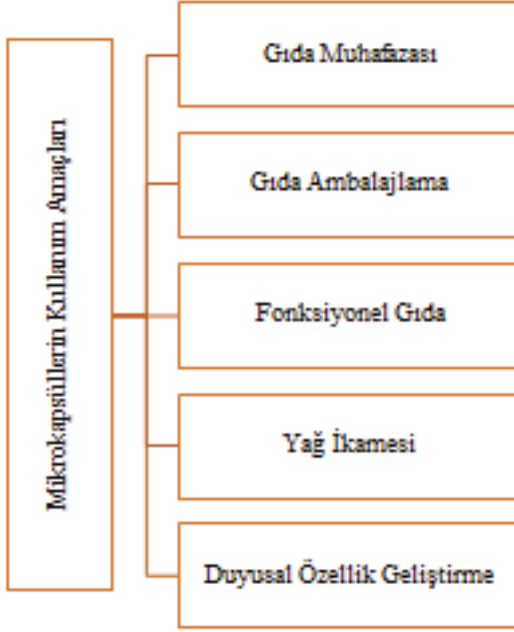
Basit ve kompleks koaservasyon olmak üzere iki farklı çeşidi bulunmaktadır. Kompleks koaservasyonda farklı yüke sahip iki kolloid yapı ile gerçekleştirilmektedir. Basit koaservasyon ise tek tip kolloid yapıyla ile gerçekleştirilmektedir ve pH, çözücüler, tuz ve sıcaklığın istenilen düzeye ayarlanmasıyla g iki faz meydana getirilmektedir (Bosnalı ve Ocak, 2018). Koaservasyon, enkapsülasyon teknolojisinin bilinen ilk yöntemi olarak belirtilmiştir. Tekniğin karmaşık ve maliyetininse yüksek olması dolayısıyla gıda endüstrisinde çok faydalanılan bir teknik değildir.

## **Kokristalizasyon**

Kokristalizasyon, çekirdek malzemelerin birleştirilmesi için bir matris olarak sakkarozu kullanan yeni bir kapsülleme işlemidir. Bu yöntemde sükröz şurubu aşırı doymuş duruma konsantre edilir ve kristalleşmeyi önleyecek kadar yüksek bir sıcaklıkta tutulur. Önceden belirlenmiş miktarda çekirdek malzemesi yoğun mekanik çalkalama ile konsantre şuruba eklenir, böylece sakkaroz ve çekirdek materyalin iç içe geçmesi sonucu enkapsülasyon işlemi gerçekleşmektedir. Şurup, kristalleşmenin başladığı sıcaklığa ulaştığında önemli miktarda ısı yayılır. Aglomerallar (kümeler) kaptan boşaltılana kadar transformasyon/kristalizasyonu desteklemek için karıştırmaya devam edilir. Kapsüllemiş ürünler daha sonra istenen neme kadar kurutulur ve tek tip bir boyuta elenir. Çekirdeklenme ve kristalleşme oranlarının yanı sıra çeşitli fazlar sırasındaki termal dengenin düzgün bir şekilde kontrolünün sağlanması büyük öneme sahiptir (Rizzuto vd., 1984; Desai ve Park, 2005). Bu yöntemin sağladığı önemli avantajlar ise; çözünebilir, homojen, dispersiyon oluşturabilen, topaklanmaya dirençli, enkapsüle materyaller meydana getirmesidir (Gomez-Hens ve Fernandez-Romero, 2006).

## MİKROENKAPSÜLLERİN GIDA ALANINDAKİ KULLANIM AMAÇLARI

Gıda hazırlama sırasında mikrokapsüllerin eklendiği gıdalarda muhafaza, fonksiyonel gıda geliştirme, duyuusal iyileştirme, yağ ikamesi ve/veya diğerleri gibi spesifik işlevleri veya uygulamaları bulunmaktadır (Şekil 4) (Calderón-Oliver ve Alquicira, 2022).



Şekil 4. Mikrokapsüllerin Kullanım Amacı (Calderón-Oliver ve Alquicira, 2022)

### Gıda Muhafazası

Koruyucular, gıdalarda enzimler, mikroorganizmalar, oksijen ve diğerlerinin neden olduğu bozulmaları önleyen engelleyen maddelerdir. Koruyucuların birçoğu üründe çok etkilidir, ancak kullanılan konsantrasyonlar nedeniyle ürünle temas ettiklerinde hoş olmayan tatlar üretebilir veya etkinliklerini azaltabilirler. Mikrokapsülasyon, bu değişiklikleri sınırlamak veya önlemek için bir önemli bir seçenektir. En yaygın olarak mikrokapsüle edilen koruyucular arasında polifenoller, organik asitler, bitkilerden, baharatlardan, soğandan, sarımsaktan ve meyvelerden elde edilen esansiyel yağlar ve bakteriyosinler yer almaktadır (Calderón-Oliver ve Alquicira, 2022). Farklı aktif bileşenin antimikrobiyal aktivitesi, kullanılan antimikrobiyal bileşenin bileşimine ve kullanılan mikrokapsülasyon tekniğine bağlı olan serbest bileşenlerin aksine, mikrokapsülasyon

teknikleri aracılığıyla arttırılabilir veya azaltılabilir (Eghbal vd., 2022).

### Gıda Ambalajlama

Gıda ambalajı, fiziksel hasarı, dış kontaminasyonu ve gıdanın bozulmasını önlemede çok önemlidir. Mikromalzemelerin sahip olduğu özellikler, daha düşük gaz geçirgenliği, geliştirilmiş termal kararlılık ve dayanıklılık gibi bu özellikler, halihazırda oluşturulmuş ambalajlarda, malzemenin tek yapısından daha belirgindir. Bir ürünün raf ömrünü uzatmak için, aktif bileşiklerin dağıtımını için taşıyıcılar olarak paketleme sistemlerinde mikro malzemeler kullanılmaktadır (Petkova vd., 2022). Aktif paketleme, paketleme malzemelerine dahil edilen katkı maddesinin türüne bağlı olarak kemo-aktif ve biyoaktif gibi birkaç kategoride sınıflandırılmaktadır. Kemoaktif maddeler, sentetik kimyasal katkı maddeleridir ve biyoaktif maddeler ise, ambalaj malzemelerinde biyolojik olarak türetilmiş katkı maddelerini ifade etmektedir. Örneğin; esansiyel yağlar ve bileşenleri, doğrudan gıdaya uygulanabilir veya gıdanın raf ömrünü uzatmak için gıdanın saklanması ve taşınması sırasında salınmak üzere gıda ambalajına dahil edilmektedir. Esansiyel yağlar, antibakteriyel ve antioksidan etkilere sahip olan ve lipid oksidasyonu sürecinin yanı sıra mikroorganizmaların varlığını azaltabilen ve hatta yok edebilen fenolik bileşikler içermektedir (Rout vd., 2022).

### Fonksiyonel Gıda

Fonksiyonel gıda, vücuda besin ve enerji sağlamanın yanı sıra, hastalıkları önlemek veya fizyolojik bir yanıtı harekete geçirmek için vücutta bir veya daha fazla faydalı işlevi destekleyebilen gıdadır (Calderón-Oliver ve Alquicira, 2022; Nicoletti, 2012). Fonksiyonel gıdalar pazarı, probiyotiklerin, prebiyotiklerin ve sinbiyotiklerin en büyük segmentini içermektedir (Sharma vd., 2022). Günümüzde sağlıklı yaşam konusu büyük bir trend haline gelmiş ve fonksiyonel gıda bu trend altında önemli bir konumda yer almaktadır. Enkapsülasyon işleminin son adımı, mikrokapsüllerin gıda ürünlerine doğrudan dahil edilmesidir. Gıdaya mikropartiküllerin eklenmesi, temel beslenmenin yanında sağlık açısından da potansiyel olarak pozitif bir etkiye sahip olacak ve fonksiyonel bir gıda ürünü ile sonuçlanacaktır (Aguilar vd., 2016). Fazilah vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada *Lactococcus lactis Ghl*, yaygın olarak mucize meyve olarak bilinen *Synsepalum dulcificum*, gam arabik ile sprey kurutma yoluyla kapsüllenmiştir. Püskürterek kurutmadan sonra, *S. dulcificum* ile kombinasyon halinde *L. lactis* içeren yüksek yaşayabilirliğe sahip ( $\sim 10^9$  CFU/mL) tozların geliştirildiği ve daha sonra yoğurt içerisine ilave edildiği bildirilmiştir. Mikroenkapsüle edilmiş ( $10^7$  CFU/mL'lik) *Lactococcus lactis*, yoğurda dahil edildiğinde, mikroenkapsüle edilmemiş olan hücrelere kıyasla ( $\sim 10^5$  CFU/mL)  $\sim$  daha yüksek oranda canlılığını koruduğu rapor edilmiştir.

## Yağ İkamesi

Gıdadaki yağın türü ve miktarı son derece önemlidir. Ürünün doku, tat ve hatta renk gibi duyuşsal özelliklerini yağ maddeleri geliştirmektedir. Yağın kısmen veya tamamen değiştirilmesi, daha az kalorili ürünler oluşturmak için kullanılan yaygın bir stratejidir (Calderón-Oliver ve Alquicira, 2022). Bitkisel yağlar ağırlıklı olarak tekli veya çoklu doymamış yağ asitlerinden oluştuğundan, oksidatif reaksiyonlara karşı çok hassastırlar. Mikroenkapsülasyon, gıda endüstrisinde lipid oksidasyonunu önlemek için kullanılan yaygın bir işlemdir (de Almeida vd., 2018). Bitkisel yağların sıcaklık, ışık, oksijen vb. çevresel faktörlere karşı etkin bir şekilde korunmasını sağlar. Yağ mikrokapsüllerinin potansiyel yağ ikame maddeleri olarak kullanılmasının farklı et ürünlerinde son zamanlarda büyük bir potansiyele sahip olduğu belirtilmektedir (Alasalvar vd., 2022).

## Duyusal Özellik Geliştirme

Bir ürünün duyuşsal yönleri, bir ürünü satın almaya yönelik ilk niyette güçlü bir şekilde etkili olduğu için büyük önem taşımaktadır ve farklı türde mikrokapsüllerin gıdalara eklenmesi gıdanın dokusunu, görünümünü, tadını, rengini değiştirmektedir (Calderón-Oliver ve Alquicira, 2022). Nutrasötiklerin zenginleştirilmesi, dahil edilmesi veya eklenmesi süreci, orijinal gıdanın bileşimini, fizikokimyasal ve duyuşsal özelliklerini etkiler. Bu nedenle, kabul edilebilir bir duyuşsal çekiciliğe sahip gıda üretmek, oldukça önemlidir (Aguiar vd., 2016; Augustin ve Sanguansri, 2014).

## MİKROENKAPSÜLASYON TEKNİKLERİNİN KULLANIMI VE GIDALARDA UYGULAMALARI

### Biyoaktif Bileşiklerin Enkapsülasyonu

Biyoaktif bileşikler, "gıda bileşenlerinde bulunan bitki veya hayvan bazlı bileşenlerdir" ve çok sayıda sağlık yararı (antioksidan, antikanser, antidiyabetik ve antimikrobiyal aktiviter ve kardiyovasküler komplikasyonları azaltma) bulunmaktadır (Neekhra vd., 2022). Antioksidan, antimikrobiyal, tatlandırıcı, renklendirici, besleyici ve tedavi edici özellikler içeren birçok biyoaktif bileşen vardır ve bunlar gıda endüstrisinde muhafaza amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Mehta vd., 2022; Lorenzo vd., 2018). Bu bileşikler gıda sistemleri üzerinde etkilerini göstermekte ve gıda ürünlerine daha iyi kalite, stabilite sağlamaktadır. Bu doğal biyoaktif bileşiklerin işlenmesi ve depolanması sırasında karşılaşılan temel sorun bozulmalarıdır.

Enkapsülasyon, biyoaktif bileşiklerin hedefleme hassasiyetini, kontrollü dağıtımını ve biyoyararlanımını geliştirmektedir (Neekhra vd., 2022). Biyoaktif bileşiklerin sağlık açısından pek çok faydası vardır, ancak kimyasal stabiliteri düşüktür ve oksidatif bozulmaya maruz kalırlar. Biyoaktif bileşenler farklı tekniklerle enkapsüle edilip farklı çeşitte gıda-

larda kullanımı çalışmalarda incelenmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Mikroenkapsüle Edilmiş Biyoaktif Bileşenlerin Gıdalarda Kullanımı

Aktif Materyal	Enkapsülasyon Tekniği	Gıda Uygulaması	Kaynak
Hibiscus sabdariffa L. ekstrakt	İyonik Jelasyon ile Sprey Kurutucu Tekniği	Yoğurt	(De Moura vd., 2022)
<i>Cannabis sativa</i> L., <i>Cannabis indica</i> L., ve <i>Mitragyna speiosa</i> K.,	İyonik Jelasyon ile Sprey Kurutma Tekniği		(Phupaboon vd., 2022)
β-Karoten	Sprey Kurutma		
Böğürtlen Atığı Ekstraktı	Sprey Kurutma-Dondurarak Kurutma-İyonik Jelasyon	Yoğurt	(Dos Santos vd., 2022)
Ahududu Suyu Tozu	Dondurarak Kurutma		(Nthimole vd., 2022)
Nar Çekirdeği Yağı	Koaservasyon	Kafe Latte İçecek	(Costa vd., 2022)
Kırmızı Lahana Ekstraktı	Sprey Kurutma	Doğal Gıda Boyası	(Machado vd., 2022)
Kırmızı Şarap Posası	Sprey Kurutma		(Ricci vd., 2022)
Vahşi Nar Kabuğu	Dondurarak Kurutma	Yoğurt	(Hamid vd., 2022)
Artemide Siyah Pirinç Ekstraktı	Sprey Kurutma	Bisküvi	(Papillo vd., 2018)
Omega 3 Acısından Zengin Balık Yağı	Koaservasyon	Nar Suyu	(Habibi vd., 2017)
Keten Tohumu Yağı	Sprey Kurutma	Süt	(Goyal vd., 2017)
Nar Kabuğu Fenolikleri	Sprey Kurutma	Dondurma	(Cam vd., 2014)
Vişne Atığı	Dondurarak Kurutma	Kurabiye	(Saponjac vd., 2016)
Domates Kabuğu	Koaservasyon ve Dondurarak Kurutma	Salata Sosu	(Gheneoa vd., 2021)
Balık Yağı	Sprey Kurutma	Burger	(Keenan vd., 2015)
Portakal Atığı Ekstraktı	Sprey Kurutma	Balık Burger	(Spinelli vd., 2017)

Mikroenkapsülasyon, bu doğal biyoaktif bileşiklerin bozunmasını engellemek amacıyla kullanılan önemli bir teknolojidir. Ayrıca mikroenkapsülasyon, mineraller, vitaminler, probiyotikler, antioksidanlar ve yağ asitleri dahil olmak üzere biyoaktif bileşiklerin gıda matrisine ilave edilmesini geliştirmektedir (Neekhra vd., 2022; Chawda vd., 2017).

Machado vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada antosiyanin açısından zengin kırmızı lahana ekstraktı, doğal bir gıda boyası üretmek için enkapsüle edilmiştir. Mikropartiküller farklı konsantrasyonlarda malto-dekstrin ve gam arabik kullanılarak sprey kurutma yoluyla üretilmiştir. Sonuç olarak, antosiyanin açısından zengin kırmızı lahana ekstraktı ile üretilen mikropartiküller, doğal bir gıda renklendirici olarak kullanım için umut verici bir yapıya sahip olduğu belirtilmiştir.

Raddatz vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada *Lactobacillus casei* ve biyoaktif bileşiklerin kombinasyonunu içeren fonksiyonel bir çilek posası geliştirmeyi amaçlamıştır. Depolama ve ürün tüketimi sırasında bakterilerin hayatta kalmasını iyileştirmek için kırmızı soğan kabuğu ekstraktından mikropartikül formülasyonlarına dönüştürülmüştür. Bu amaca ulaşmak için, mikropartiküllere eklenen farklı konsantrasyonlarda kırmızı soğan kabuğu ekstraktı ilavesi değerlendirilmiştir: %5, 20 ve 40. Sonuç olarak, düşük konsantrasyonlarda kırmızı soğan kabuğu ekstresi, probiyotik *L. casei*'nin farklı koşullar altında hayatta kalmasına yardımcı olabildiği belirtilmiştir.

Baltrusch vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada nişasta, karagenan veya aljinat bazlı uygun biyopolimer taşıyıcı sistemlerin çay ekstraktının enkapsülasyonu olarak uygulanması ve karakterizasyonu ile ilgilidir. Çay ekstraktı püskürtülerek kurutulmuş ve geri dönüştürülmüş taşıyıcı malzemeler (aljinat, karagenan veya nişasta) içinde mikroenkapsüle edilmiştir.

Ricci vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada Cabernet Sauvignon şarap tortularının nanofiltrasyonu ile geri kazanılan biyoaktif polifenolik bileşikler, artırılmış besin değerine sahip spreyle kurutulmuş bir mikro toz elde etmek için maltodekstrin ile enkapsüle edilmiştir.

Pan vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada yaban mersini tozlarındaki on bir antosiyanin, HPLC-DAD-ESI-MS ile tanımlanmış ve miktarı belirlenmiştir. Yaban mersini tozu mikrokapsülleri duvar malzemesi olarak farklı oranlarda, peynir altı suyu proteini izolatları veya soya proteini izolatları ile birleştirilmiş yüksek metil pektin kullanılarak püskürtülerek kurutma yöntemiyle üretilmiştir. Genel olarak, soya protein izolatu ve yüksek metil pektin kombinasyonu, enkapsülasyon etkinliğini arttırmada ve partikül boyutunu azaltmada diğer mikrokapsüllere nazaran daha etkili olduğu belirlenmiştir.

### **Aroma Maddelerinin Enkapsülasyonu**

Gıdaların aroması gıdanın tüketiciler tarafından nasıl algılandığı ile yakından ilgilidir. Aromatik bileşikler, işleme ve depolama sıcaklığına bağlıdır ve bu nedenle uçucu oldukları için kontrol edilmesi zordur. Mik-

roenkapsülasyon teknikleri, işleme ve depolama sırasında kokuları buharlaşmadan korumak için kullanılmaktadır (Petkova vd., 2022).

Yiyecekleri seçerken lezzet, tüketicilerin en önemli kriteridir. Tek bir doğal aroma yüzlerce hatta binlerce molekül içerebilir ve bunların çoğu oksidasyona karşı oldukça hassastır. Aroma kısmı, hızla buharlaşan düşük moleküler ağırlıklı uçucu moleküllerden oluşur. Lezzeti korumak ve salınımlarını kontrol etmek için kullanılan popüler teknolojilerden biri mikroenkapsülasyondur. Lezzet, herhangi bir gıda ürününün en önemli duyuşsal özelliklerinden biridir. Daha önce açıklandığı gibi çeşitli işleme ve depolama koşullarından kolayca etkilenir. Bu nedenle, tat bileşiklerinin mikroenkapsülasyonu ve bunların gerçek gıda sistemlerinde uygulanması, gıda endüstrisi için önemli zorluklardır. Gıda endüstrisinde en iyi mikroenkapsülasyon teknolojileri sprey kurutma, emülsiyon, ekstrüzyon ve polimer kapsüllemesidir. Tüketiciler ve ürünler daha sofistike hale geldikçe, gıda endüstrisi için tatların hem bütünlüğünü hem de yoğunluğunu korurken aynı zamanda salınımlarını kontrol etmek kritik önem taşımaktadır (Yan vd., 2022).

Muhammad Yusuf vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada yüzen yengeç yan ürünlerinin kullanımı optimal değildir, bu nedenle yengeç yan ürününün umami bileşikleri açısından zengin olduğu düşünüldüğünde toz halinde bir tat arttırıcı olarak üretilmesi önerilir. Bu amaca ulaşmak için mikroenkapsülasyon teknolojisi kullanılmıştır. Bu çalışmada, kaplama malzemesi olarak 2:1, 1:1 ve 1:2 oranlarında maltodekstrin ve gam arabik karışımı kullanılarak deniz ürünleri lezzet arttırıcı ürünler sprey kurutma altında üretilmiştir. Sonuçlar, elde edilen deniz ürünleri aromalı mikrokapsüllerin düşük su içeriğine ve su aktivite değerlerine sahip olduğunu, taneciklerin parlak bir renge sahip olduğunu ve higroskopik olarak sınıflandırıldığını, yüksek çözünürlük, hızlı kürlenme süresi ve taneciklerin iyi akışkanlığa sahip olduğunu göstermiştir.

### **Mikroorganizmaların Enkapsülasyonu**

Probiyotik bakteriler, “etkisi yoluyla konakçıyı faydalı bir şekilde etkileyen canlı bir mikrobiyal besin takviyesi” olarak tanımlanabilir (Del Piano vd., 2011). Probiyotik bakterilerin vücutta iyi bir etkiye sahip olması için tüketilene kadar canlı, metabolik olarak aktif ve yeterli miktarda olması gerekmektedir (Neekhra vd., 2022). Mikroenkapsülasyon tekniklerinden, püskürterek kurutma, ekstrüzyon, emülsiyon, koaservasyon, liyofilizasyon vb. gibi teknikler probiyotikleri korumak için en umut verici araçlardan biri olduğu bildirilmiştir (Mahmoud vd., 2020). Probiyotik mikroorganizmaları gıdaya göre sıralarken duyuşsal özellikler, gastrointestinal sistem hayatta kalma, raf ömrü ve sağlık yararları, gibi çeşitli yönlerin dikkate alınması gerekmektedir (Yan vd., 2022; Flach vd., 2018) Mikroorganizmalar farklı tekniklerle enkapsüle edilip farklı çeşitte gıda-

larda kullanımını çalışmalarda incelenmiştir (Tablo 3).

Probiyotik mikrokapsüllerle güçlendirilmiş başlıca gıda ürünleri, yoğurt ve peynir gibi süt ürünleri, sosis gibi fermente etler, unlu mamuller, meyve suları ve fermente içecekler gibi içecekler ve diğerleridir (dondurma, mayonez) (Yan vd., 2022).

#### Vitamin ve Minerallerin Enkapsülasyonu

Vitaminler insan sağlığı için gereklidir. Temel besinlerdir ve cilt problemlerinin tedavisini ve vücuttaki oksidatif stresin düzenlenmesini kolaylaştırırlar. Vitaminler kolayca oksitlenir, bu da onları kararsız hale getirir. Fizikokimyasal kararlılıklarını iyileştirmek, fizyolojik güçlerini artırmanın yanı sıra, nano- ve mikrokapsülasyon ile gerçekleştirilir (Petkova vd., 2022; Gonnet vd. 2010).

A vitamini suda çözünmeyen bir vitamindir ve karotenoidler ve retinol şeklinde sağlanan insan sağlığı için gerekli bir besindir. A vitamini eksikliği, immünolojik aktivite, görme büyümesi ve gelişimi, üreme ve hücrel büyüme ve farklılaşma dahil olmak üzere birçok biyolojik işlevi tehlikeye atabilir (Yan vd. 2022). A vitamininin maltodekstrin ve sodyum kazeinat kombinasyonu ile kapsüllenmesinin, A vitamini düşük nem koşullarında 170 °C'ye kadar stabilize ettiği ve yem imalat endüstrisinde yaygın bir sorun olan oksidasyona karşı koruduğu bulunmuştur (Mujica-Alvarez vd., 2020)

B12 Vitamini, temel bir mikro besindir ve tüm vitaminler arasında kimyasal olarak en karmaşık olanıdır. Hayvansal kaynaklı gıdalardan veya takviyelerden alınması gereken yaygın olarak bulunan bir vitamindir, bu nedenle onları tüketmeyenler, eksiklik geliştirme riski altındadır. Eksikliği sonucu sağlığı sorunlarına neden olabilir, bu nedenle gıda takviyeleri veya katkı maddeleri yoluyla onu diyeteye dahil etmek çok önemlidir. B12 vitamini ışık, ısı, asidik ve bazik ortamlarda kolaylıkla parçalanır. Mikrokapsülasyon, bu sınırlamaların üstesinden gelebilir ve gıda endüstrisindeki uygulamasını genişletebilir (Carlan vd., 2017).

Alasalvar vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışma, hayvansal yağ yerine fındık yağı mikrokapsüllerinin kısmi kullanımının dana burger üzerindeki etkilerini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, burgerler fındık yağı mikrokapsülleri kullanılarak %10, %25 ve %50 oranında hayvansal yağ ikamesi ile hazırlanmıştır. Çalışmada, fındık yağı mikrokapsüllerinin bir hayvansal yağ ikamesi olarak kullanılması, duyu-sal kabul edilebilirliği etkilemeden burgerlerin beslenme, pişirme özelliklerini ve yağ asidi profillerini geliştirdiği belirtilmiştir.



**Tablo 2.** Mikroenkapsüle Edilmiş Mikroorganizmaların Gıdalarda Kullanımı

Aktif Materyal	Enkapsülasyon Tekniği	Gıda Uygulaması	Kaynak
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Enkapsulator	Yoğurt	(Afzaal vd., 2019)
<i>Bifidobacterium BB-12</i>	Sprey Kurutma	Dondurulmuş Yoğurt	(Verruck vd., 2020)
<i>Lactobacillus rhamnosus GG</i>	Elektrosprey-Mineralizasyon-Dondurarak Kurutma	Elma Suyu	(Haffner ve Pasc., 2018)
<i>Lactocaseibacillus paracasei</i> BGP-1 ve Guarana Tohum Ekstrakti	Sprey Kurutma	Yoğurt İçeceği	(Silva vd., 2022)
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	İyonik Jelasyon	Çilek Nektar	(Morsy vd., 2022)
<i>Lactobacillus casei</i> L26	İyonik Jelasyon	Probiyotik Ayran	(Ahangari vd., 2021)
<i>Lactobacillus casei</i> ve <i>Bifidobacterium lactis</i>	Emülsiyon	Dondurma	(Homayouni vd., 2008)
<i>Lactobacillus reuteri</i>	Ekstrüzyon	Kuru Fermente Sosis	(Muthukumarasamy ve Holley, 2006)
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Jelasyon	Mango Suyu	(Praepanitchai vd., 2019)
<i>Lactobacillus paracasei</i> LBC-1e	Emülsiyon	Mozzarella Peyniri	(Ortakci vd., 2012)
<i>Lactobacillus acidophilus</i> LA-5 ve <i>Bifidobacterium bifidum</i> BB-12	Ekstrüzyon ve Emülsiyon	Kasar Peyniri	(Ozer vd., 2008)
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Sprey Kurutma	Kefir	(Guo vd., 2022)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Sprey Kurutma	Yoğurt	(Rubio vd., 2021)
<i>Saccharomyces boulardii</i>	Jelasyon	Dondurma	(Niamah vd., 2018)

Özellikle mikroenkapsülasyon, aktif ve fonksiyonel bileşenlerin gıda matrisine dahil edilmesiyle gıda endüstrisinde çözümler geliştirmek için büyük bir alan oluşturmaktadır. Mevcut trend, kullanışlı ve tüketime hazır gıda ürünlerini probiyotik mikroorganizmalar, uçucu yağlar, polifenoller gibi çeşitli fonksiyonel biyoaktif bileşikleri bünyesine ilave ederek hazırlamayla birlikte besin değerini ve fonksiyonel özelliklerini arttırmaktadır (Mehta vd., 2022). Mikroenkapsülasyon teknikleriyle çekirdek materyalin reaksiyona girme kabiliyeti düşürülerek nem, hava, ışık ve ısı gibi çevresel koşullara karşı degradasyonu önlenmekte ve korunabilmektedir (Atak vd., 2017).

Gıda ürünlerinin mikroenkapsülasyonunda duvar materyalinin ve mikroenkapsülasyon tekniklerinin belirlenmesi mikrokapsüllerin fiziko-kimyasal özelliklerini ve raf ömrünü belirlediği için önem taşımaktadır. Yapılan çalışmalarda duvar materyali olarak karbonhidrat ve protein bazlı materyallerin kullanımı dikkat çekmektedir.

Gıda ürünlerinin mikroenkapsülasyonunda çevresel koşullara karşı hassas olan bileşenler çekirdek materyali olarak değerlendirilmiştir. Pek çok farklı enkapsülasyon tekniği bulunmasına karşın sprey kurutma tekniği özellikle ucuz ve kullanım koşulunun daha elverişli olması dolayısıyla daha çok tercih edilmektedir (Koç vd., 2010). Son yıllarda sağlıklı yaşam ile ilgili trend durumda bulunan biyoaktif bileşenler ve probiyotik mikroorganizmalar üzerine gerçekleştirilen çalışmalar çok daha fazladır.

Mikroenkapsülasyonun, fonksiyonel içerik maddelerinin gıdalar aracılığıyla insan sindirim sistemi içerisinde kontrollü ve hedefli bir şekilde ulaştırılmasında çeşitli avantajları bulunmaktadır (Mehta vd., 2022). Mikroenkapsülasyon, işleme ve depolama sırasında ham maddelerdeki ve gıdalardaki aktif bileşenlerin korunmasını optimize etmek için teknolojik bir çözümdür. Mikroenkapsülasyon işlemi, iç fazı ve çevreleyen matrisi ayırmak için fonksiyonel bileşenleri gıda sınıfı ve biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerle üniform bir şekilde kaplamaktır. Ayırma, fiziksel, kimyasal veya fonksiyonel özellikleri üzerinde olumsuz bir etki olmaksızın beslenmeyi geliştirmek, tatları maskeleyerek, depolamayı kolaylaştırmak ve raf ömrünü uzatmak için kullanılır. Aynı zamanda yan etkileri en aza indirir ve acı tadı, burukluğu ve kokuyu maskeleymektedir (Ye vd., 2018). Ayrıca koruyucu bir bariyer oluşturarak hassas bileşenleri korur, istenen konsantrasyona göre aktif bileşenlerin kontrollü salınımını sağlar, sıvıları katı hale değiştirir, çözünmeyen bileşenlerin çözünürlüğünü artırır ve aktif maddelerin biyoyararlanımını artırmaktadır (Mehta vd., 2022).

Mikrokapsüllerin kullanımına ilişkin güvenlik ve toksisite çalışmalarının eksikliği nedeniyle, gıda tüketimi için mikrokapsüllerin mevzuatını ve güvenlik düzenlemelerini desteklemek için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir (Calderón-Oliver ve Alquicira, 2022).

## SONUÇ

Gıda sektöründe karşılaşılan sorunların çözümünde özellikle depolama, hazırlama, pişirme veya saklama aşamalarında meydana gelebilecek lezzet, koku maddesi, aroma maddesi ve besinsel maddelerin kaybını engellemede mikroenkapsülasyon teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Günümüzde yeni ürün geliştirme aşamalarında avantajlı yönleri nedeniyle tercih edilen bir yöntem olan mikroenkapsülasyonda kaplama materyalinin ve metodunun en iyi şekilde seçilmesi gerekmektedir. Uzun raf ömrüne sahip, vitamin ve mineral kaybı olmayan, fonksiyonel özelliklere sa-

hip yeni ürünlerin geliştirilmesinde sıklıkla tercih edilen bir yöntem olan mikroenkapsülasyon gıda endüstrisinde farklı dallarda kullanılmaktadır.

Mikroenkapsülasyon teknolojisi sonucu hazırlanan mikrokapsüllerin sahip olduğu koruyucu, fonksiyonel gıda geliştirme, duyuusal iyileştirme, yağ ikamesi gibi spesifik özellikleri gıdalarda genel kullanım amaçlarını oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda özellikle et ürünlerinde kullanılan mikrokapsüller yağ ikamesi ve koruyucu olarak süt, tahıl ve meyve ürünlerinde kullanılan mikrokapsüller duyuusal özellik iyileştirme ve fonksiyonel gıda geliştirme olarak gıda ürünlerine ilave edilmektedir. Sonuç olarak, gıdalarda kullanım amaçları nedeniyle mikrokapsüllerin gıdalarda geniş kullanım alanına sahip olduğu gözlenmektedir. Mikroenkapsülasyon gıda sanayi dışında eczacılık ve tıp alanlarında da kullanılan katma değeri yüksek bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Afzaal, M., Khan, A. U., Saeed, F., Ahmed, A., Ahmad, M. H., Maan, A. A., . . . Hussain, S. (2019). Functional exploration of free and encapsulated probiotic bacteria in yogurt and simulated gastrointestinal conditions. *Food science & nutrition*, 7(12), 3931-3940.
- Aguiar, J., Estevinho, B. N., & Santos, L. (2016). Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 58, 21-39. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.012>
- Ahangari, H., Yousefi, M., Abedi, R., Mirzanajafi-Zanjani, M., Aman Mohammadi, M., Ehsani, A., & Moghaddas Kia, E. (2022). Probiotic Ayrar development by incorporation of phytosterols and microencapsulated *Lactobacillus casei* L26 in sodium caseinate–gellan mixture. *International Journal of Dairy Technology*, 75(1), 150-158. doi:<https://doi.org/10.1111/1471-0307.12812>
- Alasalvar, H., Kocer Alasalvar, G., & Yıldırım, Z. (2022). Effect of partial fat replacement by hazelnut oil microcapsules in beef burger formulations on physicochemical properties, fatty acid composition, and sensory attributes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(5), e16644.
- Anandharamakrishnan, C., Ishwarya, P. S. 2015. *Spray drying techniques for food ingredient encapsulation* (1st edition). Chicago: IFT Press
- Arenas-Jal, M., Suñé-Negre, J. M., & García-Montoya, E. (2020). An overview of microencapsulation in the food industry: opportunities, challenges, and innovations. *European Food Research and Technology*, 246(7), 1371-1382. doi:[10.1007/s00217-020-03496-x](https://doi.org/10.1007/s00217-020-03496-x)
- Atak, Z. , Koç, M. & Kaymak-ertekin, F. (2017). Gıda Endüstrisinde Aroma Mikrokapsülasyonu. *Akademik Gıda*, 15 (4) , 416-425 . DOI: 10.24323/akademik-gida.370270
- Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2015). Challenges and solutions to incorporation of nutraceuticals in foods. *Annual review of food science and technology*, 6(1), 463-477.
- Baltrusch, K., Torres, M., Domínguez, H., & Flórez-Fernández, N. (2022). Spray-drying microencapsulation of tea extracts using green starch, alginate or carrageenan as carrier materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, 203, 417-429.
- Bosnali, S. & Özdehan Ocak, Ö. (2019). Gıda sanayiinde kullanılan uçucu yağların mikrokapsülasyon uygulamaları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 25 (7) , 846-853 . Retrieved from <https://dergi-park.org.tr/pub/pajes/issue/50906/664867>
- Calderón-Oliver, M., & Ponce-Alquicira, E. (2022). The Role of Microencapsulation in Food Application. *Molecules*, 27(5). Retrieved from doi:[10.3390/molecules27051499](https://doi.org/10.3390/molecules27051499)

- Cavalheiro, C. P., Menezes, C. R., Fries, L. L. M., Ruiz-Capillas, C., Herrero, A. M., Jimeenez-Colmenero, F. (2015). Alginate beads to improve viability of *Lactobacillus plantarum* to heat stress. *Journal of Food Processing and Technology*, 6: 126
- Cerimedo, M. S. A., Cerdeira, M., Candal, R. J., Herrera, M. L. 2008. Microencapsulation of low-trans fat in trehalose as affected by emulsifier type. *J. Am. Oil Chem. Soc.* (85), 797-807
- Chawda, P. J., Shi, J., Xue, S., & Young Quek, S. (2017). Co-encapsulation of bioactives for food applications. *Food Quality and Safety*, 1(4), 302-309.
- Coşkun, N. Ö. (2021). PÜSKÜRTMELİ KURUTMA YÖNTEMİ İLE PROPOLİS ENKAPSÜLASYONU (Master's thesis, AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ).
- Çam, M., İçyer, N. C., & Erdoğan, F. (2014). Pomegranate peel phenolics: Microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 117-123.
- de Almeida, M. M. C., Francisco, C. R. L., de Oliveira, A., de Campos, S. S., Bilck, A. P., Fuchs, R. H. B., . . . Leimann, F. V. (2018). Textural, color, hygroscopic, lipid oxidation, and sensory properties of cookies containing free and microencapsulated chia oil. *Food and Bioprocess Technology*, 11(5), 926-939.
- de Moura, S. C. S. R., Schettini, G. N., Gallina, D. A., Dutra Alvim, I., & Hubinger, M. D. (2022). Microencapsulation of hibiscus bioactives and its application in yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(4), e16468. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.16468>
- Del Piano, M., Carmagnola, S., Ballarè, M., Sartori, M., Orsello, M., Balzarini, M., . . . Strozzi, G. P. (2011). Is microencapsulation the future of probiotic preparations? The increased efficacy of gastro-protected probiotics. *Gut Microbes*, 2(2), 120-123.
- Desai, K. G. H. and Park, H. J. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Dry. Technol.* (23), 1361–1394. doi: 10.1081/DRT-200063478
- DeZarn, T. G. 1995. Food ingredients encapsulation: An overview. In S. J. Risch & G. A. Reineccius (Eds.), *Encapsulation and controlled release of food ingredients*. ACS symposium series (Vol. 590, pp. 74–86). Washington, DC: American Chemical Society
- Dias, M. I., Ferreira, I. C., & Barreiro, M. F. (2015). Microencapsulation of bioactives for food applications. *Food & function*, 6(4), 1035-1052.
- Dziezak, J.D. 1988. Microencapsulation and encapsulation ingredients. *Food Technol-Chicago*. (42), 136–151
- Fang, Z., Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols – a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21: 510- 523

- Feyzioğlu, Gizem Cansu. (2016). Satureja hortensis L. uçucu yağı yüklenmiş kitosan nanopartiküllerinin ve kitosan filmlerin üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Flach, J., van der Waal, M., Nieuwboer, M., Claassen, E., & Larsen, O. (2017). The underexposed role of food matrices in probiotic products: Reviewing the relationship between carrier matrices and product parameters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58, 00-00. doi:10.1080/10408398.2017.1334624
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. and Saurel, R. 2007. Application of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Res. Int.* (40), 1107–1121.
- Gheonea, I., Aprodu, I., Cîrciumaru, A., Râpeanu, G., Bahrim, G. E., & Stănciuc, N. (2021). Microencapsulation of lycopene from tomatoes peels by complex coacervation and freeze-drying: Evidences on phytochemical profile, stability and food applications. *Journal of Food Engineering*, 288, 110166. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110166
- Gomez-Hens, A., Fernandez-Romero, J.M., 2006. Analytical methods for the control of liposomal delivery systems. *Trends in Analytical Chemistry* 25 (2):167:178
- Gonnet, M., Lethuaut, L., & Boury, F. (2010). New trends in encapsulation of liposoluble vitamins. *Journal of Controlled Release*, 146(3), 276-290. doi:https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2010.01.037
- Gouin, S. 2004. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends Food Sci. Tech.* (15), 330–347
- Goyal, A., Sharma, V., Sihag, M. K., Singh, A. K., Arora, S., & Sabikhi, L. (2017). Oxidative stability of alpha-linolenic acid ( $\omega$ -3) in flaxseed oil microcapsules fortified market milk. *International Journal of Dairy Technology*, 70(2), 188-196.
- Gökmen, S., Palamutoğlu, R., Sariçoban, C. (2012). Applications of Encapsulation in Food Industry. *Electronic Journal of Food Technologies* 7: 36-50
- Guo, Q., Li, S., Tang, J., Chang, S., Qiang, L., Du, G., . . . Yuan, Y. (2022). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* by spray drying: Protective effects during simulated food processing, gastrointestinal conditions, and in kefir. *International Journal of Biological Macromolecules*, 194, 539-545. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.096
- Habibi, A., Keramat, J., Hojjatoleslami, M., & Tamjidi, F. (2017). Preparation of fish oil microcapsules by complex coacervation of gelatin–gum arabic and their utilization for fortification of pomegranate juice. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12385.
- Haffner, F. B., & Pasc, A. (2018). Freeze-dried alginate-silica microparticles as carriers of probiotic bacteria in apple juice and beer. *LWT*, 91, 175-179. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.050

- Hamid, Thakur, N. S., Sharma, R., & Thakur, A. (2022). Optimization of lyophilized microencapsulated phenolic extract concentration for enrichment of yoghurt and effect on chemical parameters, bioactive compounds, antioxidant activity and sensory quality under storage. *South African Journal of Botany*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.04.015>
- Homayouni, A., Azizi, A., Ehsani, M. R., Yarmand, M. S., & Razavi, S. H. (2008). Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of synbiotic ice cream. *Food Chemistry*, 111(1), 50-55. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.036>
- Keenan, D. F., Resconi, V. C., Smyth, T. J., Botinestean, C., Lefranc, C., Kerry, J. P., & Hamill, R. M. (2015). The effect of partial-fat substitutions with encapsulated and unencapsulated fish oils on the technological and eating quality of beef burgers over storage. *Meat Science*, 107, 75-85. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.04.013>
- Kınlık, Ö., Kavas, G., Yılmaz, E., 2003. Mikroenkapsülasyon tekniği ve süt teknolojisindeki kullanım olanakları. *Gıda* 28 (4): 401–407
- Koç, M. , Sakin, M. & Ertekin, F. K. (2010). Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı . Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 16 (1) , 77-86 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20507/218308>
- Krasaekoopt W, Bhandari B, Deeth H. “Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt: a review”. *International Dairy Journal*, 13(1), 3-23, 2003.
- Lorenzo, J. M., Pateiro, M., Domínguez, R., Barba, F. J., Putnik, P., Kovačević, D. B., . . . Franco, D. (2018). Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. *Food Research International*, 106, 1095-1104.
- Machado, M. H., Almeida, A. d. R., Maciel, M. V. d. O. B., Vitorino, V. B., Bazzo, G. C., da Rosa, C. G., . . . Barreto, P. L. M. (2022). Microencapsulation by spray drying of red cabbage anthocyanin-rich extract for the production of a natural food colorant. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 39, 102287. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102287>
- Machado, M. H., Almeida, A. d. R., Maciel, M. V. d. O. B., Vitorino, V. B., Bazzo, G. C., da Rosa, C. G., . . . Barreto, P. L. M. (2022). Microencapsulation by spray drying of red cabbage anthocyanin-rich extract for the production of a natural food colorant. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 39, 102287. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102287>
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. and Desobry, S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release – a review. *Int. J. Food Sci. Tech.* (41), 1–21.
- Mahmoud, M., Abdallah, N. A., El-Shafei, K., Tawfik, N. F., & El-Sayed, H. S. (2020). Survivability of alginate-microencapsulated *Lactobacillus plantarum* during storage, simulated food processing and gastrointestinal conditions. *Heliyon*, 6(3), e03541.

- Mehta, N., Kumar, P., Verma, A. K., Umaraw, P., Kumar, Y., Malav, O. P., . . . Lorenzo, J. M. (2022). Microencapsulation as a noble technique for the application of bioactive compounds in the food industry: a comprehensive review. *Applied Sciences*, 12(3), 1424.
- Mesquita Magalhães Costa, A., Rachel Antunes Gaspar, B., Calado, V., Valeriano Tonon, R., & Guedes Torres, A. (2022). Microencapsulation of pomegranate (*Punica granatum L.*) seed oil by complex coacervation: Stability and application in an instant caffè latte beverage. *Food Chemistry*, 381, 132199. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132199>
- Misra, S., Pandey, P., Dalbhagat, C. G., & Mishra, H. N. (2022). Emerging Technologies and Coating Materials for Improved Probiotication in Food Products: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 1-42.
- Morsy, M. K., Morsy, O. M., Abdelmonem, M. A., & Elsabagh, R. (2022). Anthocyanin-Colored Microencapsulation Effects on Survival Rate of *Lactobacillus rhamnosus GG*, Color Stability, and Sensory Parameters in Strawberry Nectar Model. *Food and Bioprocess Technology*, 15(2), 352-367. doi:10.1007/s11947-022-02758-8
- Muthukumarasamy, P., & Holley, R. A. (2006). Microbiological and sensory quality of dry fermented sausages containing alginate-microencapsulated *Lactobacillus reuteri*. *International Journal of Food Microbiology*, 111(2), 164-169.
- Mutka, J.R. and Nelson, D.B. 1988. Preparation of encapsulated flavors with high flavor level. *Food TechnolChicago*. (42), 154–157.
- Napiórkowska, A., & Kurek, M. (2022). Coacervation as a Novel Method of Microencapsulation of Essential Oils—A Review. *Molecules*, 27(16), 5142.
- Neekhra, S., Pandith, J. A., Mir, N. A., Manzoor, A., Ahmad, S., Ahmad, R., & Sheikh, R. A. (2022). Innovative approaches for microencapsulating bioactive compounds and probiotics: An updated review. *Journal of Food Processing and Preservation*, e16935.
- Niamah, A., Al-Manhel, A., & Al-Sahlany, S. (2018). EFFECT MICROENCAPSULATION OF *Saccharomyces boulardii* ON VIABILITY OF YEAST IN VITRO AND ICE CREAM.
- Nicoletti, M. (2012). Nutraceuticals and botanicals: overview and perspectives. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(sup1), 2-6.
- Nthimole, C. T., Kaseke, T., & Fawole, O. A. (2022). Micro-Encapsulation and Characterization of Anthocyanin-Rich Raspberry Juice Powder for Potential Applications in the Food Industry. *Processes*, 10(5). Retrieved from doi:10.3390/pr10051038
- Ortakci, F., Broadbent, J. R., McManus, W. R., & McMahon, D. J. (2012). Survival of microencapsulated probiotic *Lactobacillus paracasei* LBC-1e during manufacture of Mozzarella cheese and simulated gastric digestion.



Journal of Dairy Science, 95(11), 6274-6281. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2012-5476>

- ÖZER, B., Uzun, Y. S., & Kirmaci, H. A. (2008). Effect of Microencapsulation on Viability of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium bifidum* BB-12 During Kasar Cheese Ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 61(3), 237-244. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2008.00408.x>
- Pan, L.-H., Chen, L.-P., Wu, C.-L., Wang, J.-F., Luo, S.-Z., Luo, J.-P., & Zheng, Z. (2022). Microencapsulation of blueberry anthocyanins by spray drying with soy protein isolates/high methyl pectin combination: Physicochemical properties, release behavior in vitro and storage stability. *Food Chemistry*, 395, 133626. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133626>
- Papillo, V. A., Locatelli, M., Travaglia, F., Bordiga, M., Garino, C., Arlorio, M., & Coisson, J. D. (2018). Spray-dried polyphenolic extract from Italian black rice (*Oryza sativa* L., var. Artemide) as new ingredient for bakery products. *Food chemistry*, 269, 603-609.
- Parente, J. F., Sousa, V. I., Marques, J. F., Forte, M. A., & Tavares, C. J. (2022). Biodegradable Polymers for Microencapsulation Systems. *Advances in Polymer Technology*, 2022.
- Petkova, D., Mihaylova, D., & Desseva, I. (2022). Microencapsulation in food industry—an overview. Paper presented at the BIO Web of Conferences.
- Phupaboon, S., Matra, M., Prommachart, R., Totakul, P., Supapong, C., & Wanapat, M. (2022). Extraction, Characterization, and Chitosan Microencapsulation of Bioactive Compounds from *Cannabis sativa* L., *Cannabis indica* L., and *Mitragyna speciosa* K. *Antioxidants*, 11(11). Retrieved from doi:10.3390/antiox11112103
- Praepanitchai, O.-A., Noomhorm, A., & Anal, A. K. (2019). Survival and behavior of encapsulated probiotics (*Lactobacillus plantarum*) in calcium-alginate-soy protein isolate-based hydrogel beads in different processing conditions (pH and temperature) and in pasteurized mango juice. *BioMed research international*, 2019.
- Raddatz, G. C., Pinto, V. S., Zepka, L. Q., Barin, J. S., Cichoski, A. J., da Silva, C. d. B., . . . de Menezes, C. R. (2022). Use of red onion (*Allium cepa* L.) residue extract in the co-microencapsulation of probiotics added to a vegan product. *Food Research International*, 161, 111854.
- Reineccius, G.A. 1991. Carbohydrates for flavor encapsulation. *Food Technol-Chicago*. (45), 144-147.
- Ricci, A., Arboleda Mejia, J. A., Versari, A., Chiarello, E., Bordoni, A., & Parpinello, G. P. (2022). Microencapsulation of polyphenolic compounds recovered from red wine lees: Process optimization and nutraceutical study. *Food and Bioproducts Processing*, 132, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.12.003>

- Ricci, A., Mejia, J. A. A., Versari, A., Chiarello, E., Bordoni, A., & Parpinello, G. P. (2022). Microencapsulation of polyphenolic compounds recovered from red wine lees: Process optimization and nutraceutical study. *Food and Bioproducts Processing*, 132, 1-12.
- Rizzuto, A.B.; Chen, A.C.; Veiga, M.F. Modification of the sucrose crystal structure to enhance pharmaceutical properties of excipient and drug substances. *Pharmaceutical Technology* 1984, 8 (9), 32–35.
- Rout, S., Tambe, S., Deshmukh, R. K., Mali, S., Cruz, J., Srivastav, P. P., . . . de Oliveira, M. S. (2022). Recent trends in the application of essential oils: The next generation of food preservation and food packaging. *Trends in Food Science & Technology*.
- Rubio, F., Haminiuk, C. W. I., Santos, M., Thomazini, M., Moraes, I., Martelli Tosi, M., & Favaro-Trindade, C. (2021). Development of natural pigments microencapsulated in waste yeast *Saccharomyces cerevisiae* using spray drying technology and their application in yogurt. *Food & Function*, 12. doi:10.1039/D1FO00708D
- Santos, S. S. d., Paraíso, C. M., Romanini, E. B., Correa, V. G., Peralta, R. M., Costa, S. C. d., . . . Madrona, G. S. (2022). Bioavailability of blackberry pomace microcapsules by using different techniques: An approach for yogurt application. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 81, 103111. doi:https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103111
- Sarier N, Onder E. “Organic phase change materials and their textile applications: An overview”. *Thermochimica Acta*, 540, 7-60, 2012.
- Sayıt G. Mikrokapsül ve Lipozom Teknolojisi Kullanarak Kozmetik-Tekstil Üretimi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2015
- Sharma, R., Rashidinejad, A., & Jafari, S. M. (2022). Application of Spray Dried Encapsulated Probiotics in Functional Food Formulations. *Food and Bioprocess Technology*, 1-20.
- Silva, M. P., da S. Mesquita, M., V. Rubio, F. T., Thomazini, M., & Favaro-Trindade, C. S. (2022). Fortification of yoghurt drink with microcapsules loaded with *Lactocaseibacillus paracasei* BGP-1 and guaraná seed extract. *International Dairy Journal*, 125, 105230. doi:https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105230
- Soliman EA, El-Moghazy AY, El-Din MSM, Massoud MA. “Microencapsulation of essential oils within alginate: formulation and in vitro evaluation of antifungal activity”. *Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*, 3, 48-55, 2013
- Sousa, V. I., Parente, J. F., Marques, J. F., Forte, M. A., & Tavares, C. J. (2022). Microencapsulation of Essential Oils: A Review. *Polymers*, 14(9), 1730.
- Soyuçok, A. , Kılıç, B. & Başıyğit Kılıç, G. (2019). Et Ürünlerinde Enkapsülasyon Teknolojisinin Kullanımı . Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 10 (1) , 102-110 . DOI: 10.29048/makufebd.530102

- Spinelli, S., Lecce, L., Likyova, D., Del Nobile, M. A., & Conte, A. (2018). Bioactive compounds from orange epicarp to enrich fish burgers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(7), 2582-2586. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.8750>
- Sri J, Seethadevi A, Prabha KS, Muthuprasanna P, Pavitra P. "Microencapsulation: a review". *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 3(1), 509-531, 2012.
- Sun-Waterhouse D, Zhou J, Miskelly GM, Wibisono R, Wadhwa SS. "Stability of encapsulated olive oil in the presence of caffeic acid". *Food Chemistry*, 126, 1049-56, 2011.
- Tumbas Šaponjac, V., Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Pajin, B., Djilas, S., Petrović, J., . . . Vulić, J. (2016). Sour cherry pomace extract encapsulated in whey and soy proteins: Incorporation in cookies. *Food Chemistry*, 207, 27-33. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.082>
- Verruck, S., Barretta, C., Miotto, M., Canella, M. H. M., de Liz, G. R., Maran, B. M., . . . Prudencio, E. S. (2020). Evaluation of the interaction between microencapsulated *Bifidobacterium* BB-12 added in goat's milk Frozen Yogurt and *Escherichia coli* in the large intestine. *Food Research International*, 127, 108690. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108690>
- Yan, C., Kim, S.-R., Ruiz, D. R., & Farmer, J. R. (2022). Microencapsulation for Food Applications: A Review. *ACS Applied Bio Materials*. doi:10.1021/acsabm.2c00673
- Yang, M., Liang, Z., Wang, L., Qi, M., Luo, Z., & Li, L. (2020). Microencapsulation Delivery System in Food Industry—Challenge and the Way Forward. *Advances in Polymer Technology*, 2020, 7531810. doi:10.1155/2020/7531810
- Ye, Q., Georges, N., & Selomulya, C. (2018). Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 167-179. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.025>
- Yusuf, M., Yonata, D., & Pranata, B. (2022). Utilization of swimming crab by-product as a seafood flavor microcapsules obtained by spray drying. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 15(2), 716-724.





## ***BÖLÜM 10***

### **NANO-MALZEMELERİN GEOPOLİMER BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

*Necip Altay EREN<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Gaziantep Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Gaziantep, Türkiye altayeren@gantep.edu.tr ORCID: 0000-0003-1421-4619

## 1. Giriş:

Beton sudan sonra en çok tüketilen malzemedir ve her geçen gün kullanımını artmaktadır [1]. Geleneksel betonun ana bağlayıcısı çimentodur. Çimento üretimi sırasında, çimento miktarına yaklaşık olarak eşit miktarda sera gazı üretilir, ve çimento üretimi dünya çapında salınan tüm sera gazının yaklaşık %7'nin sorumlusu olarak kabul edilir [2]. Çimento üretimi sırasında, hem kireç taşından ( $\text{CaCO}_3$ ) kireç ( $\text{CaO}$ ) elde etmek için gerçekleşen kimyasal reaksiyon sonucunda yan ürün olarak hem de fosil yakıtlar kullanarak döner fırınların yüksek sıcaklıkta tutulması ve kalsinasyon için harcanan enerjiden kaynaklı başta karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) gazı olmak üzere sera gazlarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bir ton çimento üretimi sonucunda yaklaşık bir ton  $\text{CO}_2$  ve sera gazı salınımına sebep olmaktadır. Bu sera gazları da küresel ısınma gibi ciddi çevresel sorunlara neden olmakta ve bundan dolayı küresel iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Geleneksel beton üretmek için kullanılan agrega ve suyun tüketimi ihmal edilsebile, çimentonun üretimi sırasında ortaya çıkan sera gazlarının çevreye verdiği zarardan dolayı geleneksel betonun sürdürülebilirliği tartışma konusudur [3]. Ayrıca, dünyada çimento endüstrisinin her yıl yaklaşık 1.65 milyar ton sera gazı emisyonu ürettiği açıklanmıştır [4-7]. Bundan dolayı, geleneksel beton yerine daha çevre dostu ve sürdürülebilir alternatif bir yapı malzemesi gerekmektedir. Bu alternatif yapı malzemelerinden birisi Geopolimer Beton dur.

Geopolimer beton, çimento yerine uçucu kül gibi atık ürün malzemeleri kullanılarak geleceğin betonu olarak son zamanlarda geliştirilen yeni bir beton malzeme formu olarak kabul edilir. Geopolimer beton üretimi için geleneksel betondan daha az enerjiye ihtiyacı vardır. Bundan dolayı, geopolimer beton geleneksel betondan yaklaşık 6 kat daha az  $\text{CO}_2$  saldıgı tespit edilmiştir. Bunun sebebi, geopolimer betondaki düşük kalsifikasyon sıcaklığıdır [8]. Geopolimer, çevre dostu özelliğinin yanı sıra, ısı direnci, kimyasal maddelere karşı iyi direnç, yüksek erken dayanım, düşük büzülme ve düşük sünme gibi birçok üstün özellik gösterir. Geopolimer beton'un ana malzemesi alkali-aktivatör çözeltilisidir. Alümina-silikat esaslı kaynak malzemelerde, alkali ile aktive edilen çözelti ile kaynak malzeme arasında reaksiyon oluşması için silikon ve alüminyum miktarının yüksek olması gerekir. Geopolimer beton üretmek için kaynak malzemelerin seçimi, maliyet, uygulama türü ve kullanılabilirlik gibi birçok faktöre bağlıdır. Güçlü alümina-silikat ( $\text{Al-SiO}_2$ ) polimerik yapılarla temsil edilen Geopolimer mekanizması, alkali sıvı olarak sodyumlu veya potasyumlu hidroksitler ( $\text{KOH}$ ) ve sodyum silikatlar ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) alümina ve silika oluşumunu içermektedir [9]. Ayrıca uçucu kül, cüruf, metakaolin, peksimet külü ve silis dumanı gibi geopolimer kaynak malzemedeki kalsiyum ( $\text{Ca}$ ) bileşiminin varlığı önemli bir rol oynar, çünkü kalsiyum iyonu geopolimer

bağlayıcıda yük dengeleyici bir katyon olarak hareket edebilir. Alkali-aktivatör çözeltisi, çoğunlukla Potasyum (K) veya Sodyum (Na) bazlı çözünür alkali metallere oluşur. Geopolimerizasyonda en yaygın kullanılan alkali-aktivatör çözeltisi potasyum veya sodyum hidroksit ile potasyum veya sodyum silikatın birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Ayrıca, beton karışımlarında üstün özellikleri ve çevresel etkinin azaltılması, uçucu kül ve cüruf gibi yan ürünlerin beton üretiminde yardımcı çimentosu malzeme olarak kullanılması kabul görmüştür [10]. Bu çimentosu yan ürünler sanayileşmiş ülkelerin çoğunda büyük miktarlarda atık madde olarak üretilmektedir. Bu atık malzemelerin bertaraf edilme süreci, dünya çapında en zorlu konulardan biri olmuştur [11]. Geopolimer beton konusunda yapılan çalışmalarda, bu yan ürünlerin bazıları ile birlikte nano-malzemeler geopolimer beton üretiminde kullanılmıştır. Bundan dolayı, geopolimer beton teknolojisi sayesinde, sanayide üretilen bu atık veya yan ürünlerin bazılarının bertaraf edilmesine yardımcı olmaktadır.

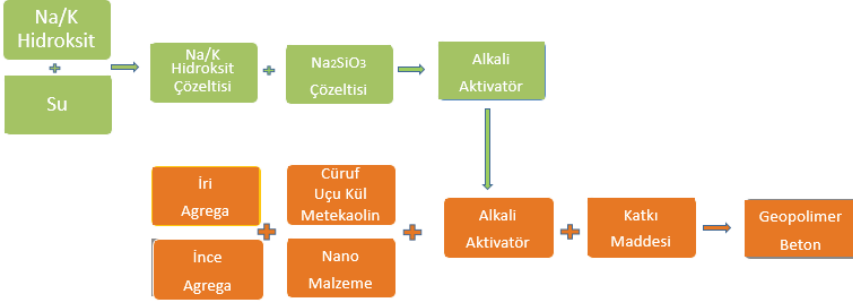
Son yıllarda yapılan çalışmalarda, nano-teknolojik malzemelerin beton özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olması nedeniyle beton endüstrisindeki uygulamalarda nano-malzemeler de kullanılmaya başlanmıştır. İnşaat endüstrisi, yüksek performanslı ve yenilikçi beton kompozitler oluşturmak için beton endüstrisinde nano-partikül malzemeleri kullanarak nano-teknolojiden yararlanabilir [12]. Nanoteknoloji, bireysel atomlar ve moleküller veya toplu davranış ile ilişkili olanlara eşdeğer olan bu boyuttaki farklı özelliklere ve olaylara katkının yanı sıra, 1-100 nm aralığında atomik ve moleküler seviyelerde maddeyi izleme ve yeniden yapılandırma yeteneğidir [13,14]. Nano-malzemelerin her tür betona dahil etmenin birincil nedeni, beton yapısındaki mikro yapısal özelliklerini iyileştirmektir. Sonuç olarak, betonun dayanıklılığının yanı sıra mekanik ve fiziksel özellikler gibi diğer tüm kompozit özelliklerini de geliştirecektir [15]. Bu çalışmanın amacı; çeşitli nano-malzemelerin geopolimer betonun mekanik özellikleri üzerine etkilerini belirlemek için yapılan araştırmaların kapsamlı bir incelemesini sunmaktır.

## **2. Malzemeler:**

### **2.1 Geopolimer:**

Doğal minerallerin kristal ve kimyasal yapılarının farklı yöntemlerle değiştirilmesiyle oluşan malzemelere Geopolimer denir [16]. Geopolimer, hem doğal kaynak gereksiniminde hem de karbondioksit-CO<sub>2</sub> emisyon miktarındaki önemli azalma nedeniyle [17] ve yenilikçi bir yapı malzemesi olarak bir çok araştırmacı tarafından önemli ölçüde ilgi görmüştür. Geopolimer elde etmek için alüminosilikate ve aktif alkali bağlayıcıya ihtiyaç vardır. Geopolimer, yüksek miktarda Alümina (Al) ve Silika (Si) içeren uçucu kül veya cüruf veya metakaolin gibi bağlayıcı malzemeler

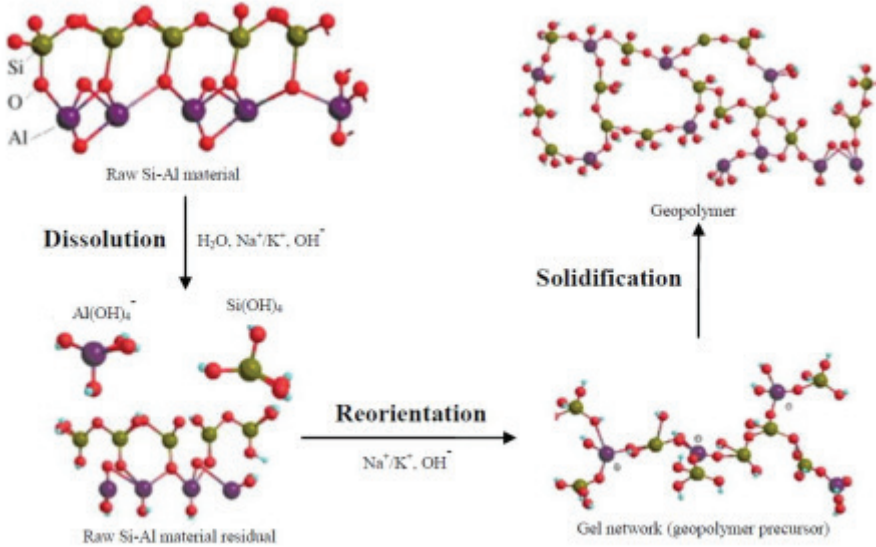
kullanılarak üretilmektedir. Bu malzemeler, NaOH veya KOH ve  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  veya  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ 'den elde edilen alkali çözelti ile reaksiyona girer ve agregaları bağlayan bir jel elde edilir. Genel olarak, geopolimer betonun üretimini ana fikri benzedir ve Şekil-1'de şematik olarak verilmiştir



Şekil-1 Geopolimer Beton Üretim Şeması

## 2.2 Geopolimerizasyon Süreci:

Polimerizasyon işlemi, Al-Si mineralleri üzerinde alkali koşullar altında oldukça hızlı bir kimyasal reaksiyondur. Ayrıca, mikroyapı ve mühendislik performanslarını büyük ölçüde etkileyen karmaşık bir fiziko-kimyasal süreçtir. Şekil-2'de tipik Geopolimerizasyonun şematik taslağı verilmiştir.



Şekil-2 Tipik Geopolimerizasyonun şematik taslağı [18]

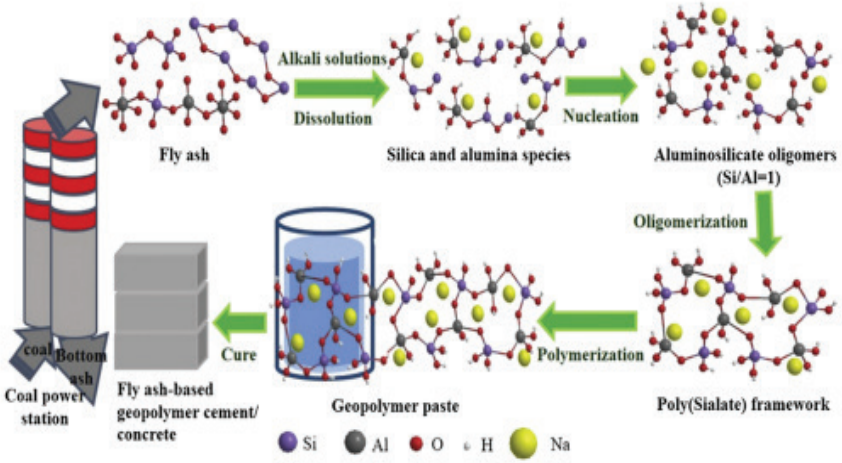


### 2.3 Bağlayıcılar:

Geopolimer betonun mekanik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde; alümin silikat kaynak malzemesi olarak Uçucu Kül, Cüruf ve Metakaolin kullanıldığı tespit edilmiştir.

#### 2.3.1 Uçucu Kül:

Uçucu kül, kömür yakan termik santrallerden atılan en yüksek miktara sahip olan uçucu kül gibi farklı yan üründür. Bu, ince, alümino-silikat küresel parçacıklar içeren üretilen toplam uçucu kül miktarının yaklaşık %70-80'idir [19]. Uçucu kül ikiye ayrılır: C sınıfı uçucu kül - genellikle kalsiyum miktarı %10'dan yüksek olan ve kalsiyum miktarı %10'un altında olan F Sınıfı uçucu küldür. Çoğu durumda, artan CaO miktarı nedeniyle polimerizasyon sürecini engelleyebilecek ve kalsiyum silikat hidratları oluşturduğundan dolayı F Sınıfı uçucu kül, C sınıfı uçucu küle göre tercih edilir [20]. Ayrıca, uçucu külün kimyasal bileşimi, yanma koşulları ve hatta kömür bileşimi gibi faktörlere göre geniş ölçüde değişir. Ana bileşenleri arasında demir oksit, kireç, alümina, yanmamış kömür ve hatta silika bulunur. Şekil-3'te uçucu kül bazlı geopolimer betona geçiş sürecinin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil-3 Uçucu kül bazlı geopolimer betona geçiş sürecinin şematik gösterimi [21]

#### 2.3.2 Cüruf:

Şekil-4'te örnek olarak görüldüğü gibi, Cüruf adıyla anılan demir imalat endüstrisinden yan ürün olarak üretilen metalik olmayan bir malzemedir ve beton üretiminde kullanılabilen yararlı bir malzemedir. Beton karışımlarında en çok kullanılan malzemelerden biri de cüruftur. Betonun dayanımına etkisi bilinen bir malzemedir. Cüruf, demir oksit bileşiklerinden oluşan demir cevherinden elde edilir. Erimiş demirin hemen üzerinde

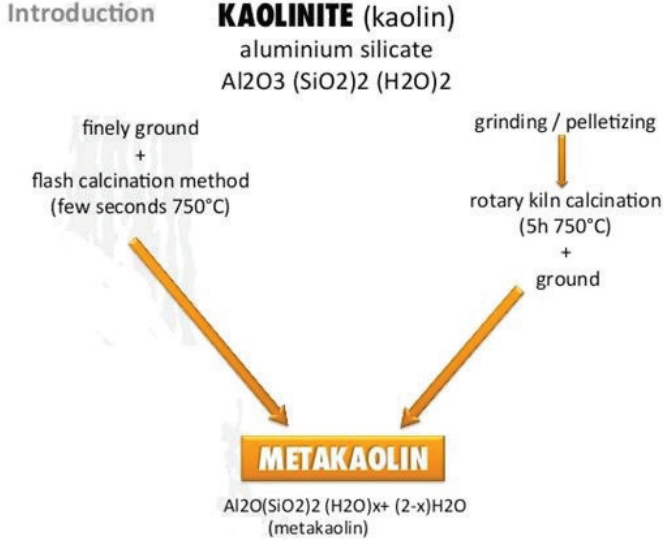
cürufun içeriğinde olan Si ve Al gibi maddeler birikir. Bu erimiş durumdaki cüruf aniden soğutulunca cüruf amorf bir yapı kazanır. Elde edilen bu cüruf beton karışımlarında kullanılarak betonun içindeki boşluklu yapıyı azaltır ve betonun mekanik özelliklerini geliştirir. Ayrıca, cüruf'un bağlayıcı özelliğinin yanı sıra beton karışımında kullanıldığında betonun sülfat etkisine karşı dayanıklılığını ve direncini arttırdığı belirlenmiştir [22].



Şekil-4 Cüruf örneği [23]

### 2.3.3 Metakaolin:

Şekil-5'te üretim şeması verilen; Metakaolin, kaolin kilinin harici olarak ateşlenen bir döner fırında kalsine edilmesiyle oluşturulan, bilimsel olarak işlenmiş reaktif bir allümino silikat puzolandır. Kaolinin 600 ile 800°C arasında ısıtılmasıyla oluşan, yan ürün olmayıp kullanım için üretilmiş ve şekillendirilmiş bir üründür. Kalitesi imalat sırasında kontrol edilir, bu da yan ürünler olan endüstriyel puzolanlardan çok daha az değişken bir malzeme ile sonuçlanır [24]. Metakaolin, zengin bir  $Al_2O_3$  kaynağıdır ve  $SiO_2$ , alkalın aktivatörlerle yüksek reaktivite gösterir ve bu nedenle geopolimerizasyon sürecini hızlandırır. Metakaolin bazlı geopolimerinin basınç dayanımı ve mikro yapısının gelişimi büyük ölçüde Si:Al ve Na:Al molar oranlarına bağlıdır [25-27]



Şekil-5 Metakaolin Üretim Şeması [28]

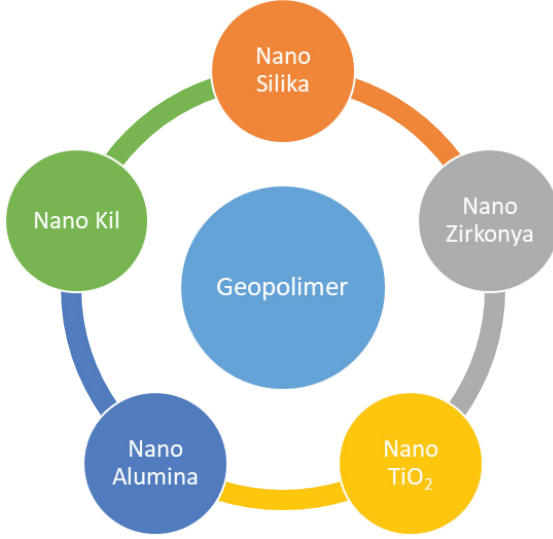
## 2.4 Nano-Malzemeler:

Nano-malzemelerin betonun mekanik özellikleri üzerinde önemli derecede pozitif etkilerinden dolayı inşaat sektörünü geliştirmiştir. Çok ince tane ebatlarından dolayı, bu malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleriyle dikkatleri üzerine çekmiştir. Nano-malzemeler beton matrisinin içinde homojen dağılabildiği için matrisin mikro boşluk yapısının azalmasına ve betonun dayanımının artmasına sebep olur. Beton içinde en çok kullanılan nano-malzemeler Nano-silika (nano-SiO<sub>2</sub>), nano-alümina (nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), nano-titanyum dioksit (nano-TiO<sub>2</sub>), nano-Zirconia ve nano-kil dir. Genelde, karışımında nano-malzeme kullanılan betonlar, nano-malzeme kullanılmayanlara göre göre çok daha iyi mekanik dayanım göstermektedir. Bu dayanımlardaki pozitif gelişmelerin sebepleri; nano-malzemeler matris 'deki boşlukları azalttığı için betonun matrisini nano seviyede değiştirir ve daha güçlü mikro yapıya sahip yapıların oluşmasını sağlar. Tablo-1'de bu çalışma kapsamında incelenen araştırmalarda kullanılan alümin silikat ve nano-malzemelerin kimyasal birleşenleri, Tablo-2'de incelenen araştırmalarda kullanılan veriler ve kullanılan nano-malzemelerin mekanik davranışlar üzerine etkileri verilmiştir.

### 2.4.1 Nano-Silika:

Nano-silika, gözenek doldurma etkisi nedeniyle betonun özelliklerini geliştirmek için beton içinde en yaygın kullanılan nano-malzemedir [29,30]. Nano-silika esas olarak hem kristal hem de amorf formlarda bulu-

nabilen silikon dioksitten ( $\text{SiO}_2$ ) oluşur. En yaygın amorf nano-silika türü, nano-beton oluşumunda kullanılır [29,30,31-34]. Nano-silika partikül boyutu, farklı nano silika bazlı ürün türleri için 5–658 nm aralığında değişebilir [35,36].  $\text{SiO}_2$ 'nin nano-partikülleri, beton matrisinin yoğunluğunu artırır, böylece malzemenin mukavemetini ve dayanıklılığını artırır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde genelde geopolimer beton karışımlarda nano-silika kullanılması betonun özelliklerine olumlu katkı sağlamaktadır [37-44].



**Şekil-6** Termal Kararlılık İçin Geopolimer Karışımlarda Kullanılan Nano-Malzemeler

#### 2.4.2 Nano-Kil:

Kil mineralleri, tabaka benzeri yapıya sahip ince taneli birbiri üzerine yığılmış parçacıklar olarak tanımlanan sulu silikat amorf tip malzemelerdir. Nano killer, yüksek saflıkta kaolinin yaklaşık 800°C gibi yüksek bir sıcaklıkta pişirilmesiyle sentezlenen kil minerallerine ait basit nano dolgu parçacıklarıdır [50,51]. Nanokil partiküllerinin ortalama partikül boyutu 50–100 nm'dir. Nanokiller düşük maliyetli, kolayca bulunabilen ve çevre dostu kimyasal maddelerdir. Nano killerin yüzey kimyası kolayca değiştirilebilir, bu da killerin polarite, yüzey alanı, ara katman aralığı, asitlik ve uygulama alanlarını genişletebilecek gözenek boyutu gibi özelliklerini geliştirmek için muazzam bir kapsam sağlar [50,52]. Nano-kil parçacıkları ayrıca puzolanik özelliklere de sahip olabilir ve araştırmacılar bunun geopolimerin mikroyapısını geliştirdiği, gözenek boyutunu ve gözenekliliği azalttığını ve nihayetinde çimento matrisinin ve betonun gücünü artırdı-



Alomayri [47]	Uçucu Kül	63.13	24.88	3.07	2.58	0.61	-	2.01	0.71	-	-	0.18
	Nano-Alumina	-	99.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huang and Han [48]	Uçucu Kül	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nano-Alumina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saukani ve diğerleri [49]	Metakaolin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nano Zirkonya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tablo-2** İncelenen çalışmada kullanılan veriler ve elde edilen mekanik davranış sonuçları

Referanslar	Bağlayıcı	Nano-malzeme		Mekanik Dayanım-MPa			Temel Bulgular
		Tür	Oran	Basınç	Çekme	Eğilme	
Adak ve diğerleri [37]	Uçucu Kül	Nano Silika	%6	34-47	2.78-4.33	-	Geopolimer beton oda şartlarında kürlendiğinde ısınmayla kürlenmeye kıyasla daha iyi mekanik dayanım özellikleri göstermiştir. Ayrıca, nano-silika polimerizasyon reaksiyonunu hızlandırır.
Deb ve diğerleri [38]	Uçucu Kül	Nano Silika	%0-3	21-65	-	-	Yapılan çalışmada; geopolimer karışıma nano-silika eklenmesi erken yaş basınç dayanımını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Ancak, %2'den fazla nano-silika kullanılması karışım üzerinde negatif etkiye sebep olmuştur.
Deb ve diğerleri [39]	Uçucu Kül	Nano Silika	%0-3	29-67	-	-	Karışıma %2'ye kadar nano-silika ilavesi basınç dayanımını iyileştirmiş, daha yoğun mikro yapı elde edilmiştir.
Wang ve diğerleri [40]	Cüruf	Nano Silika	%0-3	48.80-54.70	-	-	Yapılan çalışmada; nano-silika'nın matrisin boşluk yapısını azalttığı için basınç dayanımı, nano-silika eklenmesiyle her yaşta artmaktadır.
Lo ve diğerleri [41]	Metakaolin	Nano Silika	%0-2	30-71	-	-	Geopolimer karışımında nano-silika kullanılması basınç dayanımına ve priz süresi üzerinde pozitif etki yaratmıştır. En iyi sonuçlar %0.5 nano-silika kullanıldığı karışımlardan elde edilmiştir.

Gao ve diğerleri [42]	Metakaolin	Nano Silika	$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ratio = 1-2	28-70	-	-	Bu çalışmada; katı / sıvı oranı 1.03'te en yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir.
Phoongernkham ve diğerleri [43]	Uçucu Kül	Nano Silika Nano-Alumina	%1-3	16.80-51.80	-	1.83-6.41	Nano-silika ve nano-alumina ilavesiyle priz süresi kısaldı ve geopolimer matriste CASH veya CSH, NASH jeli oluşumu nedeniyle basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve elastik modülün artmasına sebep oldu. Karışımdaki maksimum basınç dayanımı %2 nano-silika ve %1 nano alümina ile elde edilmiştir.
Shahrajabian ve Behfarnia [44]	Cüruf	Nano Silika Nano-Alumina Nano-Clay	%1-3	30-60	-	-	Geopolimer matriste kullanılan üç nano malzemeden en çok pozitif etkilen nano-silika'dır.
Assaedi ve diğerleri [45]	Uçucu Kül	Nano Kil	%0-3	37.20-45.90	-	4.50-5.60	Yapılan testler sonucunda; nano-kilin %2 kullanımında en iyi mekanik davranışlar gözlemlenmiştir. %2'den daha fazla kullanılırsa topaklaşma sorunu ortaya çıkmaktadır.
Duan ve diğerleri [46]	Uçucu Kül	Nano $\text{TiO}_2$	%1-5	7-85	-	-	Geopolimer karışıma nano- $\text{TiO}_2$ eklenmesi erken ve geç yaş basınç dayanımını arttırdığı sonucu elde edilmiştir. Ayrıca, daha yoğun mikro yapı oluşmuştur.
Alomayri [47]	Uçucu Kül	Nano-Alumina	%1-3	23.90-29-40	-	3.03-4.38	Yapılan çalışma; karışıma nano-alumina eklenmesi eğilme mukavemetini, eğilme modülünü, kırılma tokluğunu, basınç dayanımını, mikro yapısını ve sertliğini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.
Huang and Han [48]	Uçucu Kül	Nano-Alumina	%5	9-18	-	-	Geopolimer matrisin mikro yapısı ve basınç dayanımı %5 nano-alumina eklenmesiyle gelişmiştir.
Saukani ve diğerleri [49]	Metakaolin	Nano Zirkonya	%0-15	32.33-40.59	-	-	Bu çalışmada; geopolimer karışımına %5 kadar nano-zirkonya eklenmesi basınç dayanımını olumlu etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak, %5'den fazla eklenmesi basınç dayanımını değiştirmemektedir.

#### 2.4.4 Nano-Alümina (Nano- $Al_2O_3$ ):

Alümina, yüksek sertlik, yüksek stabilite, yüksek yalıtım ve şeffaflık özelliklerine sahiptir [60]. Yüksek saflıkta ve daha yüksek incelikte nano-alümina, çimento-kum ara yüzey geçiş bölgesini ve matristeki birkaç kılcal çatlağı doldurarak betonun mekanik özelliklerini iyileştirir ve böylece bağlayıcı malzemenin özelliklerini geliştirir [60,61].

#### 2.4.5 Nano-Zirkonya:

Zirkonya, yüksek yoğunluk ve sertliğe, yüksek termal stabiliteye, yüksek tokluğa ve korozyon önleyici özelliklere sahip bir oksit malzemedir, bu nedenle yapısal ve fonksiyonel amaçlar için yaygın olarak uygulanır [62,63]. Bu malzeme nadiren  $ZrO_2$  olarak bulunur, ancak doğal olarak daha çok zirkon kumu olarak bilinen Zirkon ( $ZrSiO_4$ ) olarak bulunur.  $ZrSiO_4$  mikro zirkon, nano zirkon, silika, mikro zirkonya ve nano zirkonya olarak işlenebilir [64-66]. Saukani ve diğerleri'nin yaptığı çalışmada; geopolimer karışımına %5 kadar nano-zirkonya eklenmesi basınç dayanımını olumlu etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak, %5'den fazla eklenmesi basınç dayanımını değiştirmemektedir [49].

### 3. Sonuç:

Son yıllarda yapılan araştırmalar, nano-malzemelerin geopolimer betonlara etkilerini tespit etmeye ve mekanik davranışları üzerine etkilerinin anlamaya odaklanmıştır. Bu çalışma, geopolimer betonlarda kullanılan nano-malzemelerin geopolimer betonların mekanik özelliklere etkisi ile ilgili yapılan araştırmaların kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Geopolimer beton içinde kullanılan nano-malzemeler geopolimer betonun mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkileri olmaktadır. Ayrıca, nano-malzemeler alkali gibi aktivatörler ve kütleme rejimi, geopolimer özelliklerinde önemli rol oynar. Yapılan araştırmalar incelendiğinde, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1) Geopolimer beton karışımlarında nano-malzeme kullanılması, betonun mekanik özelliklerine olumlu katkılar sağlamaktadır. Bunun sebebi, nano-malzemeler beton içindeki boşluk yapısını azalttığı için betonun mekanik özelliklerine olumlu katkı sağlamaktadır.

2) Nano-malzemeler belirli orandan fazla kullanıldığında olumsuz etki göstermektedir. Bunun sebebi, karışımda topaklanmaya sebep olmasıdır.

3) Nano-silika matrisin boşluk yapısını azaltmaktadır. Bu nedenle, geopolimer betonun mekanik özelliklerine olumlu katkı sağlamaktadır.

4) Nano-kil karışımın amorf yapısını ve geopolimerizasyonun artmasına neden olur. Bu nedenle, geopolimer matrisin boşluk yapısının azal-



masına sebep olur. Böylece geopolimer betonun mekanik özelliklerinin gelişmesine katkı sağlar.

6) Nano-TiO<sub>2</sub> matrisdeki boşluk yapısını azalttığı için geopolimer betonun mekanik özelliklerinin artmasına neden olmaktadır.

7) Nano-Alümina karışımın boşluk yapısını azalttığı için geopolimer betonun mekanik özelliklerinin artmaktadır.

8) Nano-zirkonya karışımında ki boşlukları doldurduğu için mekanik özellikleri olumlu etkilemektedir.

9) Kullanılan nano-malzemeler belirli bir orandan fazla kullanıldığında, yetersiz çözümlenme ve malzemelerin olası topaklaşması nedeniyle geopolimerin daha düşük bir polikondenzasyon seviyesine yol açar, bu da malzemenin mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkilere sebep olur.

10) Nano-malzemelerin çok ince puzolanik malzemeler olduğu için, daha yüksek hidrasyon derecesi elde etmek için son derece yüksek reaktiviteleri sayesinde geopolimerin mekanik özelliklerini geliştirebilir.

11) Nano-malzeme içeren geopolimerler, sıkıştırılmış ve daha homojen bir mikro yapı sergilerler. Ayrıca, nano-malzemelerin geopolimerlere katılmasıyla geopolimerizasyon oranı artar.

12) Kullanılan nano-malzemelerin bazıları yan ürün olarak üretilen endüstriyel atık malzemeleridir. Geopolimer, bu atık malzemelerin yönetimi için iyi bir çözüm sunmaktadır.

**Kaynaklar:**

- [1] Javeed, M.A., Kumar, M.V., Narendra, H. (2015). Studies on Mix Design of Sustainable Geo-Polymer Concrete. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management (IJIREM)*. ISSN: 2350-0557, Volume-2, Issue-4.
- [2] Ali, M.B., Saidur R., Hossain M.S. (2011). A review on emission analysis in cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 15, Issue 5, Pages 2252-2261.
- [3] Davidovits, J. (2008a). *Geopolymer Chemistry and Applications*. Saint Quentin, France.
- [4] Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M., and Rangan, B.V. (2004). Factors influencing the compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete. *Civil engineering dimension*. 6(2), 88-93.
- [5] Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M., and Rangan, B.V., (2004). On the development of fly ash-based geopolymer concrete. *Materials Journal*, 101(6), 467-472.
- [6] Malhotra, V.M., and Mehta, P.K., (2008). *High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete for Building Sustainable and Durable Structures*. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development. Inc., Ottawa, Canada.
- [7] Mccaffrey, R., (2002). Climate change and the cement industry. *Global cement and lime magazine* (environmental special issue), 15-19.
- [8] Niş, A. (2019). The Compressive Strength Development of Alkali Activated Fly Ash/Slag Concretes with Different Alkali Activator Ratios. *IJET*, Vol.5, No.2.
- [9] Mehta, A. and Siddique, R. (2017). Sulfuric acid resistance of fly ash based geopolymer concrete. *Constr. Build. Mater.*, 146, 136–143.
- [10] Malhotra, V.M., (2002). Introduction: sustainable development and concrete technology. *Concrete International*, 24(7), 1-22.
- [11] Ramachandran, V.S., (1981). *Waste and by-products as concrete aggregates*. Canadian building digest, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario, Canada.
- [12] Hemn, U.A., Ahmed, S.M., Rabar, H.F., Shaker, M.A.Q.,Azad, A.M. (2022). Compressive strength of geopolymer concrete modified with nano-silica: Experimental and modeling investigations. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e01036. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01036>
- [13] Roco, M.C., Williams, R.S., Alivisatos, P.(Eds.) (2000). Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report: Vision for Nanotechnology in the Next Decade, *Springer Science & Business Media*.
- [14] Sharif, H.H. (2021) Fresh and mechanical characteristics of eco-efficient geopolymer concrete incorporating nano-silica: an overview, *Kurd. J. Appl. Res.*, 64–74.

<https://doi.org/10.24017/science.2021.2.6>.

- [15] Ahmed, H.U., Mohammed A.A., Mohammad, A.S.(2022). The role of nanomaterials in geopolymer concrete composites: A state-of-the-art review. *J. Build. Eng.*. 104062, <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2022.104062>.
- [16] <http://kisi.deu.edu.tr/burak.felekoglu/08.geopolimer.pdf>.
- [17] Hardjito, D., Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J., Rangan, B.V. (2004). On The Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Materials Journal*, Vol.101, 467–472
- [18] Jian, H. (2012). Synthesis and Characterization of Geopolymers for Infrastructural Applications. PhD. Thesis, 2012, The Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University.
- [19] Sakulich, A.R. (2011). Reinforced geopolymer composites for enhanced material greenness and durability. *Sustainable Cities and Society*. 1(4), 195–210.
- [20] Hardjito, D., Rangan, B. V. (2005). Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete.
- [21] Zhuang, X.Y., Chen, L., Komarneni, S., Zhou, C.H., Tong, D.S., Yang, H.M., Yu, W.H., Wang H.(2016). Fly ash-based geopolymer: clean production, properties and applications. *Journal of Cleaner Production*, Volume 125, Pages 253-267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.019>
- [22] Arslan K.M.,(2014). Sülfat Etkisine Maruz Kalmış Mineral ve Nano Katkılı Harçların Durabilitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı, İstanbul.
- [23] [https://www.jfemineral.co.jp/e\\_mineral/business/iron\\_and\\_steel/ground\\_granulated\\_blast\\_furnace\\_slag.html](https://www.jfemineral.co.jp/e_mineral/business/iron_and_steel/ground_granulated_blast_furnace_slag.html)
- [24] <https://www.universalimpex.asia/Broucher/metakaolin.pdf>
- [25] Duxson, P., Provis, J.L., Lukey, G.C., Mallicoat, S.W., Kriven, W.M., Van Deventer, J.S.J. (2005). Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties. *Colloids Surf, A* 269(1–3):47–58. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.06.060>
- [26] Rowles, M., O'Connor, B.(2003). Chemical optimisation of the compressive strength of aluminosilicate geopolymers synthesised by sodium silicate activation of metakaolinite. *J Mater Chem*. <https://doi.org/10.1039/b212629j>
- [27] Stevenson, M., Sagoe-Crentsil, K. (2005). Relationship between composition, structure and strength of inorganic polymers: part 1—metakaolin-derived inorganic polymers. *J Mater Sci*. 40(8):2023–2036
- [28] Narmatha, N., Felixkala, T.(2016). Metakaolin –the Best Material for Replacement of Cement in Concrete. *International Journal of Advanced Research* , Volume 4, Issue 7, 1690-1696. DOI: 10.21474/IJAR01/1054
- [29] Zhang, M.H.H., Islam, J., Peethamparan, S.(2012). Use of nano-silica to

- increase early strength and reduce setting time of concretes with high volumes of slag. *Cem. Concr. Compos.* 34, 650–662, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.02.005>
- [30] Aggarwal, P., Singh, R.P., Aggarwal, Y.(2015). Use of nano-silica in cement based materials—A review, *Cogent Eng.*, 2. <https://doi.org/10.1080/2311916.2015.1078018>
- [31] Okoye, F.N., Prakash, S., Singh, N.B.(2017). Durability of fly ash based geopolymer concrete in the presence of silica fume. *J. Clean. Prod.* 149 1062–1067. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.176>.
- [32] Quercia, G., Spiesz, P., Hüsken, G., Brouwers, H.J.H.(2014). SCC modification by use of amorphous nano-silica. *Cem. Concr. Compos.* 45 69–81. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.001>
- [33] Brouwers, H.J.H., Quercia, G.(2010). *Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures*. 8th Fib PhD Symp. Kgs, Lyngby, Denmark.
- [34] Bastami, M., Baghbadrani, M., Aslani, F.(2014). Performance of nano-Silica modified high strength concrete at elevated temperatures. *Constr. Build. Mater.* 68 402–408. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.026>
- [35] Quercia, G., Hüsken, G., Brouwers, H.J.H.(2012). Water demand of amorphous nano silica and its impact on the workability of cement paste. *Cem. Concr. Res.* 42 344–357. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.10.008>
- [36] Givi, A.N., Rashid, S.A, Aziz, F.N.A., Salleh, M.A.M.(2010). Experimental investigation of the size effects of SiO<sub>2</sub> nano-particles on the mechanical properties of binary blended concrete, *Compos. Part B Eng.* 41 673–677. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2010.08.003>
- [37] Adak, D., Sarkar, M., Mandal, S.(2017). Structural performance of nano-silica modified fly-ash based geopolymer concrete. *Constr. Build. Mater.* 135 430–439. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.111>.
- [38] Deb, P.S., Sarker, P.K., Barbhuiya, S.(2016). Sorptivity and acid resistance of ambientcured geopolymer mortars containing nano-silica. *Cem. Concr. Compos.* 72 235–245. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2016.06.017>
- [39] Deb, P.S., Sarker, P.K., Barbhuiya, S.(2015). Effects of nano-silica on the strength development of geopolymer cured at room temperature. *Constr. Build. Mater.* 101675–683, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.044>
- [40] Wang, J., Du, P., Zhou, Z., Xu, D., Xie, N., Cheng, X.(2019). Effect of nano-silica on hydration, microstructure of alkali-activated slag. *Constr. Build. Mater.* 220 110–118, <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILD-MAT.2019.05.158>
- [41] Lo, K., Lin, K., Cheng, T., Chang, Y., Lan, J.(2017). Effect of nano-SiO<sub>2</sub> on the alkali-activated characteristics of spent catalyst metakaolin-based geopolymers, 143 455–463.
- [42] Gao, K., Lin, K.L., Wang, D., Hwang, C.L., Shiu, H.S., Chang, Y.M., Cheng, T.W.(2014). Effects SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O molar ratio on mechanical proper-

- ties and the microstructure of nano-SiO<sub>2</sub> metakaolin-based geopolymers. *Constr. Build. Mater.* 53 503–510.
- [43] Phoo-ngernkham, T., Chindaprasirt, P., Sata, V., Hanjitsuwan, S., Hatana-ka, S.(2014). The effect of adding nano-SiO<sub>2</sub> and nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on properties of high calcium fly ash geopolymer cured at ambient temperature. *Mater. Des.* 55 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.09.049>.
- [44] Shahrajabian, F., Behfarnia, K.(2018). The effects of nano particles on freeze and thaw resistance of alkali-activated slag concrete. *Constr. Build. Mater.* 176 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.033>.
- [45] Assaedi, H., Shaikh, F.U.A., Low, I.M.(2016). Effect of nano-clay on mechanical and thermal properties of geopolymer. *Journal of Asian Ceramic Societies* 4, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.jascer.2015.10.004>
- [46] Duan, P., Yan, C., Luo, W., Zhou, W.(2016). Effects of adding nano-TiO<sub>2</sub> on compressive strength, drying shrinkage, carbonation and microstructure of fluidized bed fly ash based geopolymer paste, *Constr. Build. Mater.* 106 115–125, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.095>.
- [47] Alomayri, T.(2019). Experimental study of the microstructural and mechanical properties of geopolymer paste with nano material (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), *J. Build. Eng.* 25. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100788>.
- [48] Huang, Y., Han, M.(2011). The influence of a-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition on microstructure, mechanical and formaldehyde adsorption properties of fly ash-based geopolymer products. *J. Hazard. Mater.* 193 90–94, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.029>
- [49] Saukani, M., Lisdawati, A.N., Irawan, H., Iqbal, R.M., Nurjaya, D.M., Astutiningsih, S.(2022). Effect of Nano-Zirconia Addition on Mechanical Properties of Metakaolin-Based Geopolymer. *Journal of Compos. Sci.* 6, 293. <https://doi.org/10.3390/jcs6100293>
- [50] Hassaan, M.M., Khater, H.M., El-Mahllawy, M.S., El Nagar, A.M.(2015). Production of geopolymer composites enhanced by nano-kaolin material. *J. Adv. Ceram.* 4 245–252. <https://doi.org/10.1007/s40145-015-0156-y>.
- [51] Hakamy, A., Shaikh, F.U.A.A., Low, I.M.(2015). Characteristics of nanoclay and calcined nanoclay-cement nanocomposites. *Compos. Part B Eng.* 78 174–184. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.074>
- [52] Nazir, M.S., Kassim, M.H.M., Mohapatra, L., Gilani, M.A., Raza, M.R., Majeed, K.(2016). Characteristic properties of nanoclays and characterization of nanoparticulates and nanocomposites, nanoclay reinf. *Polym. Compos.* 35–55. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-1953-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-1953-1_2)
- [53] Wei, J., Meyer, C.(2014). Sisal fiber-reinforced cement composite with Portland cement substitution by a combination of metakaolin and nanoclay, *J. Mater. Sci.* 49 7604–7619, <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8469-8>.
- [54] Hosseini, P., Afshar, A., Vafaei, B., Booshehrian, A., Raisi, E.M., Esrafil, A.(2015). Effects of nano-clay particles on the short-term properties of self-compacting concrete, *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* 21 127–147, <https://doi.org/10.1080/13632479.2015.1053111>

doi.org/10.1080/19648189.2015.1096308.

- [55] Safiuddin, M., Gonzalez, M., Cao, J., Tighe, S.L.(2014). State-of-the-art report on use of nano-materials in concrete. *Int. J. Pavement Eng.* 15 940–949.  
<https://doi.org/10.1080/10298436.2014.893327>
- [56] Li, Z., Han, B., Yu, X., Dong, S., Zhang, L., Dong, X., Ou, J.(2017). Effect of nano-titanium dioxide on mechanical and electrical properties and microstructure of reactive powder concrete. *Mater. Res. Express.* 4 95008, <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aa87db>
- [57] Chen, J., Kou, S., Poon, C.(2012). Hydration and properties of nano-TiO<sub>2</sub> blended cement composites. *Cem. Concr. Compos.* 34 642–649.  
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.02.009>.
- [58] Zhang, R., Cheng, X., Hou, P., Ye, Z.(2015). Influences of nano-TiO<sub>2</sub> on the properties of cement-based materials: hydration and drying shrinkage. *Constr. Build. Mater.* 81 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.003>.
- [59] Jiang, S., Zhou, D., Zhang, L., Ouyang, J., Yu, X., Cui, X., Han, B.(2018). Comparison of compressive strength and electrical resistivity of cementitious composites with different nano- and micro-fillers, *Arch. Civ. Mech. Eng.* 18 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2017.05.010>.
- [60] Wefers, K.(1990). *Alumina chemicals: science and technology handbook*, Am. Ceram. Soc. Westerville, Ohio. 13.
- [61] Shekari, A.H., Razzaghi, M.S.(2011). Influence of nano particles on durability and mechanical properties of high performance concrete. *Procedia Eng.* 14 3036–3041. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.382>.
- [62] Zawrah, M.F., Farag, R.S., Kohail, M.H.(2018). Improvement of Physical and Mechanical Properties of Geopolymer through Addition of Zircon. *Mater. Chem. Phys.*, 217, 90–97.
- [63] Septawendar, R., Sutardi, S., Karsono, U., Sofiyarningsih, N.(2016). A Low-Cost, Facile Method on Production of Nano Zirconia and Silica from Local Zircon in a Large Scale Using a Sodium Carbonate Sintering Technology. *J. Aust. Ceram. Soc.*, 52, 11.
- [64] Phair, J.W., Van Deventer, J.S.J., Smith, J.D.(2001). Interaction of Sodium Silicate with Zirconia and Its Consequences for Polysialation. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 182, 143–159.
- [65] Musyarofah, Lestari, N.D., Nurlaila, R., Muwwaqor, N.F., Triwikantoro, Pratapa, S.(2019). Synthesis of High-Purity Zircon, Zirconia, and Silica Nanopowders from Local Zircon Sand. *Ceram. Int.*, 45, 6639–6647.
- [66] Shahrajabian, F., Behfarnia, K.(2018). The effects of nano particles on freeze and thaw resistance of alkali-activated slag concrete. *Constr. Build. Mater.* 176 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.033>.



## **BÖLÜM 11**

### **YBCO KÜLÇE SÜPERİLETKENLERİNDE TUZAKLANAN MANYETİK ALAN**

*Burcu SAVAŞKAN<sup>1</sup>, Sait Barış GÜNER<sup>2</sup>*

---

1 Burcu Savaşkan, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Trabzon, email:bsavaskan@ktu.edu.tr

2 Sait Barış Güner, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Merkez, Rize

## 1. Giriş

Geleneksel kalıcı mıknatıslar; motorlar, jeneratörler ve süperiletken yataklar gibi enerji depolama sistemlerinde kullanılan pek çok cihaz için temel elemanlardır. Nb-Fe-B gibi en güçlü kalıcı mıknatıslar yaklaşık 1.5-2 T manyetik alan üretimi ile sınırlı iken, YBCO gibi külçe süperiletkenler 17.7 T gibi çok daha büyük alan tuzaklayabildiklerinden tuzaklanan manyetik alan mıknatısı (TFM) ya da süper-mıknatıs olarak adlandırılmaktadırlar [1]. Bu eşsiz özellik sayesinde süperiletken külçeler günümüzde geleneksel mıknatısların sınırlarını aşan ve yüksek manyetik alanın gerekli olduğu parçacık hızlandırıcı, manyetik görüntüleme (MRI), nükleer manyetik rezonans (NMR), süperiletken motor ve manyetik olarak havalanmış ulaşım araçları (Maglev) gibi pek çok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Bir külçe süperiletken geçiş sıcaklığının ( $T_c$ ) altında iken uygulanan bir manyetik alan ile mıknatıslandığında; mıknatıslanma sürecinde, uygulanan manyetik alan tarafından külçe örnek boyunca indüklenen koaksiyal süperakımlar, uygulanan alan sıfır olduğunda bile akmaya devam ederler. Sonuçta bu akımlar ile ilişkili manyetik alan oldukça yavaş bir şekilde azalır ve nispeten sabit bir manyetik alana neden olur ve tuzaklanan manyetik alan olarak adlandırılır.

Süperiletken malzemelerin endüstriyel kullanımını belirleyen temel parametreler; kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ), manyetik alan tuzaklama kapasitesi ( $B_p$ ), manyetik kaldırma kabiliyeti ve yapısal mukavemettir. Bakır tabanlı, büyük, tek veya çok çekirdekli külçe süperiletkenler yüksek manyetik alan tuzaklama ve kararlı manyetik kaldırma özellikleri nedeniyle yüksek manyetik alan uygulamaları için teknolojik olarak oldukça önemli malzemelerdir [2]. YBCO' nun da içinde bulunduğu bakır tabanlı süperiletkenlerin nadir toprak sınıfının kimyasal formülü (RE)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> (RE; bir nadir toprak elementi ya da itriyum) şeklinde olup basit olarak (RE)BCO şeklinde gösterilir. Bugüne kadar üretilen en popüler külçe ürün olan YBCO nun kristal yapısı oldukça anizotropiktir ve en yüksek  $J_c$  performansını, büyük tek çekirdekli geometrisi ile almıştır. Bu nedenle son otuz yıldır, süperiletkenlerin potansiyel uygulamalarının geliştirilmesi için tek veya çok çekirdekli (RE)BCO külçe malzemelerin üretimi oldukça önemlidir. Son yıllarda YBCO süperiletken bileşiğinin üretim sürecindeki gelişmeler ile yüksek akı tuzaklama ve yüksek kritik akım yoğunluğuna sahip olması bu malzemeyi Manyetik taşıyıcılar ve Manyetik olarak havalanmış araç (Maglev) uygulamaları için oldukça cazip hale getirmiştir [3-6].

Manyetize olan bir süperiletken, içinde koni şeklinde bir manyetik alanı iki şekilde tuzaklayabilir:

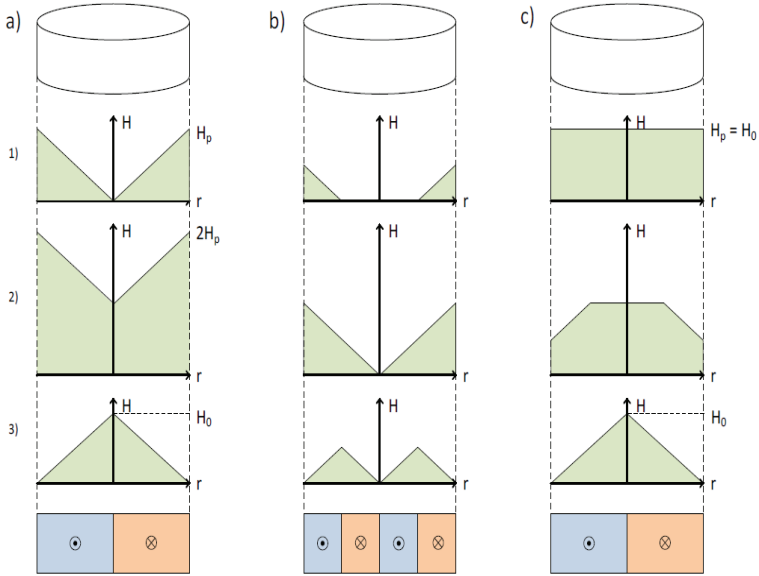
(i) Alan Altında Soğutma (FC): Örnek bir dış manyetik alanın var-



lığında kritik sıcaklığın ( $T_c$ ) altına soğutulur, daha sonra alan kaldırılır.

(ii) Alansız Soğutma (ZFC): Örnek manyetik alan yokken kritik sıcaklığın altına soğutulur, sonra manyetik alan belirli bir pik değerine çıkarılır ve tekrar sıfıra indirilir.

Şekil 1, ZFC ve FC yöntemleri için geliştirilen manyetik alan profillerini şematik olarak gösterir ve Bean Modeline göre, mümkün olan maksimum alanı tuzaklanması için ZFC ölçümünde FC den iki kat daha büyük bir dış alan gerekir. Bu model aynı zamanda, tuzaklanan manyetik alanın ( $B_p$ ); hem süperiletken külçe diskin çapına hem de kritik akım yoğunluğuna lineer olarak bağlı olduğunu belirtir.



**Şekil 1.** Zamanla değişen dış manyetik alana maruz kalan bir külçe süperiletken için alanın örneğe nüfuz etmesi ve tuzaklanan manyetik alan. Bu şekil, külçeyi yarı sonsuz uzunlukta bir silindir kabul ederek demanyetizasyon etkilerini ihmal eder. Son satırdaki grafikler tuzaklanan alanı, en alttaki üç şema akım yoğunluğu dağılımını göstermektedir. Penetrasyon alanı " $H_p$ " akımın merkeze girmesi için gerekli olan dış alandır. (a) ZFC: Maksimum alanın tuzaklanması için gereken alan  $2H_p$  dir ( $H_0 = H_p$ ). (b) Dış alan  $H_p$  azalırken tuzaklanan manyetik alan. (c) Maksimum tuzaklanan alana eşit bir dış alan gereklidir.

Düşük sıcaklıklarda (RE)BCO külçe süperiletkenlerinin tuzakladığı manyetik alan değerleri ilk kez 2003 yılında Japonya'da Tomita ve Murakami tarafından ölçülmüştür. 29 K sıcaklığında karbon fiber ile kaplanmış ve reçine emdirilmiş, 26 mm çapında ve 15 mm kalınlığında iki külçe

YBCO tek kristali arasında, 17.24 T lık bir tuzaklanan alan ölçtüler [7]. 77 K de, 20 mm çapında (RE)BCO süperiletken külçe örneklerde 2 T [8] , 65 mm çapındaki örneklerde 3 T [9] tuzaklanan manyetik alanlar elde edilmiştir. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin (HTS) kritik akım yoğunluğu, 77 K den düşük sıcaklıklarda artar, bu nedenle çok daha büyük manyetik alanlar tuzaklayabilirler. 2010 yılında Cambridge Üniversitesi'nde, Shi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, % 15 Ag katkılı 26 mm çapında (Gd)BCO tek kristal süperiletkeninde sıvı azot sıcaklığında tuzaklanan manyetik alan değerini 0.8 T olarak ölçtüler [10]. Aynı grup 2014 yılında yaptıkları çalışma ile tuzaklanan manyetik alan ölçümlerinde, 26 K de 17.6 T ile bugüne kadar herhangi bir sıcaklıkta en yüksek tuzaklanan alan değerini elde ettiler ve Guinness rekorlar kitabına girmeyi başardılar.

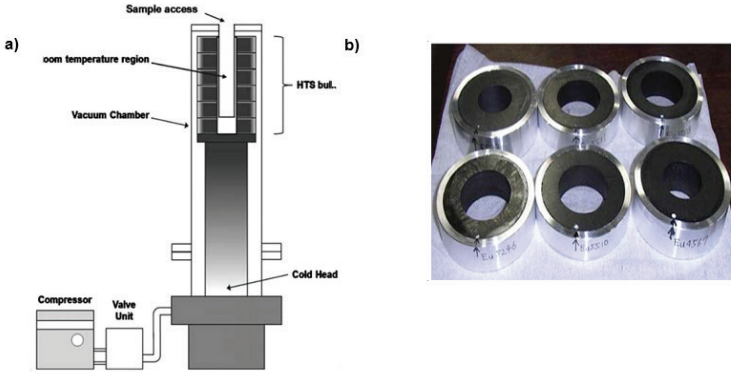
(RE)BCO külçe süperiletkenlerinin oldukça yüksek manyetik alanlar tuzaklamasında, sadece yüksek kritik akım yoğunluğuna sahip bir malzeme üretmenin ötesinde bazı önemli zorluklar da vardır. Zaman alıcı ve nispeten pahalı üretim süreci, düşük termal iletkenlikleri ve yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin kırılğan seramik yapısı nedeniyle zayıf mekaniksel mukavemetleri üretim sürecinde aşılması gereken temel problemlerdir [1,7]. Mevcut külçelerin düşük sıcaklıklarda ki (20-40 K) termal kararsızlıkları, yüksek  $J_c$  değerlerini kullanmayı kullanışsız ya da imkânsız yapar. Bu nedenle 77 K den küçük sıcaklıklar ve oldukça yüksek tuzaklanan alanlar için (>10T) süperiletken külçelere zayıf mekaniksel mukavemetleri nedeniyle harici mekaniksel takviye gereklidir [1]. Bugüne kadar literatürde yer alan ve en iyi tuzaklanan alanların kısa bir özeti Tablo 1' de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Bugüne kadar (RE)BCO külçelerinde FC yöntemiyle elde edilen en iyi tuzaklanan alan değerleri.

Külçe Örnek	Çap (mm) × Kalınlık (mm)	Tuzaklanan Manyetik Alan (T)	Sıcaklık (K)	Açıklama	Referans
YBCO	25×8	16	24	İki külçe arasındaki alan	Krabbes 2001
GdBCO	50×30	2.7	77	Tek külçenin yüzeyi	Nariki 2002
YBCO	26×10	2.1	77	Tek külçenin yüzeyi	Fuchs 2003
YBCO	26.5×15	17.2	29	İki külçe arasındaki alan	Tomita 2003
GdBCO	65×19	3.1	77	Tek külçenin yüzeyi	Nariki 2005
GdBCO	45×15	5.2	28-47	Tek külçenin yüzeyi	Fujishiro 2006
GdBCO	46×15	9.1	42	Tek külçenin yüzeyi	Teshima 2013
*GdBCO	25×13	17.6	26	İki külçe arasındaki alan	Durell 2014

\*Tuzaklanan alan mıknatısı için Guinness dünya rekoru

Yukarıdaki tabloda iki külçe için elde edilen en yüksek tuzaklanan alan değerleri, paslanmaz çelik bir bant ve karbon elyaf sararak reçine emdirilmesi ile elde edilmiştir. Bu malzemelerin mekaniksel özellikleri ve termal iletkenlikleri gibi malzeme özelliklerindeki sürekli gelişmelerle tablodaki yüksek tuzaklanan alan değerlerine ulaşılmıştır. Bu veriler süperiletken külçe mıknatısların performansının, geleneksel kalıcı mıknatıslara ( $<2T$ ) göre daha üstün olduğunu göstermekle kalmaz, aynı zamanda yüksek performanslı külçe mıknatısların, kalıcı mıknatısların yerini alacak şekilde planlandığı birçok yenilikçi uygulamayı da mümkün kılar.



**Şekil 2.** (a) Manyetik rezonans görüntüleme sistemi (MRI) için tasarlanan halka şeklinde külçe süperiletkenlerden ( $EuBa_2Cu_3O_y$ ) oluşan külçe mıknatıs sisteminin şeması (b) Şekil (a) da kullanılan külçe süperiletkenler [11].

Günümüzde külçe süperiletkenlerin en önemli uygulamalarından biri taşınabilir mıknatıs sistemleridir ve genellikle “Tuzaklanan Alan Mıknatısı” (TFM) olarak da adlandırılmaktadır. Bu sistemlerin potansiyelini, bugüne kadar külçe süperiletkenlerde elde edilen ve Tablo 1 de kısa bir özeti verilen performanslar gösterir. Japonya’da “IMRA” şirketi ve birkaç üniversite işbirliği ile külçe süperiletken mıknatısların endüstriyel uygulamalarını teşvik etmek için büyük çaba harcadılar. 2005 yılında 60 mm çaplı bir Sm-Ba-Cu-O külçesinin dışında 5.2 T, yüzeyinde 7.2 T lık güçlü bir manyetik alan elde etmeyi başardılar. Külçe süperiletken mıknatısların üstün özelliklerinden biyomedikal alanda, “Manyetik İlaç Taşıyıcı Sistemlerinde” başarılı şekilde yararlanılmaktadır. 2009 yılında Hitachi şirketi İlaç Salım Sistemi için bir portatif mıknatıs tasarladığını bildirdi. 2015 yılında Japon Riken şirketi NMR ve MRI için süperiletken külçe halkaların kullanıldığı taşınabilir manyetik sistemler geliştirdi (Şekil 2) [11].

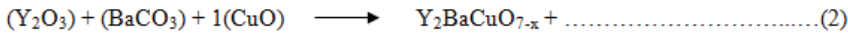
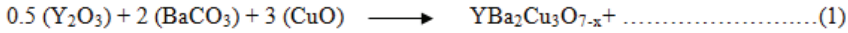
Tokyo Üniversitesi’nde İzumi ve arkadaşları tarafından elektrikli gemiler için düşük hızlı ve yüksek torklu senkron bir makine olarak geliştirilmiştir. Süperiletken tabanlı makinelerin ekonomik maliyeti, geçmişte yaygın olarak benimsenmelerini engellemiştir. Teknolojik avantajlarının

açık olmasına rağmen, külçe tabanlı makinelerin ekonomik uygulanabilirliği, özellikle pazarlama ve fayda-maliyet analizlerinin daha detaylı incelenmesini gerektirmektedir. Malzeme maliyet performans oranının iyileştirilmesi; makine maliyetinin azalmasına ve külçe süperiletken üreticileri arasındaki rekabetin artmasında yararlı olacaktır. Şu sonuca varabiliriz ki, külçe süperiletkenlerin kalıcı mıknatısların yerini aldığı makineler oldukça yüksek güç yoğunluğuna sahiptir ancak parasal maliyet oldukça yüksektir. Bu teknolojiyen en çok yararlanılan uygulamalar boyut ve ağırlığın çok önemli bir maliyet faktörü olduğu yerlerdir. İlk olarak, rüzgar enerjisi üretimi böyle bir uygulamanın çok iyi bir örneğidir. Yeni bir rüzgar güç jeneratörü maliyetinin önemli bir yüzdesi, kulenin inşasında kullanılır. Bir diğer uygulama ise ultra-hafif elektrik makineleridir. Böyle bir uygulamanın en göze çarpan, modern örneği elektrikli havacılıktır. NASA ve Airbus tarafından geliştirilen tamamen elektrikli ve hibrit-elektrikli uçak konseptleri, kısa ve uzun mesafeler için,  $25\text{kWkg}^{-1}$  in üzerinde güç yoğunluğuna sahip olmalarını gerektirir. Gelecekte sadece süperiletken elektrik makineleri böyle güç yoğunlukları sağlayabilir. Ultra-hafif, kompakt ve enerji tasarruflu süperiletken döner makineler, gelecek nesil nakliye ve güç uygulamaları için oldukça cazip olacaktır.

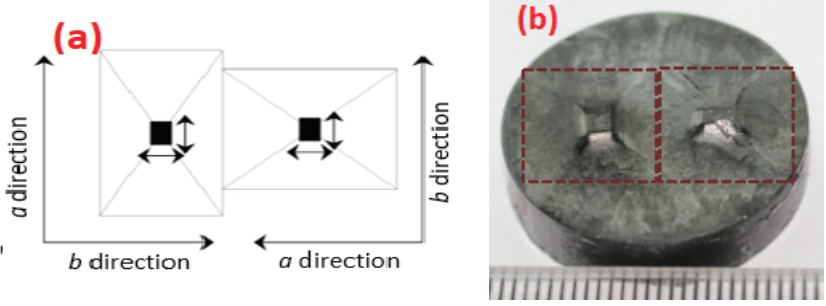
YBCO külçe süperiletkenlerinin teknolojik uygulamalarda kullanımını arttırmak için çok çekirdekli YBCO külçelerinin tuzakladığı manyetik alan özelliklerinin detaylı şekilde araştırılması önemlidir. Bu çalışmada YBCO örnekleri; çift çekirdekli ve çekirdeklerin (100)/(010) yapıda yerleştirilerek, TSMG (Üstten-çekirdeklenmiş-eritme-büyütme) yöntemi kullanılarak üretildi. Üretilen örneklerin tuzaklanan alan değerleri sıvı azot sıcaklığında (77 K) alan altında manyetizasyon (FCM) yöntemi ile ölçüldü. Çekirdekler arasındaki (d) mesafesinin tuzaklanan manyetik alan üzerindeki etkisi araştırıldı.

## 2. Çift çekirdekli YBCO külçelerinin üretimi

YBCO örnekleri için başlangıç toz kompozisyonları: 75 wt% Y-123 +25 wt% Y-211 + 0.5 wt% of  $\text{CeO}_2$  olarak seçildi.



Toz karışım 1.5 ton basınç altında 32 mm çaplı ve 9 mm yüksekliğinde preslenerek pellet haline getirildi. Örnek yüzeylerine  $\text{Nd}_{1.8}\text{Ba}_{2.4}\text{Cu}_{3.4}\text{O}_7$  (Nd-123) tek kristal çekirdekler Şekil 3 (b) de ki gibi yerleştirildi. Sol tarafa konulan çekirdeğin a düzlemiyle sağ taraftaki çekirdeğin a düzlemi ve soldaki çekirdeğin b düzlemiyle sağdaki çekirdeğin b düzlemi paralel olarak yerleştirildi. Çekirdekler arası mesafeler  $d= 1, 4$  ve  $12$  mm olarak seçildi. Örnekler sırasıyla DS-1, DS-4 ve DS-12 olarak adlandırıldı.



**Şekil 3.** (a) Çift çekirdekli YBCO örneğinin şematik görünümü, (b) DS-12 örneğinin üst yüzeylerinin fotoğrafları.

Çift çekirdekli YBCO süperiletken örnekleri “Üstten-Çekirdeklenmiş-Eritme-Büyüme” (TSMG) yöntemi ile üretildi. Bu yöntemin seçilme nedeni; (RE)BCO süperiletkenlerinde (RE = La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb ve Y gibi nadir toprak metallere) yük taşıyıcıları sadece  $\text{CuO}_2$  içeren ab düzleminde bulunduğu için iki boyutlu anizotropi gösterirler. Sinterlenmiş örneklerin kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerleri, tane sınırlarında ki akım akışına zayıf bağlantılar oluşturma eğilimindedir. Bu sorunu aşmak için en çok tercih edilen üretim yöntemi TSMG dir. Bu yöntemde mikroyapı kontrolü yoluyla  $J_c$  iyileştirilir. Yöntemin diğer avantajları, nispeten kolay bir yöntem olması, hava atmosferinde uygulanabilir ve özel fırınların kullanımına gerek duyulmaması olarak sıralanabilir.



**Şekil 4.** Çoklu Çekirdeklerin (100) // (001) Yapıda Olduğu YBCO Süperiletken Peletlerinin Hazırlanışı. Isıl işlem sonrası  $d = 0, 1, 4$  ve  $12$  mm uzaklığındaki çoklu kristal yapıdaki YBCO süperiletkenlerin üst yüzeylerinin fotoğrafları.

### 2.1. Tuzaklanan Manyetik Alan Ölçümleri

Tuzaklanan manyetik alan ölçümleri, Tokyo Üniversitesi (TUAT) Uygulamalı Fizik Bölümü’nde, 5 T düşük sıcaklık süperiletken solenoid mıknatıs sistemi ile gerçekleştirildi (Şekil 6). Örnek yüzeyleri manyetizasyon ölçümlerinden önce zımparalanıp parlatıldı. Örnek yüzeyinin merkezine

ve merkezden 6 mm uzağa monte edilmiş iki Hall sensörü (Lakeshore, HGT-2101-10) kullanılarak ölçümler alındı. Deneylerin ilk adımında, soğutucu olarak sıvı azot (LN<sub>2</sub>) kullanıldı. Her numune, üst yüzeyine dik olarak uygulanan 1 T manyetik alan altında sıvı azotla 77 K sıcaklığına soğutuldu. Uygulanan manyetik alan 1 T' ye ayarlandı, burada örnek kademeli olarak süperiletken duruma soğutuldu. Alan süpürme hızı 0,02 A/s olarak seçildi. Örneğin sıvı azot sıcaklığına soğuduğundan emin olmak için 25 dak sıvı azot sıcaklığında tutuldu ve sonra uygulanan alan sıfıra indirildi. Her numunenin üst yüzeyindeki tuzaklanan manyetik alan, iki Lakeshore Hall sensörü (HGT-2101-10) kullanılarak ölçülmüştür. H1 ve H2 olarak adlandırılan iki Hall sensörü, yüzeyin merkezinden radyal yönde 0 ve 6 mm konumlarında üst yüzeyin ortasına yerleştirildi (Şekil 5).



**Şekil 5.** İki Lakeshore Hall sensörü (H1 ve H2) örnek yüzeyinin merkezinden radyal yönde 0 ve 6 mm konumlarında üst yüzeyin ortasına yerleştirildi.



**Şekil 6.** Tokyo Üniversitesi (TUAT) Uygulamalı Fizik Bölümü, 5 T düşük sıcaklık süperiletken solenoid mıknatıs sistemi.



### 3. Sonuçlar

Şekil 7, çift çekirdekli ve çekirdekler arası mesafenin  $d= 1, 4$  ve  $12$  mm olan YBCO örneklerinde  $77$  K sıcaklığında FC rejimi altında ölçülen tuzaklanan manyetik alan eğrilerini göstermektedir. Max. tuzaklanan alan değerleri DS-1, DS-4 ve DS-12 örneklerinde sırasıyla  $0.52$  T,  $0.39$  T ve  $0.47$  T olarak ölçüldü. Ölçüm sonuçları üç örnek içerisinde en yüksek manyetik alan tuzaklama yeteneğine sahip olan örneğin DS-1 olduğunu göstermektedir. Elde ettiğimiz bu sonuç literatürde çok çekirdekli YBCO örneklerinde çekirdekler arası mesafenin artmasıyla tuzaklanan manyetik alan azaldığını gösteren çalışmalar ile uyumludur [12-15]. Cardwell ve Lo yaptıkları çalışmada [16], Y123 tanecikleri çekirdek kristalinden dikdörtgen şekilli olarak büyük ve taneler arasında ince bir eriyik kanalı oluşturduğunu belirtmektedir. Kim ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tane sınırları etrafında CuO ve BaCuO<sub>2</sub> gibi artık eriyik fazların oluştuğunu çünkü soğutma sırasında peritektik eriyik Ba<sub>3</sub>Cu<sub>5</sub>O<sub>8</sub>'in ötektik eriyiğe ayrılarak tane bağlantı noktalarında manyetik özelliklerin azalmasına neden olduklarını vurgulamıştır [17, 18].

Çekirdekler arasındaki  $d$  mesafesinin artması örnekte büyüyen iki kristal arasındaki bölgelerde “artık eriyik fazların” oluşmasına neden olur. Tanecik eklemlerinde artık eriyik fazlarının varlığının, iki Y123 tanesinin zayıf bağlantısının başlıca nedeni olduğu söylenebilir. İki çekirdek çok yakın yerleştirildiğinde erime fazının çok az olduğu düşünülmektedir. Daha küçük  $d$  değerinde, eriyik fazın iki Y123 tanesi arasındaki boşluk alanına sıkışma olasılığı düşüktür. Sonuç olarak, iki çekirdek arası mesafe  $d = 1$  mm olduğunda, numune davranışı tek çekirdekli bir külçe süperiletken gibi olurken, çekirdekler arası  $d$  mesafesi arttıkça, süperiletken olmayan artık fazlar manyetik alan profilinin bozulmasına neden olur [19].

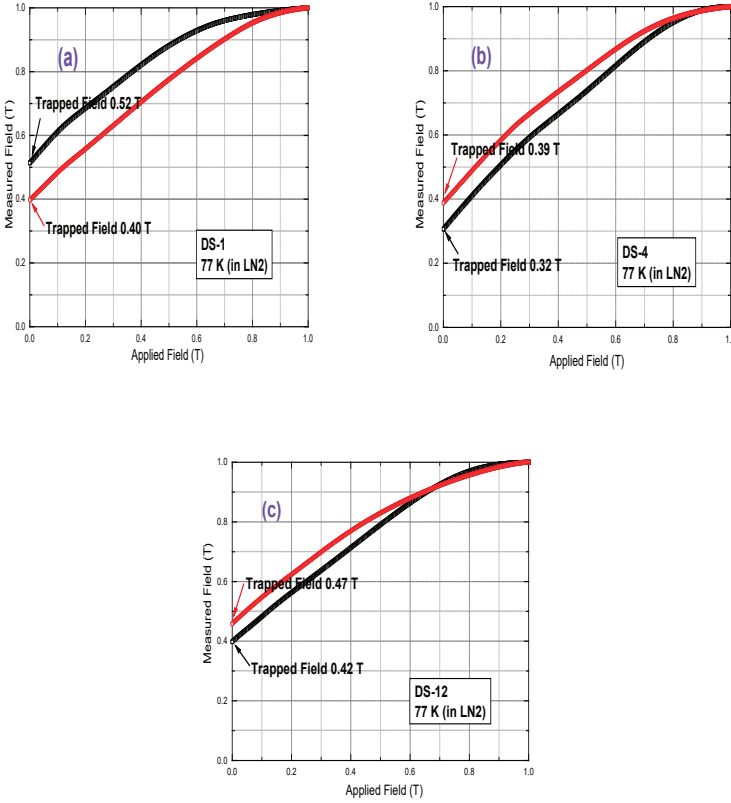
Şekil 8’ de DS-1 örneğinde tuzaklanan manyetik alanın sıcaklığa bağlılığı görülmektedir. Maksimum tuzaklanan alan değerleri  $77$  K de  $0.52$  T,  $60$  K de  $0.70$  T ve  $40$  K de  $1.6$  T olarak ölçülmüştür. Ölçüm sıcaklığı azaldıkça tuzaklanan manyetik alanın arttığı görülmektedir. Bean’in kritik durum modeline göre tuzaklanan manyetik alan, külçe süperiletkenlerde örneğin kritik akım yoğunluğuna ( $J_c$ ) bağlıdır.

Külçe süperiletkenlerde tuzaklanan manyetik alan:

$$B_{\text{trap}} = A\mu_o J_c R \quad (3)$$

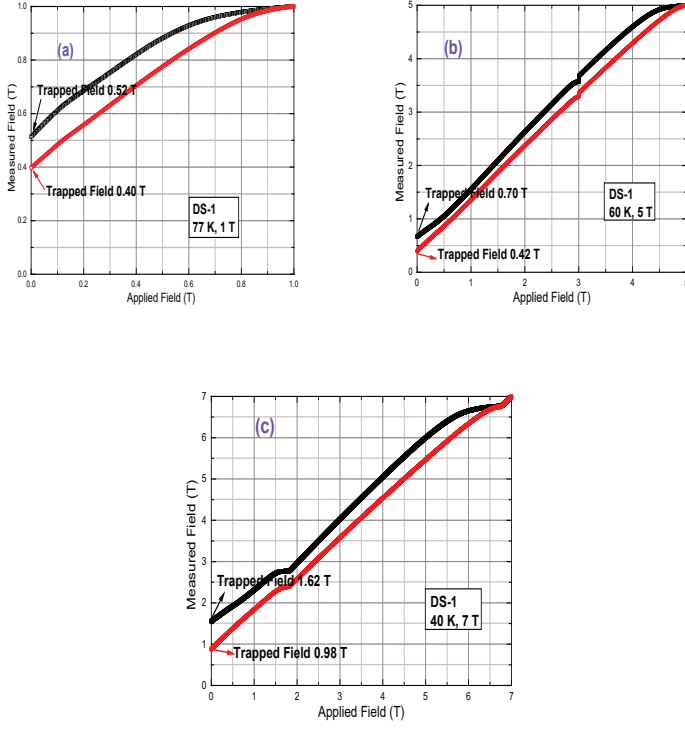
ile verilir. Burada  $A$  geometrik bir sabit,  $\mu_o$  boş uzayın geçirgenliği,  $J_c$  külçe süperiletkenin kritik akım yoğunluğu ve  $R$  süperiletkenin yarıçapıdır. Denklem 3, tuzaklanan manyetik alan ölçümlerinin koşullarına tam olarak karşılık gelen tamamen manyetize edilmiş, silindirik külçe süperiletkende tuzaklanan manyetik alan ile  $J_c$  arasındaki ilişkiyi tanımlamak için yaygın ve niteliksel bir eşitlik olarak kullanılır.

Bu çalışmada elde edilen tuzaklanan manyetik alan sonuçları büyük ölçekli HTS manyetik cihazlarında çok çekirdekli külçe süperiletken malzemelerin endüstriyel uygulamaları için bazı temel verileri destekleyecektir.



**Şekil 7.** Çift çekirdekli ve çekirdeklerin (100) // (010) yapıda olduğu YBCO süperiletken külçelerinde 77 K sıcaklığında alanlı soğutma rejimi altında ölçülen tuzaklanan manyetik alan eğrileri, (a) DS-1, (b) DS-4 ve (c) DS-12.





**Şekil 8.** Çift çekirdekli ve çekirdeklerin (100) // (010) yapıda olduğu DS-1 örneğinde farklı sıcaklıklarda tuzaklanan manyetik alan , (a) 77 K, (b) 60 K ve (c) 40 K.

## Kaynaklar

- [1] Patel, A., Baskys, A. 2018. “A trapped field of 17.7 T in a stack of high temperature superconducting tape”, *Supercond. Sci. Technol.*, 31, 09LT01.
- [2] Shi, Y., Dennis, A. R., Huang, K., Zhou, D., Durell J.H. and Cardwell, D.A. 2018. “Advantages of multi-seeded (RE)-Ba-Cu-O superconductors for magnetic levitation applications”, *Supercond. Sci. Technol.*, 31, 095008.
- [3] Hull, J., R. 2000. “Superconducting Bearings”, *Superconductor Science Technology*, 13, R1-R5.
- [4] Cansız, A. 2009. “Vertical, Radial and Drag Force Analysis of Superconducting Magnetic Bearings” *Superconductor Science Technology*, 22, 075003.
- [5] Yang, W., M., Zhou, L., Feng, Y., Zhang, P., X., Zhang, C., P., Nicolsky, R., Andrade J. R. 2002. “The Effect of Different Field Cooling Processes on The Levitation Force and Attractive Force of Single-Domain YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> Bulk”, *Superconductor Science and Technology*, 15, 1410-1414.
- [6] Patel, A., Palka, R., Glowacki, B. A. 2011. “New Fully Superconducting Bearing Concept Using the Difference in Irreversibility Field of Two Superconducting Components”, *Superconductor Science Technology*, 24, 015009.
- [7] Tomita, M., Murakami, M. 2003. “High- temperature superconductor bulk magnets that can trap magnetic fields of over 17 Tesla at 29 K.”, *Nature*, 421.
- [8] Sawh, R.P., Weinstein, R., Carpenter, K., Parks, D., Davey, K. “Production run of 2 cm diameter YBCO trapped field magnets with surface field 2 T at 77 K”, *Supercond. Sci. Technol.*, 26, 105014.
- [9] Nariki, S., Sakai, N., Murakami, M. 2005. “Melt-processed Gd-Ba-Cu-O superconductor with trapped field of 3 T at 77 K”, *Supercond. Sci. Technol.*, 18, S126.
- [10] Shi, Y. H., Nadendla H. B., Lida, K., Yeoh, W. K., Dennis, A. R., Pathak, S. K., Cardwell, D. A. 2010. *Physica C*, 470, 685–688.
- [11] Ogawa, K., Nakamura, T., Terada, Y., Kose, K. and Haishi, T. 2011. “Development of magnetic resonance microscope using a high T<sub>c</sub> bulk superconducting magnet”, *Appl. Phys. Lett.*, 98, 234101.
- [12] Wang, J., Wang, S., Zeng, Y., Huang, H., Luo, F., Xu, Z., Tang, Q., Lin, G., Zhang, C., Ren, Z., Zhao, G., Zhu, D., Wang, S., Jiang, H., Zhu, M., Deng, C., Hu, P., Li, C., Dong, X. 2002. “The First Man-Loading High Temperature Superconducting Maglev Test Vehicle in the World”, *Physica C*, 378–381, 809–814.
- [13] Parkinson, B. 2017. “Design considerations and experimental results for MRI systems using HTS magnets”, *Superconductor Science Technology*, 30, 014009.
- [14] Patel, A., Filar, K., Nizhankovskii, Hopkins, S. C., Glowacki, B. A. 2013.

“Trapped fields greater than 7 T in a 12 mm square stack of commercial high-temperature superconducting tape”, Applied Physics Letters 102, 102601.

- [15] Naito, T., Sasaki, T., Fujishiro, H. 2012. “Trapped magnetic field and vortex pinning properties of MgB<sub>2</sub> superconducting bulk fabricated by a capsule method” Supercond. Sci. Technol., 25, 095012.
- [16] W. Lo, D. A. Cardwell, D. D. Hughes, Applied Superconductivity, Inst. Phys. Conf. Ser. 148, Institute of Physics Publishing, Bristol, (1995) p.135.
- [17] Y. A. Jee, C-J. Kim, T-H. Sung and G-W. Hong, Top-seeded melt growth of Y-Ba-Cu-O superconductor with multiseeding, Supercond. Sci. Technol., 13 (2000) 195-201.
- [18] C. Kim, H. Kim, J. Joo, G. Hong, S. Han, Y. Han, T. Sung and S. Kim, Effects of the seed distance on the characteristics of the (100)/(100) junctions of top-seeded melt growth processed YBCO superconductors using two seeds, Physica C, 336 (2000) 233-238.
- [19] B. Savaskan, S. B. Guner, A. Yamamoto, K. Ozturk, “Trapped magnetic field and levitation force properties of multi-seeded YBCO superconductors with different seed distance.” Journal of Alloys and Compounds, vol. 829, pp. 154400, 2020.



## **BÖLÜM 12**

### **HİDROFOBİK/ SÜPER HİDROFOBİK NANO KAPLAMALAR VE SON ZAMANLARDAKİ UYGULAMALARI: KISA BİR DERLEME**

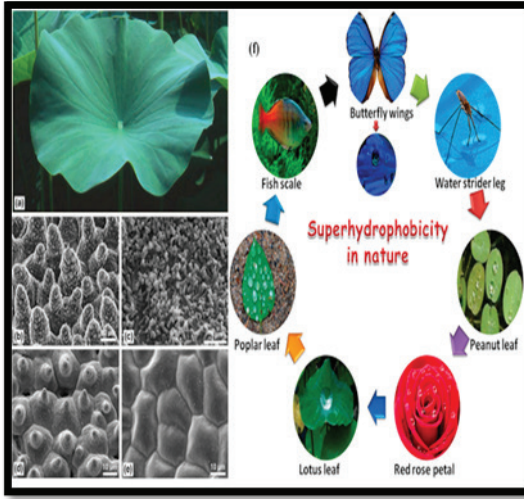
*Emine Gizem YILDIZ<sup>1</sup>, Yasemin YILDIZ<sup>2</sup>*

1 Emine Gizem Yıldız, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Sakarya, Turkey  
<https://orcid.org/0000-0002-7153-8970>

2 Sakarya Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sakarya, Turkey  
<https://orcid.org/0000-0003-2855-0496>

## 1.Giriş

Nano yapılı malzemeler, benzersiz özelliklerinden dolayı son zamanlarda dikkat çekici malzemelerdendir. Günümüzde nano tabanlı kaplamalar fonksiyonel akıllı malzemeler olarak kullanılmaktadır (Kumar vd., 2022). Nano teknoloji ve üretim yöntemlerinin ilerlemesi ile kaplamalar daha hafif, daha ucuz, daha dayanıklı ve daha çok yönlü hale gelmektedir (Verma vd., 2022). Literatüre göre, korozyon önleyici, aşınma önleyici, antibakteriyel, mantar önleyici, kendi kendini temizleyen, süper hidrofobik, güneşi yansıtan, fotokatalitik ve radar emici ve elektriksel olarak iletken polimerik uygulamalar için akıllı kaplamalar kullanılabilir (Kumar vd., 2022, Nguyen vd., 2019). Nano teknoloji ve süper hidrofobik yüzeylerin bir kombinasyonu ile, en az bir nano ölçekli ham madde içeren süper hidrofobik nano kaplamalar son zamanlarda büyük ilgi görmüştür (Wang vd., 2017). Doğal olarak elde edilen süper hidrofobik özelliğe sahip nilüfer yaprağı, kendi kendini temizleme, buzlanmayı önleme, buğulanmayı önleme, ıslanma önleyici ve kirlenme önleyici gibi özellikleri nedeniyle araştırmacılar tarafından büyük ilgi toplamıştır ve kaplamalarda potansiyel uygulama haline gelmiştir (Kumar vd., 2022, Nguyen vd., 2019).



Şekil 1. (a) nilüfer yaprakları tarafından gösterilen itici davranışın şematik gösterimleri, (b) iki oluk arasındaki üst yaprak tarafında epidermal hücrelerin (mikrometre boyutunda) varlığının SEM temsilleri çok küçük ve (c) mum tübüllerinin varlığı ( nanometre boyutunda) sırasıyla üst yaprak tarafında (f) doğadaki süper hidrofobikliğin şematik modeli (Kumar vd., 2022).

Süper hidrofobik kaplamalar üstün özellikleri nedeniyle biyoteknoloji, havacılık ve uzay, ve deniz mühendisliği vb. alanlarda kullanılmaktadır (Cao vd., 2022). Bu derleme, çeşitli alanlarda uygulanabilen süper hidro-

fobik kaplamaların ve yüzeylerin hazırlanması, özellikleri, karakterizasyonu ve uygulamalarındaki son gelişmelere ve bu konularda yazarların görüşlerine vurgu yapmaktadır. İslanabilirlik ve ilgili olaylarla ilgili birkaç temel husus da bildirilmekte ve tartışılmaktadır (Nguyen vd., 2019).

## 2. Hidrofobik/ Süper Hidrofobik Kaplamaların Özellikleri

Genel olarak, düşük yüzey enerjisi ve yüksek pürüzlülük gibi iki karakteristik özellik, çeşitli alt tabakaların yüzeyinde süper hidrofobik kaplamalar oluşturmak için oldukça önemlidir (Lipika & Singh, 2022). Katı bir yüzeyin su ve yağ iticiliğini iyileştirmek, yüzeylerin serbest yüzey enerjisi sergileyen kimyasal gruplarla değiştirilmesi ile mümkündür. Yaygın olarak kullanılan bazı gruplar için yüzey enerjisinin sırası  $-CF_3 < -CF_2 < -CH_3 < -CH_2$ 'dir; bu, florlu bileşiklerin kullanımının su ve yağ iticiliklerinin artırılması için faydalı olduğunu gösterir. Bugüne kadar bazı gruplar, üzerlerine trifluorometil ( $-CF_3$ ) gruplarının kaplanmasıyla yüzeylerin elde edilebileceğini göstermiştir. Bu kapsamda, düşük yüzey serbest enerjisi ile kimyasal bileşim ile pürüzlü bir yüzey değiştirilerek yapay su ve yağ iticilik elde edilebilir (Hsieh vd., 2009). Yüzey kimyası (belirli bileşenlerin varlığıyla yüzey enerjisini artırmak/azaltmak için) ve yüzey pürüzlülüğü, katı bir yüzeyin ıslatma özelliklerini tanımlayan iki temel karakteristik özelliktir (Lipika & Singh, 2022). Kayma açısı ise, bir sıvı damlasının eğimli bir katı yüzey üzerinde serbestçe yuvarlandığı minimum açıdır. Aynı zamanda bir malzeme yüzeyinin ıslanabilirliğini analiz etmek için önemli bir göstergedir. Temas açısı  $150^\circ$ 'den büyük ( $CA > 150$ ) ve kayma açısı  $10^\circ$ 'dan ( $SA < 10$ ) küçük olan bir malzeme süper hidrofobik olarak adlandırılabilir (Zhao vd., 2022). Süper hidrofobik katı yüzeyler üzerinde seçici sıvı itme kabiliyetine sahip olma eğilimindedir. Bilimsel olarak, katı yüzeylerin bu sıvı itme kabiliyeti temas açısı ( $\theta$ ) cinsinden ifade edilebilir. Örneğin, suya (akışkan olarak) göre belirli bir katı yüzey,  $\theta > 150^\circ$ ,  $> 90^\circ$  ve  $< 90^\circ$  aralığındaki su temas açısı değerine göre sırasıyla süper hidrofobik, hidrofobik ve hidrofilik olarak adlandırılacaktır. Ayrıca teorik olarak ıslanma davranışı aşağıdaki Cassie denklemi ile anlaşılabilir (Singh ve Singh, 2017):

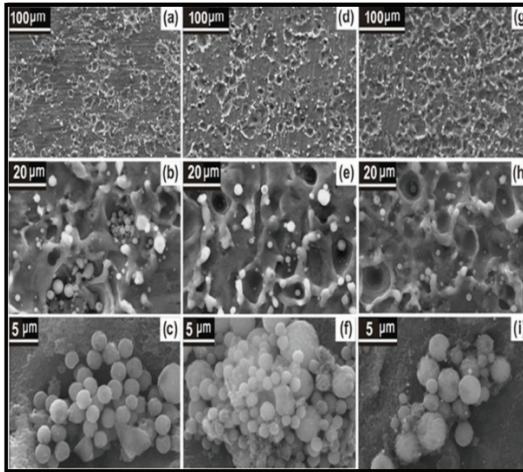
$$\cos \theta_c = r f \cos \theta + f - 1 \quad (1)$$

burada  $r$ , sıvı-katı arayüzünün pürüzlülüğüdür,  $\theta_c$  ölçülen temas açılarıdır,  $\theta$  yerel temas açısını temsil eder ve  $f$ , sıvı-katı arayüzünün alan kesirleridir.  $\theta_c$  değeri hem alan kesirlerine hem de yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır (Lipika & Singh, 2022).

## 3. Hidrofobik/ Süper hidrofobik nano kaplamalar ve son zamanlardaki uygulamaları

Süper hidrofobik malzemeler oluşturmak için iki genel kural, kimya-

sal bileşimi uyarlamak ve yüzeyde pürüzlülük yaratmaktır (Nguyen vd., 2019). Süper hidrofobik nano kaplamaları imal etmek için sol-jel, daldırma kaplama, püskürtme kaplama, buhar biriktirme yöntemi, elektrospun yöntemi, spin kaplama, lazer dağlama yöntemi gibi birçok yaklaşım denenmiştir (Wang vd., 2017, Lipika & Singh, 2022). Kimyasal yapıya dayalı hazırlama yöntemleri sol-jel, kimyasal dağlama, daldırma kaplama ve kimyasal biriktirmedir. Yüzey pürüzlülüğünü artırma yöntemleri fiziksel aşındırma ve elektriksel biriktirmedir (Nguyen vd., 2019). Her yıl indeksli dergilerde çeşitli yöntemlerle hazırlanan süper hidrofobik malzemeler ile ilgili çok sayıda makale yayınlanmaktadır (Kumar vd., 2022). Bu çalışmalardan biri olan Eskandari vd. (2020) alüminyum yüzeyleri altın nano tabakalar ile kaplayarak süper hidrofobik yüzey elde etmiştir. Alüminyum yüzeyindeki farklı kalınlıklardaki altın nano tabakaların ıslatma özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma ile diğer araştırmalar arasındaki temel fark, darbeli lazer ablasyonu yerine süper hidrofobik bir yüzeyin üretimi için sürekli dalga lazer ablasyonunun kullanılmasıdır. 100 Pa vakum basıncı veya 40 mA akım altında alüminyum üzerine 15 nm veya 40 nm kalınlığındaki altın (safılık %99,999) kaplamasının ince tabakaları birikimi magnetron püskürtme ile gerçekleştirilmiştir. Sürekli dalga lazer kullanılarak lazer tarama işlemi ortam koşullarında etanol içinde yapılmıştır. Altın nano film ile kaplanmış alüminyum (Al 1050) plakalar üzerinde süper hidrofobik bir yüzey elde etmek için dalga boyu  $\lambda = 1064$  nm, lazer çıkış gücü 40 W ve spot boyutu yaklaşık 40  $\mu\text{m}$  olan bir sürekli dalga fiber lazer uygulanmıştır.

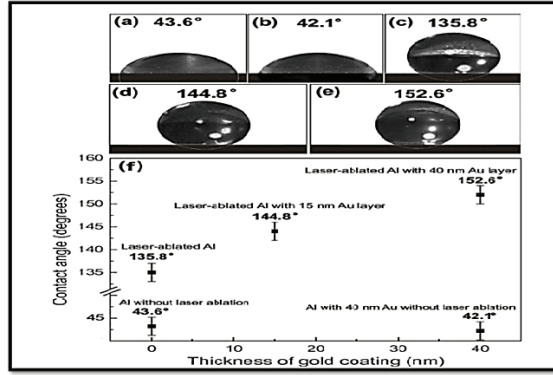


Şekil 2. (a), (b), (c) Al yüzeyi, (d), (e), (f) 15 nm Au tabakası ile kaplanmış Al yüzeyi, (g), (h), (i) 40 nm Au tabakası ile kaplanmış Al yüzeyinin SEM görüntüleri (Eskandari vd., 2020).



Erimiş metal parçacıklarının sıçraması ve katılmış plazma buharlarının yayılması nedeniyle numune yüzeyinde çok sayıda mikro/nanopartikül oluşmuştur.

Mikrodeliklerin oluşumu, lazer ışınlanması sırasında eriyik püskürmesine atfedilmektedir. Au tabakasının kalınlığı 40 nm'ye arttığında, partikül boyutunda azalma, yüzeyde çukurlar ve kenarlar gibi önemli yapısal değişimlerin görüldüğü ifade edilmiştir (Şekil 2). Sentezlenen  $Al_2O_3$  ve Au nano parçacıklarının baskın şekilleri sırasıyla küresel ve küresele yakındır. Au ve  $Al_2O_3$ 'ün ortalama nanopartikül boyutu sırasıyla yaklaşık 18 ve 45 nm'dir. Bu nanopartiküller yüzeye yayılmıştır ve yüzey ıslatma özelliklerini belirlemede etkili faktörlerdir.

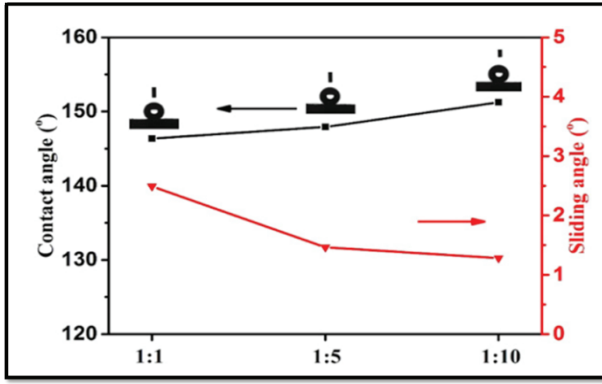


Şekil 3. (a) ablasyon öncesi ilk Al yüzeyinde, (b) Au tabakası olmayan etanolde lazerle ablasyona tabi tutulmuş Al, (c) 15 nm ile etanolde lazerle ablasyona tabi tutulmuş Al, (d) 40 nm Au tabakası ve (e) Au tabakasının kalınlığının fonksiyonu olarak statik temas açısı (Eskandari vd., 2020).

Al substrat üzerindeki çeşitli kalınlıktaki Au nano tabakalarının ıslatma özellikleri, 5 µl'lik bir su damlası boyutu ile statik sabit damla temas açısı testleri ile ölçülmüştür. Ablasyondan önce Al'nin ilk yüzeyi, ortalama su temas açısı  $43 \pm 2^\circ$  olan bir referans numune olarak seçilmiştir. Lazer işleme olmadan 40 nm Au kaplamalı Al temas açısı  $42 \pm 2^\circ$  idi. Lazer işleme altında 40 nm Au kaplamalı numuneye ait maksimum temas açısı yaklaşık  $152 \pm 2^\circ$  dir (Şekil 3). Au tabakasının kalınlığı arttığında, su temas açısının da önemli ölçüde arttığı gösterilmiştir. Statik temas açısındaki bu varyasyonlar, Au tabakasının numune yüzeyi ile lazer etkileşimindeki etkisini açıkça göstermektedir (Eskandari vd., 2020).

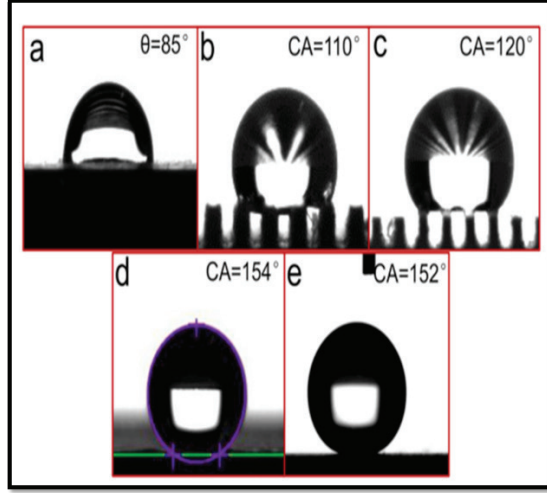
Wang vd. (2017), bir vakum soğuk sprey prosesi ile süper hidrofobik nano kaplama üretmişlerdir. Çalışma nano kaplama oleik asit (OA)- modifiye  $TiO_2$  nanoparçacıkları kullanarak yapılmıştır. Nano kaplamaların ıslanma davranışları ve mekanik dayanıklılığı incelenmiştir.  $TiO_2$  nano parçacıkları önce sol-jel yöntemiyle sentezlenmiş, ardından oleik asit ile yüzey modifiye edilerek  $TiO_2$ -OA nano kompozit tozu elde edilmiştir. Bu

çalışmada altlık olarak alüminyum plakalar (20mmx20mm) kullanılmıştır.  $TiO_2$ -OA nano kompozit tozu, oda sıcaklığında vakum soğuk sprey kaplama tekniği ile Al plakalar üzerinde biriktirilmiştir. Püskürtme parametreleri; akış hızı 6 L/dk, tarama hızı 10 mm/sn ve püskürtme mesafesi 10 mm'dir. Taşıyıcı gaz olarak helyum gazı kullanılmıştır. Wang vd., (2017), çalışmalarında genel olarak,  $TiO_2$ -OA kaplamalarının temas açısı 150°'ye yakındır ve kayma açıları 5°'den küçüktür. Süper hidrofobik performans gösteren numune 151.2°'lik bir temas açısına ve 1.2°'lik kayma açısına sahip olan 1:10 oranındaki numune olmuştur (Şekil 4). Ayrıca  $Al_2O_3$  zımpara kağıdı kullanılarak gerçekleştirilen aşınma testleri sonunda süper hidrofobikliğin korunduğunu görülmüştür. Bu durum, nanokaplamanın substrat üzerinde uygun mekanik stabilite ve yapışmaya sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 4. Başlangıç  $TiO_2$ -OA tozunda farklı OA ile  $TiO_2$  molar oranlarına sahip  $TiO_2$ -OA kaplamaların statik su temas açıları ve kayma açıları (Wang vd., 2017).

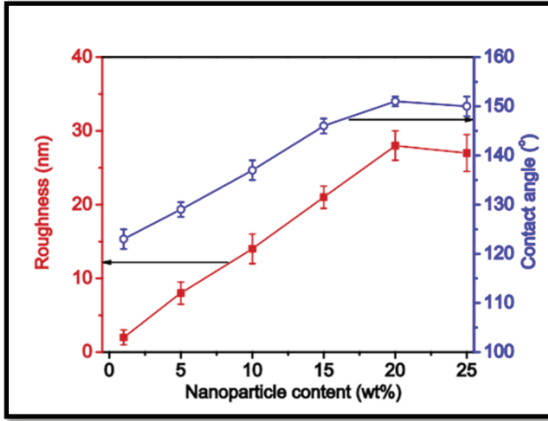
Cao vd. (2022), süper hidrofobik yüzey elde etmek için nano kaplanmış bir mikro yapı yüzeyi (NMS) oluşturmuştur. İki proses teknolojisini birleştirmişlerdir. Sağlam bir süper hidrofobik yüzey elde etmek için nano kaplamalarla kaplanmış dikdörtgen oluklu bir mikro yapı üretmişlerdir. 6061 alüminyum alaşımlı bir yüzey (20 mm x 20 mm) üzerinde dikdörtgen mikro oluklar bir tel elektrik deşarj makinesi ile işlenmiştir. Üretildikten sonra kaplanabilir bir mikro yapı elde etmek için ultrasonik temizleyicide yıkanmış ve ardından havada kurutulmuştur. Nano kaplamalar, inorganik nano malzemeler (silis dioksit) ve siloksan oligomerlerinin 10:4 kalite oranında karıştırılmasıyla yapılmıştır. Nano kaplamalar mikro yapılı alüminyum alaşım yüzeyine püskürtme tabancası ile püskürtülmüştür.



Şekil 5. (a) Düzgün alüminyum alaşım üzerinde su damlası; (b, c) Tel kesmeden sonra alüminyum alaşımının yüzey oluşu A ve B üzerindeki damlacık temas açısı; (d) NMS üzerindeki damlacık temas açısı; (e) Nano kaplamalı alüminyum alaşımı üzerindeki damlacıkların temas açısı (Cao vd., 2022).

Nano kaplama ile Şekil 5 (d) ve (e)'de gösterildiği gibi temas açıları sırasıyla  $154^\circ$  ve  $152^\circ$  dir. İki temas açısı çok yakındır. Ayrıca onlar elde ettikleri süper hidrofobik yüzeyin  $-5^\circ\text{C}$  ila  $20^\circ\text{C}$  aralığında düşük bir kayma açısına sahip olduğunu ve bunun da su damlacıklarının yüzeyde donmasını önlediğini belirtmişlerdir. Ek olarak, elde edilen NMS kendi kendini temizleme özelliği sergilemiştir (Cao vd., 2022).

Hooda vd. (2017)'in çalışması ise kolay, düşük maliyetli, modifiye edilmiş bir sol-jel yöntemi ile oldukça şeffaf ve süper hidrofobik Polistiren/ZnO kaplama üretmeyi amaçlamıştır. ZnO nano parçacıkları sol-jel yolu ile sentezlemişlerdir. Nano parçacıklar kloro-trimetil silan (TMCS) ve merkaptopropil-trimetoksi silan (MPMS) ile işlevselleştirilmiştir. Nano parçacık içeriği ağırlıkça %20'nin üzerine çıktığında temas açısında artış görülmüştür. Bu artış, nano parçacık içeriğinin artışı ile kaplamanın yüzey pürüzlülüğündeki artışı ifade etmiştir.



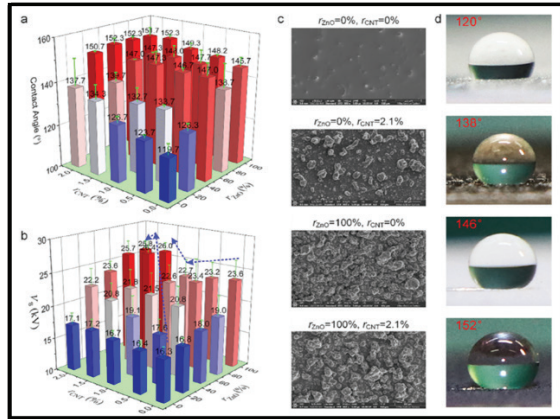
Şekil 6. Nano parçacık konsantrasyonuna göre pürüzlülük ve temas açısının değişimi (Hooda vd., 2017).

28 nm ortalama pürüzlülüğe sahip ve  $>150^\circ$  yüksek temas açısına sahip şeffaf süper hidrofobik polistiren/ZnO nano kaplama, modifiye kolay sol-jel yolu ile başarıyla sentezlenmişlerdir. Nano kaplama için çıplak camın geçirgenliğine yakın şeffaflık elde edilmiştir. Bu nedenle, bildirilen yöntem, çeşitli endüstriyel uygulamalar için şeffaf ve süper hidrofobik yüzeyler geliştirmek için aşırı bir potansiyele sahiptir (Hooda vd., 2017). Literatürde ölçeklenebilir bir üretim prosesi kullanılarak cam substratlar üzerinde kendi kendini temizleyen bir hidrofobik nano kaplama (SCHN) oluşturan çalışmalarda mevcuttur (Maharjan vd., 2020). İşlemi, mikroskobik kıvrımlı oluklar oluşturan elmas mikro/nano-parçacık aşındırıcılar kullanılarak düzlemsel cam yüzeylerin pürüzlendirilmesiyle başlatmışlardır. Alt tabakaları temizledikten sonra, pürüzlü yüzey, kontrollü nem ile muhafaza altında trikloro perflorooktil silan (TCPFOS) ile buhar biriktirilmiştir. TCPFOS, kovalent bağ yoluyla substrata kimyasal olarak bağlanmıştır. Çalışmada, toz parçacıkları ile kaplanmış alt tabaka yüzeyi arasındaki yapışmanın da azaldığı, böylece parçacıkların bir su damlacığının hareketi ile kolayca yıkandığı görülmüştür. Kirin kendi kendini temizleyen yüzeye yapışmasının azalması nedeniyle, kir parçacıkları kayan veya yuvarlanan su damlacıkları ile yıkılmıştır. Cam için sağlam ve şeffaf kendi kendini temizleyen hidrofobik kaplamanın büyük ölçekli üretimi için basit ve kolay bir işlemi başarıyla gerçekleştirmişlerdir (Maharjan vd., 2020).

Xi vd. (2020) daldırma yöntemini kullanarak nano kaplama gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında bağlayıcı olarak asit katalizli silika soldan (ACSS) ve yapı bloğu olarak hidrofobik silika nano parçacıklardan (HSN'ler) oluşan karışık bir süspansiyonu herhangi bir son işlem olmadan cam substrat üzerine daldırma yöntemiyle çok işlevli bir nano kaplamayı üretmişlerdir. Elde

edilen nano kaplamanın çok daha fazla geçirgenlik, süper hidrofobik kendi kendini temizleme davranışı, yüksek mekanik sağlamlık, yapışma, hava koşullarına dayanıklılık, asidik (pH 5.0)/alkali (pH 10.0) ve termal (250° C) stabiliteye sahip olduğunu ifade etmişlerdir (Xi vd., 2020).

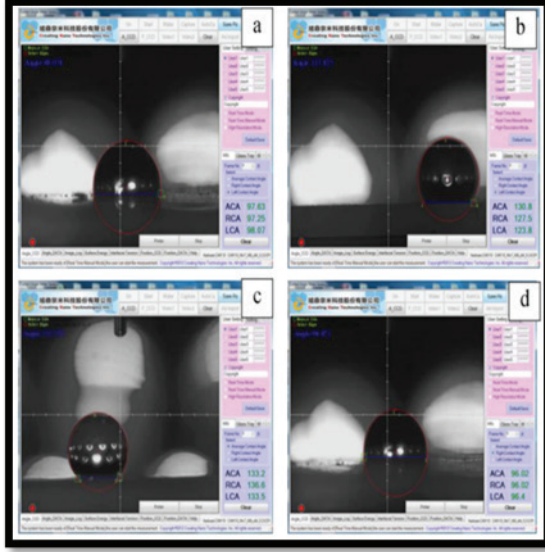
Zhu vd. (2021) bir poli(dimetilsiloksan) (PDMS) elastomer çözeltisi içinde dağılmış ZnO parçacıklarının ve çok duvarlı karbon nanotüplerin (MWCNT) spreyle kaplanmasıyla “bağlayıcı polimer + nano dolgu maddeleri” tabanlı çok işlevli nano kaplama üretmişlerdir. Çalışmalarında matris olarak PDMS seçilmiştir. Ortalama çapı 20 nm olan ZnO partikülleri ve 0,5–2 µm uzunluğunda ve 20–30 nm çapında hidroksilleyici çok katmanlı karbon nanotüpleri (MWCNT) kullanılmıştır. PDMS ön polimeri, homojen bir çözelti oluşturmak için oda sıcaklığında n-hekzan içinde çözdürülmüştür. Ardından karıştırma ve sonikasyon yoluyla belirli miktarda nano dolgu maddesinin (ZnO partikülleri ve MWCNT’ler) dağıtılması izlenmiştir. Çözeltiye PDMS için sertleştirici ajan ilave edilmiştir. Ön çözelti, seçilen alt tabakalar (epoksi, silikon kauçuk, naylon, polimetil metakrilat, politetrafloetilen ve yalıtım kağıdı) üzerine, alt tabakaların yüzeylerinin yapışma gücünü artırmak için aşındırıcı kağıt ile ön işleme tabi tutulduğu spreyle kaplama yöntemiyle kaplanmıştır (Zhu vd., 2021).



Şekil 7. (a) Sistematik olarak değişen konsantrasyonlarda ZnO ve MWCNT dolgu maddeleri içeren kaplama filminin temas açıları ve (b) parlama voltajları. (c) SEM görüntüleri ve (d) dört farklı ZnO ve MWCNT bileşimine sahip kaplama filmlerinin su damlacıklarını gösteren optik fotoğraflar (Zhu vd., 2021).

ZnO ve MWCNT içerikleri dolgunsuz kaplama filmi nano kaplama için daha büyük temas açısı değerlerine sebep olmuştur. ZnO ve MWCNT'nin aynı anda eklenmesiyle, temas açısı 152°'ye yükseltilmiştir, bu da numune yüzeyinin hidrofobikten süper hidrofobiğe dönüştürdüklerini göstermiştir (Zhu vd., 2021).

Jasim vd., (2022), gerçekleştirdiği araştırmada doğal veya endüstriyel; yüksek gerilim iletim hatlarında cam izolatör yüzeyine hidrofobik kaplama uygulanarak kirletici birikimini azaltmayı amaç edinmişlerdir. Hidrofobik kaplamada kullanılan silika nano partiküller, kısmen modifiye edilmiş bir sol-jel tekniği kullanılarak yapılmıştır (Jasim vd., 2022).



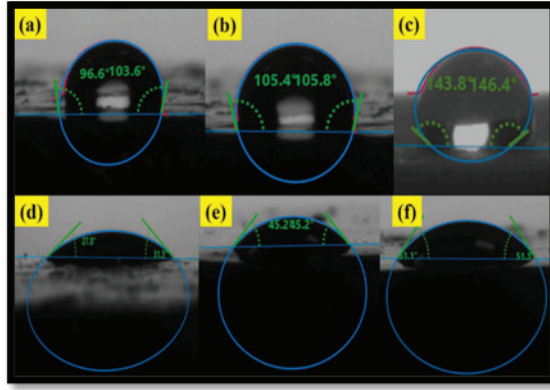
Şekil 8. (a) %0 nano silikalı silikon kauçuk; (b) %23 nano silikalı silikon kauçuk; (c) %33 nano silikalı silikon kauçuk; ve (d) %44 nano silikalı silikon kauçuk (Jasim vd., 2022).

Şekil 8'de gösterildiği gibi numunelerin temas açıları incelenmiştir ve sırasıyla 98°, 123°, 133°, 96° elde edilmiştir. Nano-silika ve polimerik malzeme arasındaki bağ, yüksek yapışma ve yüzey homojenliği olan bir yüzeyin üretilmesine açıkça katkıda bulunmuştur. Silikon kauçuk/nano-silika kompozit ile bu kaplama işlemi, elektrik hatlarının temizlik maliyetini düşürmenin ve elektrik kesintilerini azaltmanın yolunu açabileceği iddia edilmiştir (Jasim vd., 2022).

Verma vd. (2022), silika /titanium dioksit çekirdek-kabuk parçacıkları ile yüksek verimli ve uygun maliyetli çok işlevli nano kaplama geliştirmişlerdir. Düşük mekanik stabiliteye sahip korozyona dayanıklı süper hidrofobik yüzey için uzun vadeli kimyasal stabilite gibi daha önce geliştirilmiş çok işlevli kaplamalarla ilgili bazı sorunlar mevcuttur. Bu sorunları çözmek için, çeliği korozyon, erozyon, çizik, mikrobiyal yan etkileri süper hidrofobiklikle önlemek için  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  çekirdek-kabuk nano parçacıklarını başarıyla geliştirmişlerdir. Sol-jel prosesi ile  $\text{SiO}_2$  nano parçacıkları sentezlenmiştir. Silika-titanyum çekirdek-kabuk nano parçacıklarının sentezi için peptizasyon süreci izlenmiştir. Çekirdek kabuğun hazırlanması için bir öncü olarak titanyum tetra-izopropoksit kullanılmış ve sol-jel işlemi

ile hazırlanmış silika nano parçacık varlığında karıştırma koşulu altında distile suya eklenmiştir. Solüsyona %70 nitrik asit ilave edilmiştir ve 4 saat 70°C'de karıştırılmıştır. Bu materyalin tamamı 10-15 dakika santrifüj edildikten sonra 70 °C'de gece boyunca kurutulmuştur. Poliüretan (PU) kaplama formülasyonları, sonikasyon altında PU bağlayıcı, tiner ve nano partiküllerin karıştırılmasıyla geliştirilmiştir.

Sıvı kaplama formülasyonunda işlevselleştirilmiş nano parçacıkların yüzdesi %1-6 (ağırlıkça) arasında değişmiştir. Nano partikül yüzdesini aynı seviyede tutarak silika ile ayrı kaplama formülasyonları geliştirilmiştir. Bu kaplama formülasyonları, yumuşak çelik yüzeylere (2 x 2 cm) boya fırçası kullanılarak uygulanmış ve 100 °C'de bir fırında 15 dakika kurutulmuştur (Verma vd., 2022).



Şekil 9. Su ile temas açısı ölçümü (a) PU kaplama (b) PUSiO<sub>2</sub> nano kaplama (c) PU-CS nano kaplama, Yağ ile temas açısı ölçümü (d) PU kaplama (e) PU-SiO<sub>2</sub> nano kaplama (f) PU-CS nano kaplama (Verma vd., 2022).

Kaplanmış yumuşak çeliğin ıslanabilirliği, PU kaplamada %1-6 (ağırlıkça) nano parçacık konsantrasyonunda kolza yağı ile su temas açısı (WCA) ve yağ temas açısı (OCA) ile karakterize edilmiş ve en iyi sonuç, %4 (ağırlıkça) çekirdek-kabuk nano parçacıklarında gözlemlenmiştir. PU kaplı yüzey ve PU-SiO<sub>2</sub> nano kaplama hidrofobik bir yapı göstermiş ve 96.6 ± 2° ve 105.4 ± 2°'ye kadar maksimum su temas açısı elde edilmiştir. Yumuşak çelik altlık üzerindeki poliüretan kaplamaya işlevselleştirilmiş nano çekirdek kabuğunun eklenmesinden sonra, WCA 143.8° ± 2°'e geliştirilmiş ve süper hidrofobik yüzey oluşturulmuştur. Kaplanmış yüzeyler sadece süper hidrofobik değil, aynı zamanda kolza tohumu yağı ile test edilen 51.1° ± 2° OCA ile oleofilik özellikler de göstermiştir. Bu nano çekirdek-kabuk bazlı PU kaplama yüzeylerinin süper hidrofobik ve oleofilik özellikleri, kaplamanın kendi kendini temizleme ve yağ/su ayırma uygulamaları için faydalı olabileceğini düşündürmüştür (Verma vd., 2022).



Bhatt vd. (2021), optik uygulamalar için yapışkan şeffaf süper hidrofobik kaplama hazırlamışlardır. Burada hazırlanan kaplamanın yapışkanlığını ve dayanıklılığını arttırmak için polistiren kullanılmıştır. Silan kullanmanın temel amacı yüzeyde nano yapı geliştirmektir. Baz katalizli sol, tetraetilortosilikat (TEOS), çözücü olarak etil alkol ve amonyak çözeltilisi alınarak hazırlanmıştır. Çözelti hidroliz için dört gün tutulmuştur ve dört gün beklettikten sonra farklı varyasyonlar hazırlanmıştır. Solun hidrofobikliğini arttırmak için heksametildisilazan (HMDS) ve kaplama stabilitesini arttırmak için polistiren eklenmiştir. Hazırlanan sollar BS1, BS2, BS3, reaksiyonu tamamlamak için tekrar dört gün tutulmuştur. Cam substrat üzerinde sol kaplama ilk olarak cam slaytlar etanol solüsyonunda 1 saat ultrasonik olarak temizlendikten sonra etüvde kurutulmuştur. Hazırlanan sollar, önceden temizlenmiş soda-kireç cam alt-tabakası üzerine döndürülerek kaplama ile kaplanmıştır. Daha sonra kaplanmış yüzeyler BS1, BS2 ve BS3, kürtleme, solventin buharlaşması ve kaplamanın katılaştırılması için 300°C’de bir saat tavlannmıştır. Çalışmanın sonuçlarından da HMDS kullanıldığında hidrofobikliğin arttırıldığı görülmüştür (Bhatt vd., 2021).

Tüm bu çalışmalar, “hidrofobik/ süper hidrofobik nano kaplama” konusuyla ilgili araştırma ve geliştirme ile pratik uygulamalar ve temel araştırma açısından daha birçok potansiyel uygulamanın keşfedilebileceğini göstermiştir.

#### 4. Sonuç

Doğadan ilham alınarak hazırlanan süper hidrofobik nano kaplamalar araştırmacılar tarafından son zamanlarda büyük ilgi görmektedir. Sol-jel, daldırma kaplama, püskürtme kaplama, buhar biriktirme yöntemi, elektrospun yöntemi, spin kaplama, lazer dağlama yöntemi gibi yöntemler kullanılarak üretilen nano kaplamalar optik, tekstil, deniz mühendisliği, uzay ve havacılık, biyoteknoloji gibi alanlarda kullanımı giderek artmaktadır.

Bu gözden geçirme, süper hidrofobik nano kaplamalarla ilgili literatüre genel bir bakış sağlamıştır. İslanabilirlik, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey enerjisi olaylarının temel yönlerini tartışıldı. Daha sonra süper hidrofobik kaplamaların hazırlanma yöntemleri ve temel uygulama alanları hakkında araştırmacıların çalışmaları ayrıntılı bir şekilde sunulmaktadır. Aynı zamanda aşındırma yöntemindeki bazı yeni gelişmeler de tartışılmaktadır.

Genel olarak, incelemede aşağıdaki bulgular çıkarılmıştır:

- Süper hidrofobik bir yüzey elde etmek için yüzeyin pürüzlülüğü önemli bir rol oynar. Yüzey pürüzlülüğünü azaltarak, yüzeyin süper hidrofobiklik özelliği geliştirilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü ve su damlacıklarının yüzeye az teması süper



hidrofobik yapıya yol açar.

- Düşük yüzey enerjili malzemelerle modifiye edilmiş çeşitli nanopartiküller kullanılarak süper hidrofobik nano kaplamaların üretilmesi için yeni bir yol sağlayabilir.

- Hidrofobik/Süper hidrofobik kaplamalar ile aşınmaya, korozyona, sıcaklığa ve UV'ye dirençli aynı zamanda antibakteriyel, şeffaflık, kendi kendini temizleme, buzlanma önleyici gibi özelliklere sahip yapılar elde edilebilir.

- Süper hidrofobik nano kaplamalar süper su itici özelliklerinden dolayı yalıtkan ve yalıtkan örtü yüzeylerinde kullanılabilir.

Gelecekte nano kaplamaların geniş bir ölçekte kullanılabilmesi için çevre dostu malzemeler ve yöntemler ağırlık vererek çalışmaların yürütülmesi beklenmektedir.

## REFERANSLAR

- Bhatt, N., Mishra, A., Goswami, R., & Bhardwaj, C. K. (2021). Preparation of Poly styrene coated nano silica superhydrophobic coating and evaluation of stability for optical purposes. *Materials Today:Proceedings*.<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.321>.
- Cao, D., Ji, S., Zhao, J., Dai, H. , & Liu, Z. (2022). Design and superhydrophobic performance analysis of the rectangular-groove microstructure coated by nanocoatings. *Materials Chemistry and Physics*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126539> .
- Eskandari, J., M., Shafyei, A., & Karimzadeh, F. (2020). Investigation of wetting properties of gold nanolayer coated aluminum surfaces textured with continuous-wave fiber laser ablation. *Thin Solid Films*, 711. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2020.138278> .
- Hooda, A., Goyat, M. S., Gupta, R., Prateek, M., Agrawal, M., & Biswas, A. (2017). Synthesis of nano-textured polystyrene/ZnO coatings with excellent transparency and superhydrophobicity. *Materials Chemistry and Physics*, 193, 447–452. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.03.011>.
- Hsieh, C.-T., Wu, F.-L., & Chen, W.-Y. (2009). Super water- and oil-repellencies from silica-based nanocoatings. *Surface & Coatings Technology*, 203(22), 3377–3384. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.04.025>.
- Jasim, A. F., Abed, M. S., & Abbas, K. K. (2022). Reducing failure in power transition lines using a novel nano silica/silicone rubber hydrophobic coating of glass insulator. *Materials Today: Proceedings*, 56(Part 5), 2525–2531. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.346>.
- Kumar, A., S. S., Bashir, S., Ramesh, K., & Ramesh, S. (2022). A comprehensive review: Super hydrophobic graphene nanocomposite coatings for underwater and wet applications to enhance corrosion resistance. *FlatChem*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.flatc.2021.10032> .
- Lipika, & Singh, A. K. (2022). Polydimethylsiloxane based sustainable hydrophobic/oleophilic coatings for oil/water separation: A review. *Cleaner Materials*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100136>.
- Maharjan, S., Liao, K.-S., Wang, A. J., Barton, K., Haldar, A., Alley, N. J., Byrne, H. J., & Curran, S. A. (2020). Self-cleaning hydrophobic nanocoating on glass: A scalable manufacturing process. *Materials Chemistry and Physics*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122000>.
- Nguyen-Tri, P., Tran, H. N., Plamondon, C. O., Tuduri, L., Vo, D.-V. N., Nanda, S., Mishra, A., Chao, H.-P., & Bajpai, A. K. (2019). Recent progress in the preparation, properties and applications of superhydrophobic nano-based coatings and surfaces: A review. *Progress in Organic Coatings*, 132, 235–256. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.03.042>.
- Verma, J., Gupta, A., & Kumar, D. (2022). Steel protection by SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> core-shell based hybrid nanocoating. *Progress in Organic Coatings*, 163.

<https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106661>.

- Wang, Z., Chen, X., Gong, Y., Zhang, B., & Li, H. (2017). Superhydrophobic nanocoatings prepared by a novel vacuum cold spray process. *Surface & Coatings Technology*, 325, 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.06.044> .
- Xi, R., Wang, Y., Li, X., Zhang, X., & Du, X. (2020). A facile strategy to form three-dimensional network structure for mechanically robust superhydrophobic nanocoatings with enhanced transmittance. *Journal of Colloid And Interface Science*, 563,42-53. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.12.049>.
- Zhao, J., Gao, X., Chen, S., Lin, H., Li, Z., & Lin, X. (2022). Hydrophobic or superhydrophobic modification of cement-based materials: A systematic review. *Composites Part B*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.110104>.
- Zhu, M.-X., Song, H.-G., Li, J.-C., Xue, J.-Y., Yu, Q.-C., Chen, J.-M., & Zhang, G.-J. (2021). Superhydrophobic and high-flashover-strength coating for HVDC insulating system. *Chemical Engineering Journal*, 404. <https://doi.org/10.1016/j.ccej.2020.126476>.



## **BÖLÜM 13**

### **AKILLI ŞEHİR ÇALIŞMALARI KAPSAMINDA TARİHİ HAMAMÖNÜ EVİNİN ÜÇ BOYUTLU MODELLENEREK WEB ORTAMINDA SUNULMASI<sup>1</sup>**

*Zeynep Nur DERELİOĞLU<sup>2</sup>, Cevdet Coşkun AYDIN<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Bu çalışma tezden üretilmiştir.

<sup>2</sup> Avrasya Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Programı, Trabzon, Türkiye zeynepnur.kavuran@avrasya.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-2831-1225

<sup>3</sup> Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye ceaydin@hacettepe.edu.tr Orcid No: 0000-0003-2064-6936

## 1. Giriş

Geçmişten günümüze yeryüzünde yaşayan insanların bıraktığı kültür mirası önemli miraslardan birisidir. Bu mirasın sonraki nesillere ulaşması için aslına uygun şekilde korunması gerekmektedir. Bu yüzden sahip olunan mirasın herkese tanıtılması, bu mirasa sahip çıkanlar için önem arz etmektedir. Bu konuda ülkemizde son zamanlarda yapılan çalışmalar az iken, günümüzde koruma, yenileme ve tanıtım çalışmaları hızla artış göstermektedir.

İnsanın yaratıldığı zamandan beri onlara ev sahipliği yapan yeryüzü, aynı zamanda onların oluşturduğu eserleri de barındırmaktadır. Bu eserlerin en kalıcı olanları da köprüler, binalar, camiler vb. yapılardır. Kalıcı olan eserlerin insan ömrüne göre daha uzun süre dayanmaları sonraki insanlara kültürel miras olarak kalmasını sağlamaktadır. Bırakılan bu miras, günümüzde “Kültür Mirası” olarak adlandırılmaktadır (Asri ve Çorumluoğlu, 2007). İnsan etkisi, zaman ve doğal afetler gibi birçok yıpratıcı sebep dolayısıyla bu kültür mirası zarar görmektedir. Böylelikle birçoğu zamanla yok olup gitmektedir. Günümüz öncesi yaşamış insanların, günümüz insanına bıraktığı ve sonraki nesillere devretmek zorunda olunan bu mirasın aslına uygun bir şekilde korunarak aktarılması son yıllarda dünya ve ülkemizde oldukça önem kazanmıştır (Asri ve Çorumluoğlu, 2007).

Bu vesile ile Dünya'nın birçok ülkesinde koruma altına alınmış bölgelerde, kültürel eserler olarak tarihi yapıların 3B olarak modellenmesi, analizlerinin yapılması ve kayıt altına alınması gibi çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir.

Birçok medeniyete ev sahipliği yapmasından dolayı Anadolu, kültürel miras açısından çok zengindir. Gelişen teknoloji ile birlikte Anadolu'nun bu zenginliğini korumada birçok ülkeye göre gerilerde olmamıza rağmen son zamanlarda ülkemizde koruma, restitüsyon ve tanıtım amaçlı çalışmalar artmaya başlamıştır.

Tarihi yapıları koruma ve kayıt altına alma çalışmalarında birden fazla yöntem kullanılmaktadır. Özellikle gelişmekte olan teknolojinin de sağlamış olduğu imkânlar dâhilinde artık fotogrametrik yöntemle birçok tarihi yapının restorasyonu ve tanıtımı rahatlıkla yapılabilmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Fotogrametrinin sağlamış olduğu önemli avantajlardan biri de nesnelerin gerçeğine en uygun şekilde modellenerek 3B gösterimine olanak sağlamasıdır (Çorumluoğlu vd., 2004).

3B modelleme ile birlikte tarihi mirası korumak ve yaşatmak turizm ve kültür açısından da önem arz etmektedir. Bu önem tarihi mirasın bulunduğu yerleşim alanlarına ve bu yerleşim alanlarına sahip ülkelere turistik ve ekonomik açıdan önemli bir fayda sağlamaktadır. Dünya tarihi

mirasının korunması ve yaşatılması açısından, insanlara bu mekânları doğal halleriyle modellemek önemli bir kültür ve turizm hizmetidir (Tecim, 1999). Bu hizmetin gerçekleştirilmesinde de CBS ve fotogrametri önemli bir rol oynamaktadır. 3B teknikler kullanılarak şehirlerin sanal modellerinin oluşturulması çalışmaları 1990'lı yıllarla başlamış ve Edinburg ve Bath modelleri ilk önemli sanal şehir modelleri olarak bilinmektedir. Strathclyde Üniversitesi (Avustralya) ABACUS şirketinin geliştirdiği Edinburg modeli, University Collage of London'da yer alan CASA şirketinin Bath üniversitesi ile beraber geliştirmiş oldukları Bath sanal şehirsal modeli, kendi alanlarında mesleki ve akademik deneyimlerin gelişmesine katkı sağlamışlardır. Geliştirilen bu modeller zengin kültürel mirasa sahip yerleşim alanlarında tarih ve kültür bilincinin artırılmasında ve kültürel anlamda değerli olan şehirlerin korunmasında önemli bir yer tutmuşlardır (Hamilton vd., 2001).

Gerek mekânsal verilerin elde edilebilmesinde geliştirilen bilgisayar teknolojileri gerekse bunlardan elde edilen farklı formattaki verilerin bir araya getirilip daha etkili sunumlar için kullanılan yeni teknikler, 3B şehir modellerine olan ilginin artmasına sebep olmaktadır. Şehir modelleri "Dünya yüzeyinin ve şehirlere ait nesnelere sayısal temsili" şeklinde tanımlanmaktadır (Fard, 2009).

Bu amaçlara uygun tarihi eserlere ait bilgi sistemlerinin oluşturulması ve sayısal olarak 3B modellenmesinde birçok yazılım (AutoCAD, Netcad, 3ds Max, SketchUp,vb.) kullanılarak raster ve vektör veriler modellenmektedir.

Son zamanlarda tarihi eserler söz konusu olduğunda "Akıllı Şehir" ve "Akıllı Turizm" kavramları kullanılmaktadır. Gelişen şehirlerde ortaya çıkan yoğun trafik, hava kirliliği, atık kirliliği gibi kavramlar, şehirlerin ve insanların "akıllandırılması" kanaatini doğurmuştur. Akıllı Şehir denildiğinde ilk olarak sensörlerle döşenmiş ağlar, veri merkezleri gibi kavramlar gelse de aslında "akıllı" kavramı doğru üretim ve tüketim olarak nitelendirilebilir. Bu kapsamda Akıllı Şehirler birden fazla bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden biri de Akıllı Turizm'dir. Akıllı turizm, içeriğinde akıllı insan kavramını barındırır. Yapmış olduğumuz bu çalışma akıllı şehirlerde akıllı turizm olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, akıllı şehirlerdeki turizm çalışmaları kapsamında tarihi yapıların 3B modellenmesi ile ilgili gerçekleştirilmesi planlanan, uygulama alanı olarak Ankara İli Altındağ ilçesi Hamamönü Evleri mevkisinin de bir bölge seçilmiştir. Öncelikle bölgeye ait modellenmesi düşünülen yapıların gerçeğine uygun şekilde görsel modelinin oluşturulması sağlanmış daha sonra uygulama alanına ilişkin veri tabanı tasarımı ile birlikte bilgi sistemi tasarımı gerçekleştirilmiş ve son olarak, kullanıcılara bu

uygulamaların sunulmasına yönelik web tabanlı 3B bir CBS uygulaması hazırlanmıştır. Yukarıda bahsi geçen hususlar dikkate alındığında bu çalışmanın temel amacı; Hamamönü'ndeki tarihi yapıların gerçeğine uygun olarak 3B modellenmesi, sorgulanabilir olması ve web tabanlı bir bilgi sistemi oluşturularak İnternet üzerinden kullanıcılara sunulmasıdır.

### 1. 1. 3 Boyutlu (3B) Şehir Modelleri

3B şehir modellerine günümüzde oldukça önem verilmektedir. Öyle ki insanın yaşadığı çevreyi tanınması, yorumlayabilmesi, koruması ve yenilemesi için yapılan mühendislik, mimarlık çalışmalarında 3B modele ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda yeniliklerin peşinden gidilmesine olanak sağlamaktadır. Yapılan 3B şehir modelleri (Şekil 1.1) şehirler hakkında fikir sahibi olmaya yardımcı olmakla sınırlı kalmazken, ihtiyaç duyulan birçok şeyi bir arada görmeye imkân tanımaktadır (Url-1).



Şekil 1.1 İstanbul'un 3B Şehir Modelinden Bir Kesit (Url-2)

Bilinen klasik 2B fotogrametrik çalışmalar günümüzde yapılan çalışmalar için yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmaları zenginleştirmek ve ihtiyaçları karşılamak için alanın 3B modellenmesi, sorgulanması, analizi ve görselleştirilmesi önem kazanmıştır. Bugünkü CAD teknolojisi ile bir alanın perspektif görünüşü elde edilebilmektedir. 3B görselleştirme ile sanal ortamda arazinin üzerinde uçmak, şehir içinde dolaşmayı olanaklı hale getirmiştir (Duncan ve Rahman, 2015).

3B şehir modelleri, yeryüzüne ait doğal ve yapay objelerin sayısal tasvirleri olup arazi, bina, bitki örtüsü, yol ve ulaşım sistemleri gibi şehirlere ait verilerin konum, şekil, doku ve geometriyle gösterilmesidir. 3B olarak modellenmiş mekânsal veriler, kullanıcıların bilgiye hızlı, daha kolay ve daha doğru bir şekilde ulaşmasında aracılık etmektedir (Yıldırım, 2012). Şimdiye kadar yapılan çalışmalar da yukarıda değinilen konularda kolaylıklar sağlamıştır. Bu kolaylıkları örneklendirilirse, 3B şehir modeli içerisinde dolaşılabilir, istenilen noktalardan analizler yapılabilir, bir bölgenin



mevcut durumu ve o bölgeye yapılacak mimari bir çalışmanın 3B görselleştirilmesine imkân veren bir simülasyon uygulaması gibi çalışmalar yapılmaktadır. Konu ile ilgili olarak Dünya’da da 3B CBS uygulamalarını tarihi alan ve yapıların fotogrametri ve CBS yöntemiyle dokümantasyonu ve İnternet üzerinde sunumu üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar gösteriyor ki dünya bu alanda birçok uygulama metodu geliştirerek yeni alanlar oluşturmaktadır. Bu çalışmalara en güzel örneklerden biri de Turizm sektörüdür. Turizm alanından pay almak isteyen ülkeler ve girişimciler tanıtım çalışmalarına oldukça yüksek miktarlarda kaynak sağlamaktadır. Bu kaynakların çok az bir kısmıyla yukarıdaki bahsedilen çalışmalar profesyonelce yapılmaktadır. Yapılan profesyonel çalışmalar doğrultusunda hem kültürel miras korunmuş olup hem de etkili bir tanıtım çalışması yapılmış olmaktadır. İnternet kullanıcılarının, yapılan çalışmalarını görmek istemesi o yerler hakkında bilgi toplama hevesine sebep olacaktır (Duncan ve Rahman, 2015).

Üç boyutlu şehir modelleri kullanım amaçları ve tekniklerine göre 4 şekilde sınıflandırılmaktadır (Pelendecioğlu, 2015).

- Üç boyutlu CAD modelleri: Şehrin bütününe veya bir bölümünün 3B olarak ayrıntılı bir şekilde ifade edilmesidir.
- Statik 3B CBS Şehir modelleri: 3B bilgisayar destekli çizim modellerinden tek farkı işlevidir. Bu modeller CBS’ yi kapsadığından detayların sorgulanmasına izin verir.
- 3B alan simülasyon modelleri: Bu modeller CBS desteklidirler. Analiz, sorgulama ve kara vermede kullanılmaktadırlar.
- Gezilebilir üç boyutlu CBS şehir modelleri: Bu şehir modelleri VRML dili sayesinde internet üzerinden gezilebilir olmayı ve sorgulama yapabilmeyi sağlar (Pelendecioğlu,2015).

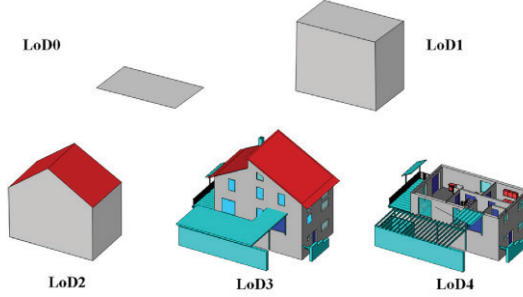
3B şehir modelleme çalışmalarında her ne kadar görsellik önemli olsa da asıl olan gerçek dünyaya birebir benzeyen modellerin üretimidir. Bu doğrultuda mobil harita üretimi, fotoğrafların kullanımı, doku kaplama teknikleri, modellemelere yönelik standartlar ve teknikler önemli aşamalardır (Yıldırım, 2012).

## 1.2. CityGML

CityGML, sanal 3B şehir modellerinin depolanması ve değişimi için açık bir veri modeli ve XML tabanlı bir formattır. Başka bir deyişle CityGML, 3B şehir modellerinin temsili ve değişimi için uluslararası standartlardan oluşmaktadır.

CityGML yazılımı 3B modelleme kavramı için Şekil 1.2’de gösterildiği gibi birçok ayrıntı seviyesinden oluşmaktadır. Dünya genelinde kul-

lanımı oldukça yaygın olan yazılımın açık kod kullanımının olması, tercih edilmesinin en önemli sebeplerindendir. Kodu yazan kişilerin paylaşımlı olarak sunduğu platformlardan kullanıcılar, kodlara kolaylıkla ulaşarak modelleme çalışmalarında kullanmaktadırlar.



Şekil.2. CityGML'deki beş ayrıntı düzeyi (LoD) (Friedjungov,2017)

LoD seviyeleri her geçen gün geliştirilerek görselleştirme ve gerçeğe en yakın model oluşturulmasında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmamızda, örneklem alanımızdaki Hamamönü evi için LoD2 seviyesinde bir modelleme yapılmıştır.

### 1.3. CityEngine Yazılımı

CityEngine, geleneksel modelleme tekniklerinden daha kısa sürede büyük, etkileşimli ve sürükleyici şehrsel ortamlar oluşturmak için gelişmiş 3B modelleme yazılımıdır. CityEngine yazılımını kullanarak oluşturulan şehirler, günümüz dünyasının CBS verilerine dayanmaktadır. Geçmişin, bugünün veya geleceğin kurgusal bir şehri oluşturulabilir (Url-5). Esri ürünü olan CityEngine (CE) yazılımı 3B modelleme çalışmalarında kullanılan çok fonksiyonlu bir yazılımdır. CE yazılımı, 2B CBS verilerinin katı model/özniteliklerini ve kural dosyası (CGA- Computer Generated Architecture-Bilgisayar Üretimi Mimarı) kullanılarak yüksek çözünürlüklü 3B şehirler modelleri oluşturmaktadır. CityEngine yazılımı sadece şehir modelleme çalışmalarında kullanılmamakla birlikte birçok animasyon film v.b. çalışmalarda da günümüzde tercih edilmektedir.

Gramer odaklı modellemenin amacı, çok fazla detay oluşturarak bir tasarımı belirginleştirecek, incelemek kurallar tanımlamaktır. Bu kurallar, sınırlayıcı bir alanda geometri içeren şekiller üzerinde çalışır. Şekil 1.3'de kural türevleri bu süreci örneklemektedir. Sol tarafta ilk şekil, sağ tarafta ise sonuçta üretilen modeller gösterilmektedir (Url-6)



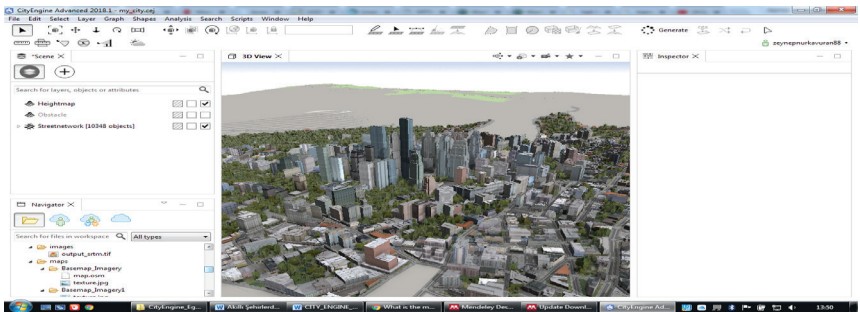
Şekil 1.3. Kural Tabanlı Modelleme aşamaları (Url-6)

CE'nin ana modelleme adımları Şekil 1.4' de gösterildiği gibi dört adım olarak özetlenebilir. Bunlar, veri hazırlama ve işleme, şehirselleştirme yapı elemanlarının sınıflandırılması, model oluşturma ve atama kuralları, model oluşturma ve değiştirme



Şekil 1.4. CityEngine Çalışma Modeli (Url-4)

CityEngine arazi verileri 8 bit formatında yükseklik bilgisi bulunan \*.tiff, \*.jpeg vb. imaj dosyalarından oluşur. Gerçek dünyaya uygunluğu açısından height map (yükseklik haritası) ve texture map (uydu, raster v.b) arazi verilerinin yüklenmesi gerçekleştirilir. Şekil 1.5' te CE yazılımının Ara yüz ekranı örneği kullanılmıştır.



Şekil 1.5. CityEngine Yazılımı Ara yüzü

## 2. Akıllı Şehirler

Akıllı şehirler, geliştirilmiş bir şehir bilgi sistemine sahip, kullanıcıların bütün hizmetlerden sabit veya mobil sistemler aracılığıyla yararlanabildiği ve birleştirilmiş bir bilgi organizasyonu üzerine kurgulanmış şehir yapılanmaları olarak tanımlanmaktadır (Varol, 2017)

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler hayatı kolaylaştırmaktadır. Bu vesile ile teknoloji odaklı olarak gelişen şehirler, verimliliği ve yaşam kalitesini artırmak üzere akıllı arayışlar ve uygulamalar yolunda ilerlemektedir (Varol, 2017). Karmaşık şehir yaşantısının en aza indirilmesi için yapılan çalışmaların başında şehirleri akıllandırma projeleri gelmektedir.

Dünya’da ve Türkiye’de birçok şehir teknolojik altyapı ve bilgilen-dirmeler doğrultusunda Akıllı Şehir statüsüne ulaşılması için çalışmalar yapmaktadır.

Bu açıklamalara ek olarak Akıllı Şehir kavramının şehirleri nasıl akıllandıracağı konusunda tartışmalar süregelmektedir. Bu nedenle bir şehrin akıllı olabilmesi için tanımlama ve uygulama bazında insanların ve otoritelerin kafasında net bir tanımlama bulunmamaktadır. Yani herkes için kabul edilen bir tanımlama mevcut değildir. Bu çalışma kapsamında elde edilen bilgiler doğrultusunda Akıllı Şehir kavramı sadece sensörlere dayandırılmasının yanında, şehirlerde yaşam kalitesini artırmak, kullanıcıların ergonomik bir yaşam standardına sahip olması için belirli otoriteler tarafından ulaşımda, binalarda, turizmde v.b birçok bileşende refah seviyesini artırmak için yapılan çalışmaların bütünü olarak nitelendirilebilir.

## 2.1 Akıllı Şehirler Çalışmalarında Turizm Yaklaşımı

Akıllı şehirlerle iç içe olan Akıllı Turizm kavramı, birbiriyle etkileşime giren ve sistemde çeşitli derecelerde yer alan birden fazla bileşenden oluşmaktadır. Bu kapsamda hükümet, seyahat acenteleri, ulaşım ve konaklama sağlayıcıları, tur operatörleri, yerel halk ve turistler bu sistemde yer almaktadır (Arenas,2019). Akıllı Turizm; akıllı turistik hizmetler, deneyimler, yönetme ve sunma konusunda akıllı teknolojiye yararlanan ve yoğun bilgi paylaşımı ile şekillenen bir sistemdir.

Akıllı Turizmin başarılı bir şekilde uygulanması farklı paydaşların aktif entegrasyonunu, entegrasyon süreçlerini ve teknoloji yönetimi süreçlerini gerektirir. Bu döngüdeki katılımcılar arasında kamu sektörü, turizm için önemli bir faktördür (Arenas,2019). Özellikle turizm politikalarını tanımlamada ve teknolojik altyapı sağlamada önemli bir rol oynamaktadır. Bu konuda, Avrupa ve Asya’daki (örneğin İspanya, Çin ve Güney Kore) akıllı turizmle ilgili projeler, kamu tarafından desteklenmektedir (Arenas,2019).

Akıllı turizm kavramı günümüzde sıklıkla kullanılmakta ve isim olarak akıllı turizm olarak sunulmaktadır. Akıllı turizm kavramı dikkate alındığında yukarıda sayılan bileşen türleri için önemli kaynak verilerdir. Veriler tamamlandıkça kullanıcıların ilgisinin artması, istenilen bölgelere en hızlı ve kolay bir şekilde ulaşılıyor olması hedeflenmektedir. Örneğin

akıllı ulaşım konusunu da içine alan uygun fiyatlı uçak, otobüs ve tren gibi toplu taşıma araçları için indirimli fiyatlar belli akıllı uygulamalarla takip edilerek ucuz fiyata bilet satın alabilme imkânı sağlamıştır. Bu da aslında dolaylı yoldan akıllı turizm örneğine bağlanabilir. Şöyle ki bulunduğu konumdan başka bir yere turist olarak seyahat edecek olan kullanıcı bu uygulamaları kullanarak işlemini tamamlayacaktır. Yeni çıkan teknolojilerle birlikte seçilen uçak saati ve günü için ilgili hava şirketleri gidilecek şehir için nereler gidilip görülmeli, hava durumu, nem oranı gibi bilgileri kullanıcılarına sunarak akıllı turizm kavramına yeni bir boyut kazandırmaktadır. Turist olarak gelecek kişi önceden hazırlık yapıp hem zamandan hem de paradan tasarruf etme lüksüne sahip olmaktadır.

### 3. UYGULAMA

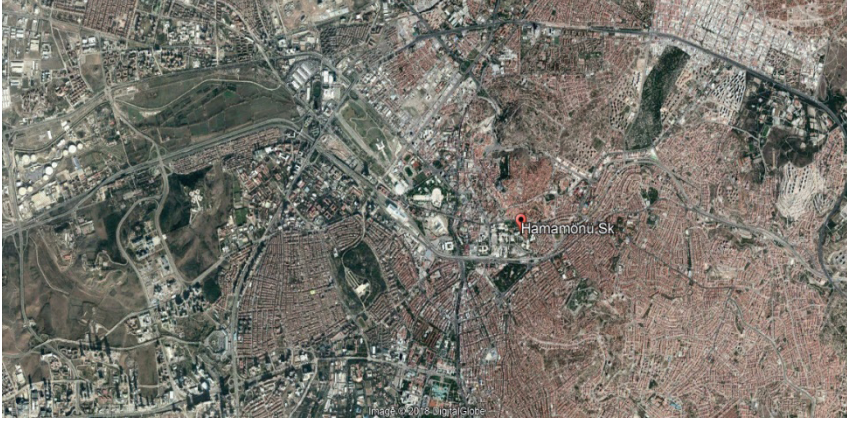
Akıllı şehirlerde turizm başlığı adı altında yapılan bu çalışmada, seçilen uygulama alanına ait 2B veriler 3. boyuta aktarılarak LoD2 seviyesinde bir modelleme çalışması yapılmıştır. Modellenen alan web ortamında kullanıcılara sunularak sorgulanabilir hale getirilmiştir.

#### 3.1. Uygulama Alanının Seçimi ve Tarihi Değeri

Türkiye, kültürel anlamda birçok medeniyete ev sahipliği yapmış önde gelen ülkeler arasındadır. Hiçbir şehri yoktur ki diğer medeniyetlere ev sahipliği yapmamış olsun. Bu şehirlerin başında ülkemizin başkenti olan Ankara ili de gelmektedir.

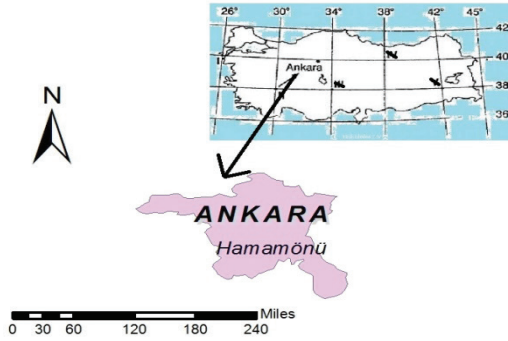
Ankara ilk çağlardan itibaren, birçok medeniyetin hüküm sürdüğü bir coğrafyaya sahip yerleşim alanıdır. Frig'lerden sonra kronolojik sıralama ile yaşayan diğer medeniyetler Lidyalılar, Persler, Makedonyalılar, Galatlar, Roma İmparatorluğu, Doğu Roma İmparatorluğu, Selçuklular, İlhanlılar ve Osmanlı İmparatorluğu'dur. Ankara son olarak Türkiye Cumhuriyeti'nin başkenti olarak günümüze kadar devam etmektedir (Url-3).

Ankara ili Altındağ ilçesinde bulunan Hamamönü bölgesinde bitirilen ve 2011 yılında "Avrupalı Seçkin Turist bölgesi" seçilerek Kültür ve Turizm Bakanlığı ve Avrupa Komisyonu tarafından ödüle layık görülen 'Hamamönü Şehirselsel Tasarım ve Sağlıklaştırma Destinasyonu' projesi ile Hamamönü, eski tarihi önemine tekrar kavuşmuştur. Çalışmanın bu bölümünde Hamamönü'nde yer alan tarihi konaklar uygulama alanı olarak seçilmiştir. Uygulama alanına ait uydu görüntüsü Şekil.3.1'de verilmiştir



Şekil 3.1. Genel kapsamlı Hamamönü ve çevresinin uydu görüntüsü

Ankara şehrinin Türkiye'deki konumu ve şehir içindeki uygulama alanı Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

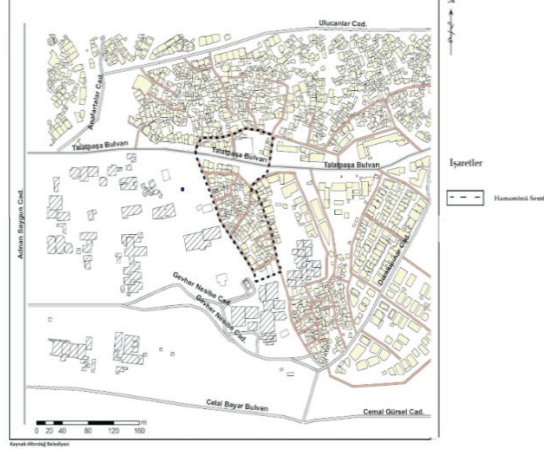


Şekil 3.2. Ankara şehrinin Türkiye'deki konumu ve şehir içindeki uygulama alanı

### 3.1. Yapıların Genel Durumu

Uygulama alanında yer alan yapılar, Ankara'daki dini ve kültür varlıklarının güzel bir örneği olup günümüzde aktif durumdadır. Şekil 3.3'te gösterilen alanda tarihi Ankara Evlerinin halihazır görüntüsü yer almaktadır.





Şekil 3.3. Ankara Hamamönü ve yakın çevresi hâlihazır haritası (Sadioğlu vd., 2016)

Son dönemlerde tarihi alanlara merakın artmasıyla bu alanlar ticari bir gelir kaynağı olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.4'te gösterildiği gibi Hamamönü evleri olarak bilinen evler (eski Ankara Evleri) günümüzde eğlence yerlerine dönüştürülerek (cafe, kına konağı vb.) kullanıma uygun hale getirilmiştir. Yapılar restore edildikten sonra Ramazan Gecelerinde, günü birlik çeşitli aktivitelerle turistlerin ve yerli halkın dikkatini çekmeyi başarmıştır.

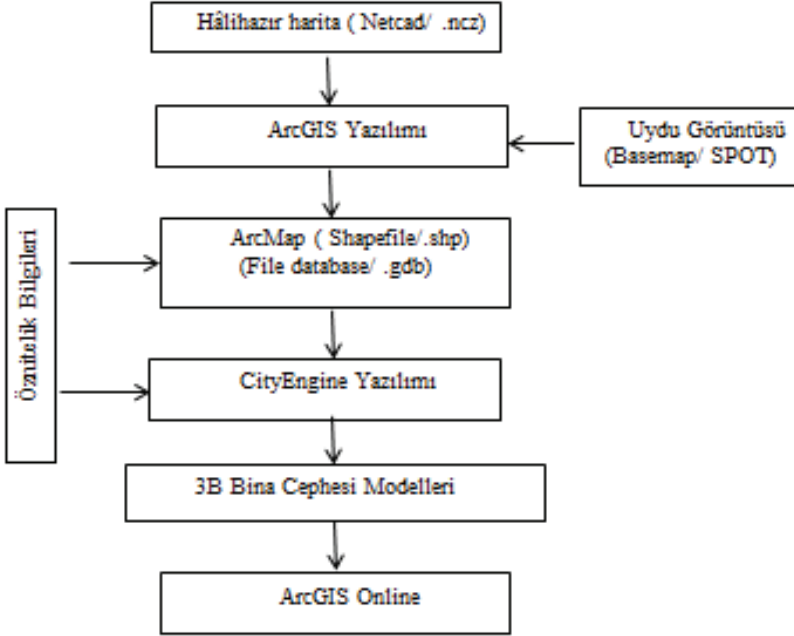


Şekil 3.4. Tarihi Hamamönü evlerinin kahve şeklinde kullanımı

### 3.2. Uygulama Aşamaları

Çalışmada uygulama aşamaları kısmında uygulama alanına ait verilerin elde edilmesinden sonra verilerin bilgisayar ortamında farklı yazılımlarla değerlendirilmesi aşamasına geçilmiştir (Tablo 3.1). Sayısal formatta temin edilen halihazır veriler ArcGIS ortamına aktarılmıştır.

ArcMap yazılımında .shp ve .gdb formatlarında kaydedilmiştir. Binaların yükseltilmesi ve görselleştirme işlemleri için CityEngine yazılımı kullanılmıştır. Son aşama olarak İnternet tarayıcıları kullanılarak erişilebilir hale getirilmiş ve 3B web sahnesinde yayınlanmıştır.

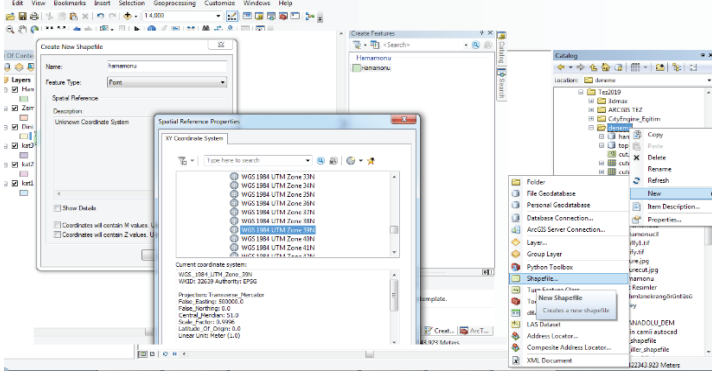


Tablo 3.1. Uygulama işlem adımları

### 3.3. Verilerin Ön İşleme Aşamaları

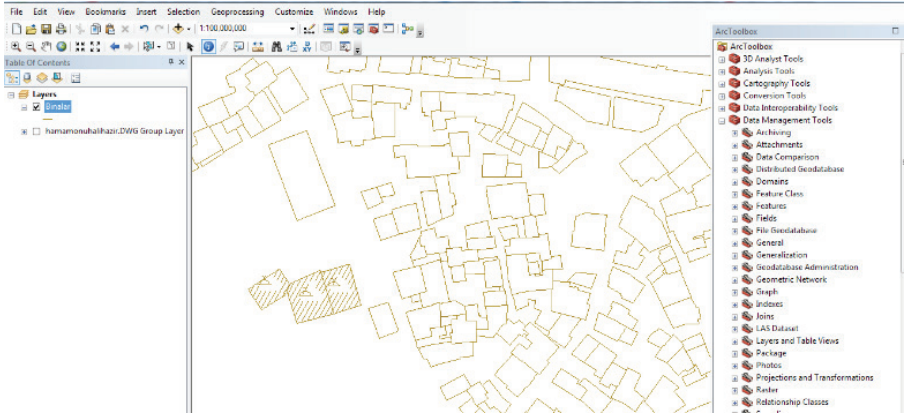
Uygulama çalışması için temin edilen 2B verilerin, 3B ortama aktarılması için mevcut veriler üzerinde birden fazla işlem yapılması gerekmektedir. Bu işlem adımlarından ilki olarak CityEngine yazılımında hem boyutlandırma hem de sorgulama işlemlerinde binalara ait verilerin ArcGIS’te sayısallaştırılması ve öznitelik bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Aktarılan NetCAD verisinin koordinat sistemi UTM (Universal Transversal Mercator) projeksiyonunda WGS 84 36. Zone olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.5).





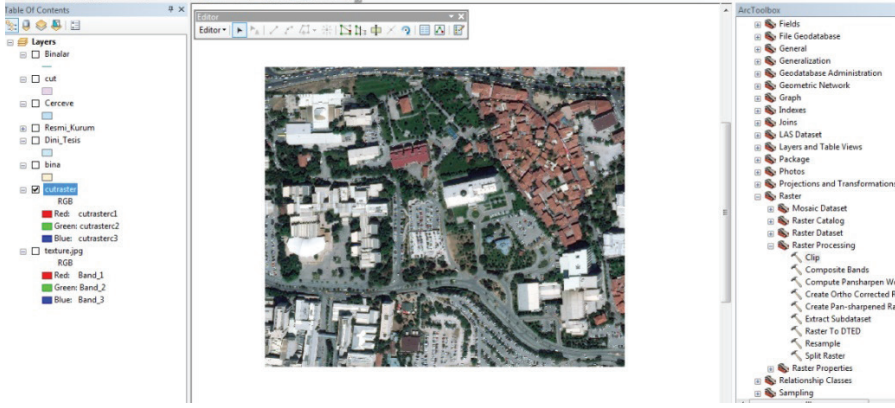
Şekil 3.5. Uygulama alanı için projeksiyon belirleme işlemi

Şekil 3.6'da AutoCAD (.dwg) formatındaki halihazır haritadaki binalara ait ayakizleri ArcMap ortamına aktarılmıştır (export).

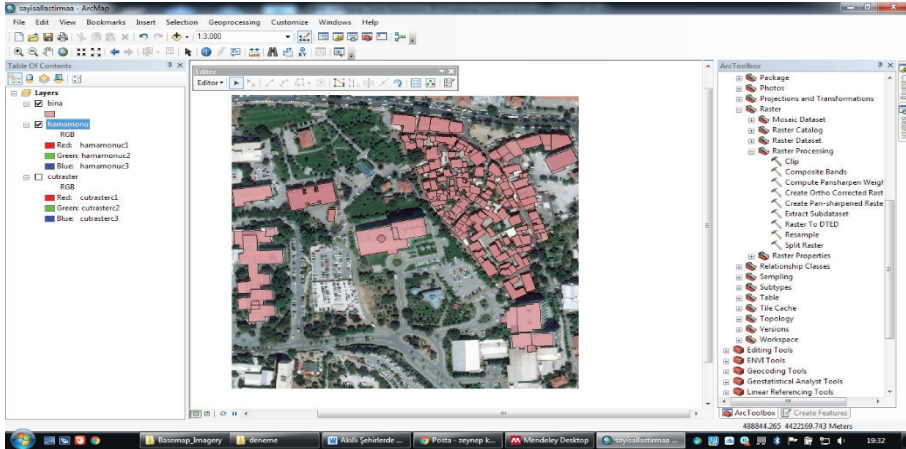


Şekil 3.6. Hamamönü hâlihazır haritada bulunan binaları

ArcGIS yazılımında bulunan Basemap haritaları çalışma alanına ait bölgenin uydu görüntüsünü ücretsiz olarak kullanıcılara sunmaktadır.

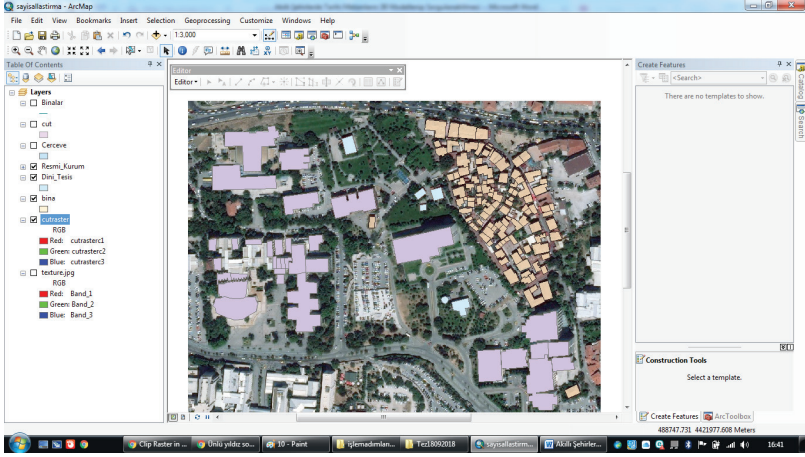


Şekil 3.7. Çalışma alanına ait 30 cm çözünürlüğünde uydu görüntüsü



Şekil 3.8. AutoCAD bina verilerinin uydu görüntüsü ile çakıştırılmış hali

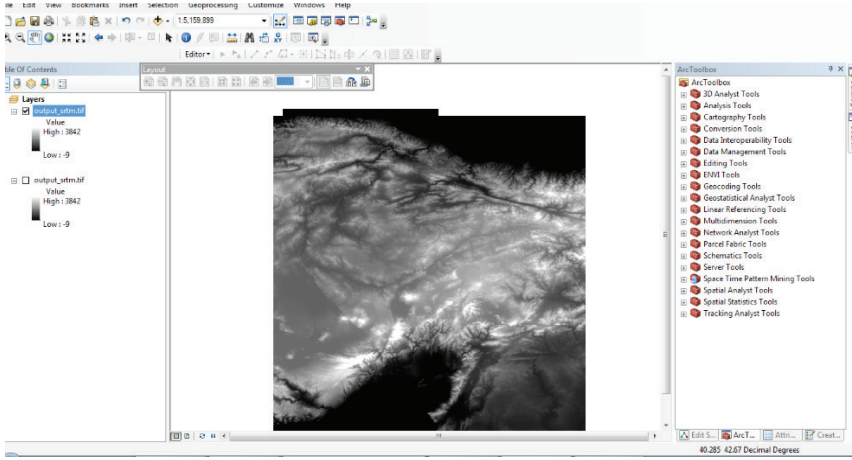
Uydu görüntüsü ve AutoCAD verileri için ArcCatalog'da yeni bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bina adında detay sınıfı (Feature class) açılmıştır. Oluşturulan bina katmanında, tarihi binalar dışındaki tüm binalar sayısallaştırılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Sayısallaştırılan bina modelleri

### 3.4.Sayısal Yükseklik Verisinin Elde Edilmesi

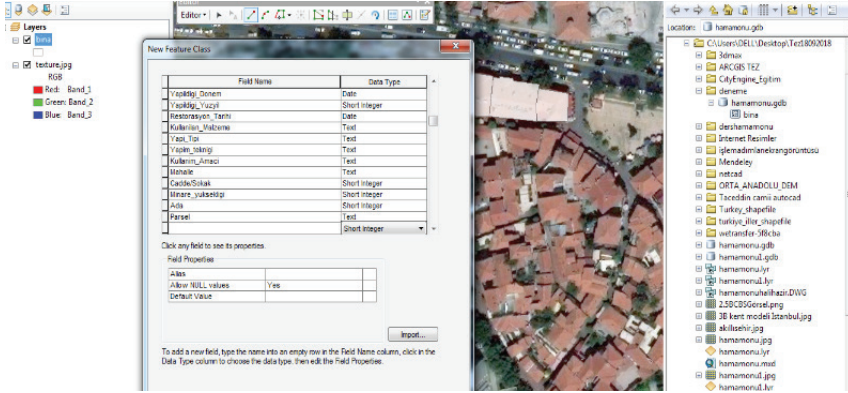
Çalışma alanına, topografyanın yükselteli olması için sayısal yükseklik verisinin de kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu anlamda sayısal yükseklik verisinin indirilmesi için SRTM verisi kullanılmıştır. SRTM, 2000 yılında NASA tarafından atılan uydular yardımıyla Dünya yüzeyinin üretilmesi için yapılan ücretsiz bir projedir. 2014 yılından beri 30 m çözünürlüklü veriler ücretsiz indirilebilmektedir. Fakat Türkiye’de henüz 90 m çözünürlüklü veriler kullanılmaktadır. SRTM verileri USGS adresinden konum seçilerek çalışılan bölgenin enlem ve boylamlarına göre indirme işlemi yapılmaktadır. Ankara ili 32:52 E 39:56 N. yer almaktadır. Şekil 3.10’ da gösterildiği gibi sayısal yükseklik verisi ArcGIS yazılımında açılmıştır. SRTM verisinin küçük boyutlarda ve birçok yazılımda açılabilir olması önemli avantajlarından biridir.



Şekil 3.10. SRTM verisinin ArcGIS yazılımında gösterimi

### 3.5. 2B Verilere Öznitelik Bilgilerinin Atanması

Çalışma alanımıza ait 2B veriler için öznitelik bilgilerinin atanmasında ArcMap yazılımı kullanılmıştır. Şekil 4.14'te gösterildiği gibi konaklara ait bilgiler girilerek istenildiği gibi eklemeler yapılabilmektedir. Bina yaşı, kat sayısı gibi bilgiler “bina” sınıfı için öznitelik bilgileri eklenebilmektedir.



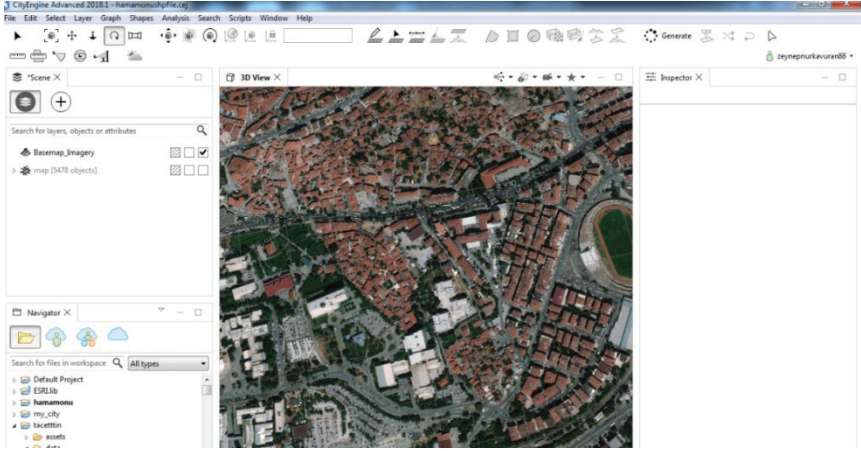
Şekil 3.11. Hamamönü'ne ait öznitelik bilgilerinin atanması

### 3.6. 2B Verilerin CityEngine Yazılımına Aktarılması

Çalışmamızda CityEngine 2018.0 yazılımı kullanılmıştır. CityEngine yazılımında açılan pencerede ilk olarak yeni bir proje ve yeni bir çalışma alanı seçimi gerekmektedir. Yeni oluşturulan çalışma alanı (new scene) için koordinat sistemi UTM 6° projeksiyonunda WGS 84 datumu 36. dilim olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma alanı üzerinden tüm modelleme ça-

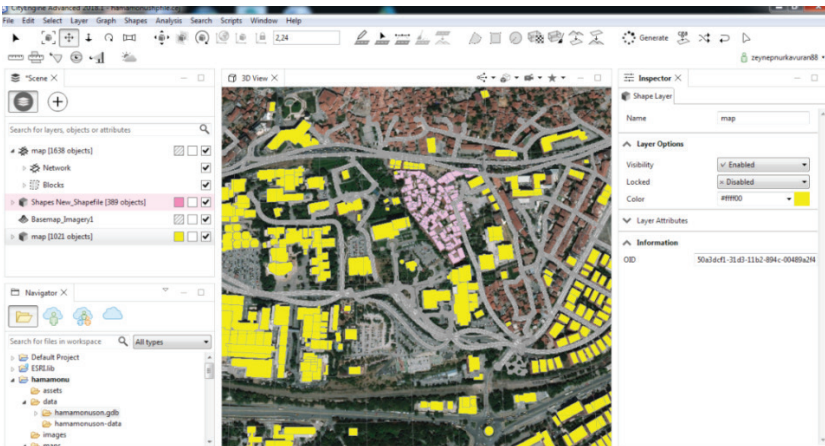
lışmaları yapılmıştır. Temel harita ve arazi verilerini almak için ilgili alanı seçimi gerekmektedir.

Bu çalışmada gerçek yeryüzü modeline uygun olması amacıyla hava fotoğrafı Şekil 3.12’ de gösterildiği gibi eklenmiştir.



Şekil 3.12. CityEnginede çalışma alanının görüntüsü

Kullanılan uydu görüntüsünün çözünürlüğü 4096x4096 piksel değerine sahiptir. Daha önceden sayısalılaştırma işlemini yapılan Hamamönü evlerinin CityEngine yazılımına gdb dosyası olarak “import \_ File GDB import” 2B shape (şekil) verisi olarak aktarılmıştır. Şekil 3.13’de CityEngine yazılımına aktarılan bina katmanları görülmektedir.



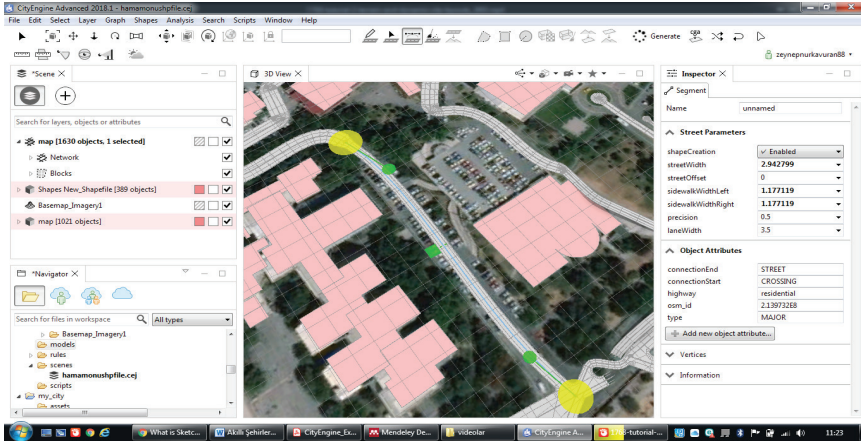
Şekil 3.13. CityEngine yazılımında binaların modellenmiş hali



Modellenecek binalara iki yöntem uygulanabilir. İlk olarak CityEngine yazılımında bulunan Esri kütüphanesinden yararlanarak yükseklik ve dış cephe (texture) kaplama işlemleri yapılabilir. İkinci olarak Python yazılımı kullanılarak manuel olarak modelleme işlemi gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada her iki yöntem de dikkate alınmıştır. CityEngine yazılımında ışık açıları vb. düzenlemeler yapılabilmektedir.

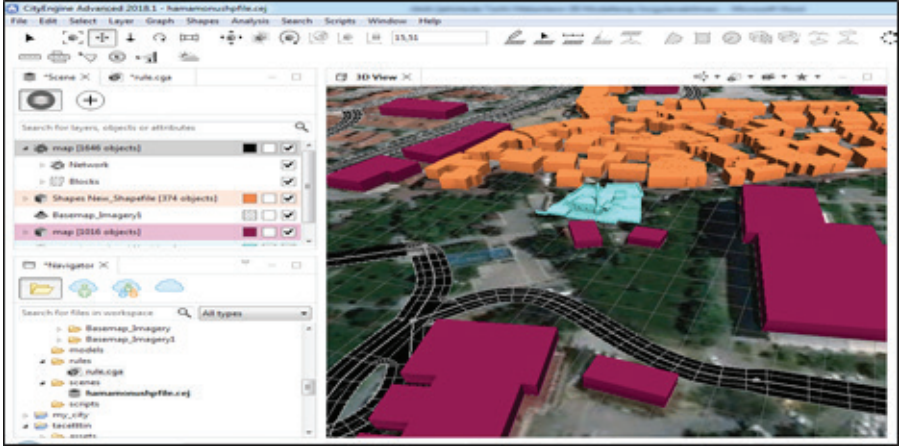
### 3.7. Open Street Map (OSM) Verilerinin İçte Aktarımı

CityEngine yazılımında OSM verileri birden fazla şekilde oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada hem CityEngine araçları kullanılarak manuel şekilde çizilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. CityEngine yazılımında binaların ayak izi örneği

Ayrıca OSM yol katmanı CityEngine yazılımına direk aktarılmıştır. Şekil 3.15’ de OSM verileri binaların bulunduğu alanlara eklenmiştir.



Şekil 3.15. OSM Verilerinin Modele Eklenmiş Hali

OSM verilerinin içe aktarım işlemi için CityEngine yazılımının “Get Map Data” sekmesinden gerçekleştirilebilmektedir. Verilerin indirilmesi için ArcGIS Online veya Portal hesabından giriş yapılması gerekmektedir.

### 3.8. 2B Binaların 3B Binalara Dönüşümü

CityEngine yazılımında 2B olan binalar 3. boyuta aktarılarak gerçekçi modellemenin yapılmasına olanak sağlanmıştır. Çalışmada ki bina katmanındaki şekillere (shape) ArcMap’te öznitelik bilgileri girilmiştir. Bu bilgiler CityEngine yazılımında da korunmaktadır. Bina yükseklik değerleri kadar yükseklik tanımlanmıştır. Bina katmanı için yükseltme işleminde kullanılan kodlama işlemi aşağıdaki gibidir.

@startrule

attr *Yukseklık* = 6

lot-> extrude (*Yukseklık*)

veya

attr minheight = 10

attr maxheight = 30

attr floorheight = 3

attr windowwidth = 2

Lot -> extrude(rand(minheight,maxheight)) Components

Bina katmanında bir katı model olarak gözükken alanların katlara ayrılması işlemi için de aşağıdaki kural dosyası kullanılmıştır.

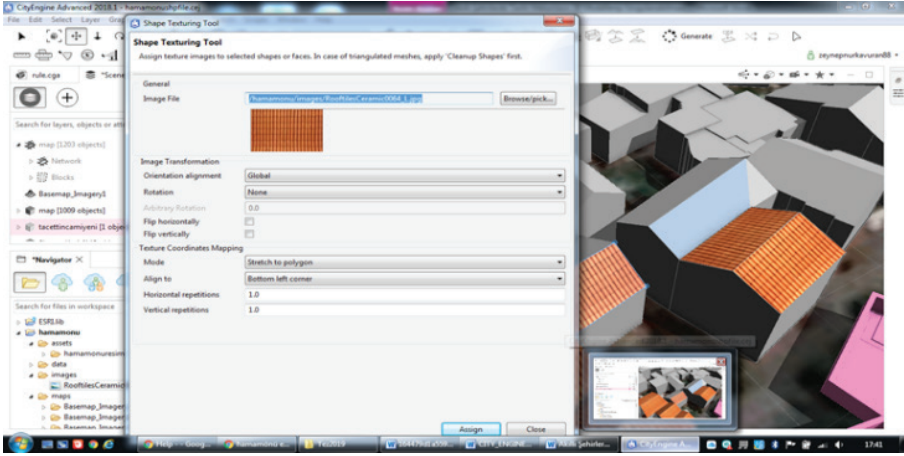
Lot -> s(‘0.8, ‘1, ‘0.8) center(xz) extrude(20) Envelope

Envelope -> split(y){ ~4 : Floor. }

Yazılım dilinde bir şey ifade etmek istenildiğinde bu birçok şekilde yapılabilmektedir. Yukarıda örnek olarak gösterilen katlara ayırma işleminin bir başka yazım versiyonu aşağıda gösterilmiştir.

Lot --> s('0.8, '1, '0.8) center(xz) extrude(20) Envelope

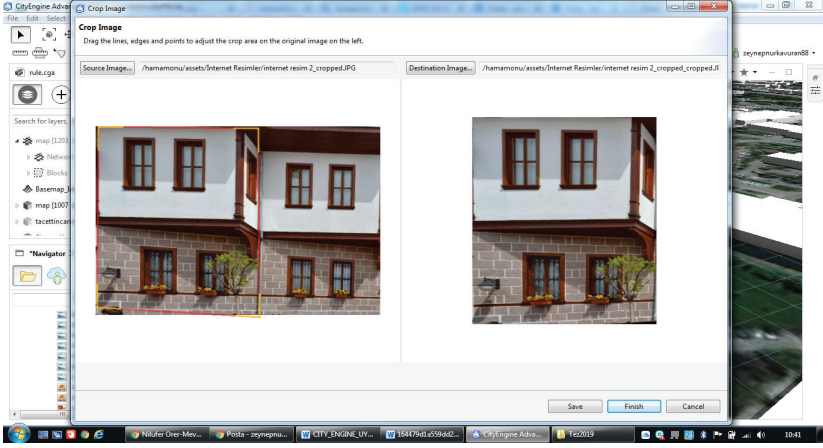
Binaların yükseltilmesi işlemlerinden sonra, bina modellerine çatı giydirilmesi işlemi yapılmıştır. Bu işlem için Esri kütüphanesinde bulunan çatı tipi kullanılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. CityEngine yazılımında binalara çatıların modellenmesi

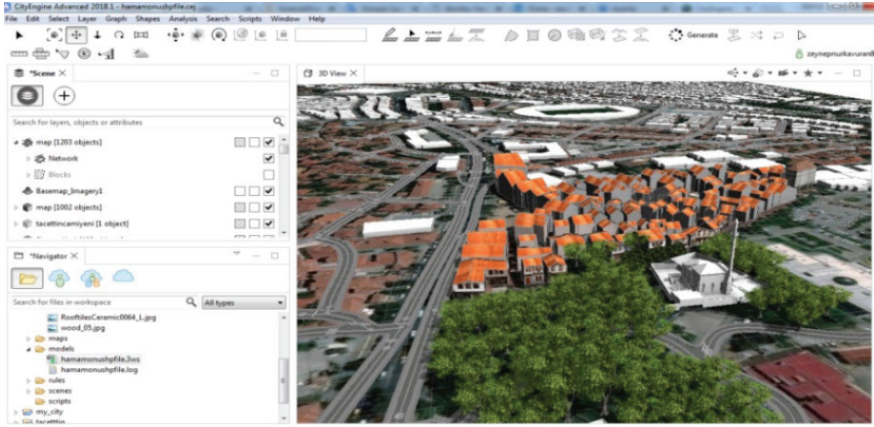
Bina modellerine çatı giydirmeye işlemlerinde manuel olarak texture (doku) Şekil 4.21'de gösterildiği gibi tamamlanmıştır. Çalışma alanında, binaların dış cephelerinin giydirmeye işlemi için tek tek Hamamönün'de yer alan binaların resimleri çekilmiştir. Bu fotoğraflar kullanılarak bina cepheleri kaplanmıştır (Şekil 3.17).





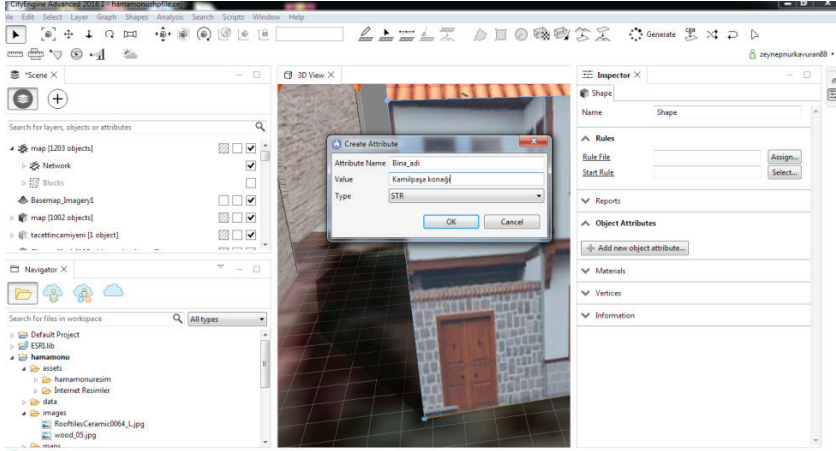
Şekil 3.17. CityEngine yazılımında binalara texture (doku) giydirilmesi

Uygulama alanında bina modellerinin hem dış cephe hem de çatı yüzeylerini giydirme işlemi Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. CityEngine yazılımında bina çatılarının giydirilmesi örneği

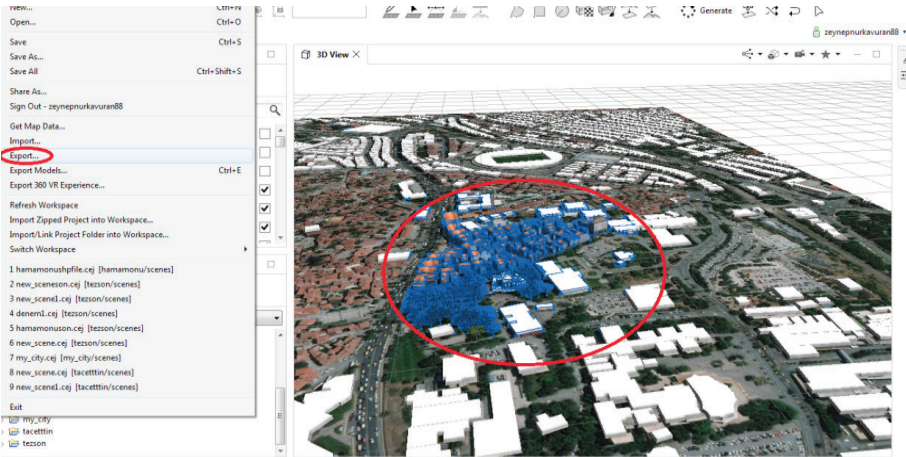
ArcGIS yazılımında olduğu gibi CityEngine yazılımında da öznitelik bilgileri şekillerin tamamına atanabilmektedir. Çalışmada bina ve diğer şekillere öznitelik bilgileri manuel olarak atanmıştır.



Şekil 3.19. Bina katmanına öznitelik bilgilerinin atanması

### 3.9. Uygulama Alanının CityEngine Yazılımından ArcGIS Online Platformuna Aktarılması

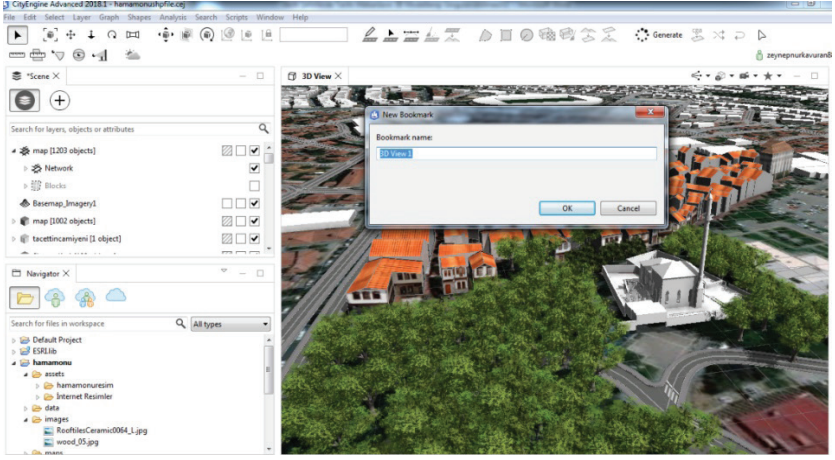
Tüm bu çalışmalar, Akıllı Turizm kapsamında herkesin kullanımına sunmak için web ortamına aktarılmıştır (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. Modelin ArcGIS Online Platformuna aktarılma aşaması

Projenin Online platforma aktarılması için model, Web scene (3ws) formatına dönüştürülmüştür.

CityEngine viewport ekranının üst köşesinde bookmarks aracı ile modelin ekran görselleri kaydedilebilmektedir. Bu işleme ayrıca etiket de eklenebilmektedir (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. CityEngine yazılımında etiketleme

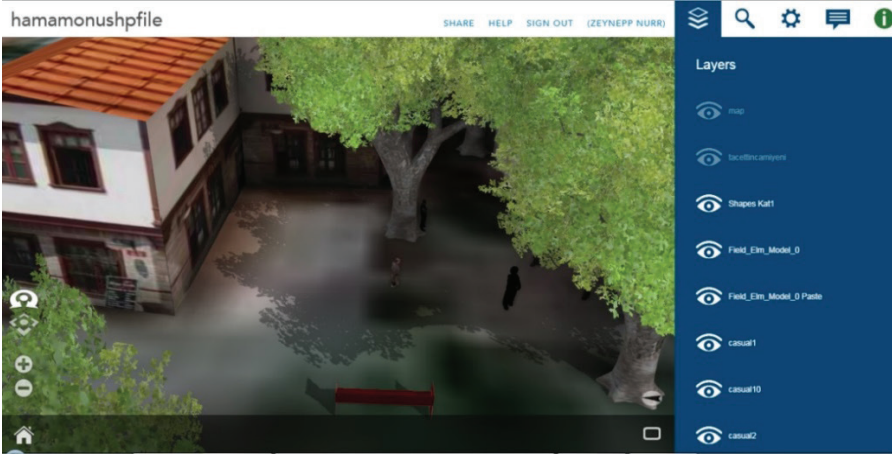
Modelin web scene formatına aktarılma işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 3.22. Çalışma alanına ait modelin ön izlemesi

### 3.10. ArcGIS Online’da Sorgulamaların Yapılması

ArcGIS Online platformuna aktarılan modelin, Akıllı Turizm kapsamında değerlendirilmesi için online olarak kullanıcılara sunulması gerekmektedir. Bu uygulama kapsamında yapılan çalışma ArcGIS online platformunda kullanıcılar tarafından görüntülenebilir ve sorgulanabilir hale getirilmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. CityEngine yazılımında elde edilen ürünün web ortamında yayınlanması

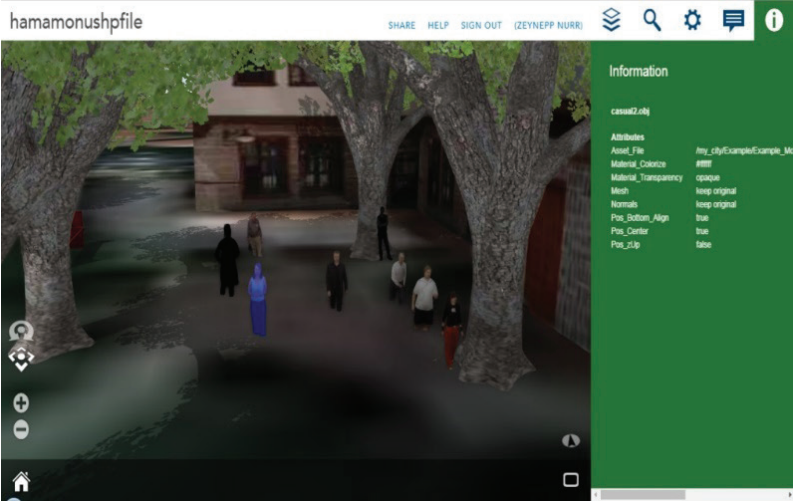
Yapılan ön izleme işleminde birtakım sorgulamalar ve düzeltmeler yapılarak model incelenmiştir. Online platformda yapılan tüm sorgulamalar önceden eklenen öznelik bilgilerine göre yapılmaktadır.



Şekil 3.24 Çalışma alanında bulunan binaların sorgulanması

Modellenen alana gerçeklik katması için insan figürleri de eklenmiştir.





Şekil 3.25. Çalışma alanına ait modelleme çalışması

#### 4. SONUÇLAR

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte çok fazla kavram ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri de Akıllı Şehir kavramıdır. Akıllı Şehir kavramı da bileşenlerden oluşmaktadır. Bu uygulamada değinildiği gibi Akıllı Şehir bileşenlerinden biri olan Akıllı turizm kavramı zamanla geliştirilmeye müsait bir çalışma alanıdır. Bu kavramın içeriği incelediğinde şehircilik faaliyetlerini baz alan çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Böylelikle gelişen teknoloji ile birlikte gerçeğe en yakın şehir modelleri için objelerin 3. boyuta aktarılması işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmaların yapılmasının temel sebebi 2B modelleme çalışmalarının yetersiz kaldığı düşüncesidir. 2B modellemenin yetersiz kaldığı alanlarda 3B modelleme çalışmaları hız kazanmıştır.

Gerçeğe en yakın modelleme çalışmaları hem Dünya’da hem de Türkiye’de örneklendirilmektedir. Akıllı şehirlerde tarihi binaların modellenmesi ve sorgulanması başlıklı bu çalışmada 2B veriler 3B bir ortama aktarılarak, modellenip sorgulama işlemlerinin yapılmasına olanak sağlamıştır. Ankara iline ait olan Hamamönü mevkiinde bulunan tarihi evler için birçok aşamalar kaydedilmiştir.

Bu kapsamda yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuç ürün ArcGIS Online’a yüklendikten sonra sorgulanabilir, sözel öznitelik bilgileri kontrol edilebilmektedir. Fakat CE yazılımında, ArcGIS yazılımında olduğu gibi bilgilerin sorgulanması henüz çok kapsamlı olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmanın tüm binalarda ve yapılarda hatta tüm nesnelere uygulanabilir olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan bu çalışma ile gelecekte yapılması planlanan çalışmalara örnek teşkil etmesi hedeflenmiştir. Böylelikle, Akıllı şehirlerde Akıllı turizm gibi kavramların daha geniş kitlelere ulaşılabileceği platformların artmasına olanak sağlayacaktır. Çalışmada özellikle görselliğe önem verilmiştir. Çünkü gerçek dünyaya uyarlama işlem adımlarında biri de görsellerin doğru bir şekilde ifade edilmesidir. Bu noktada görsellik hem ülke tanıtımında hem de kültür turizminde önemli bir yer tutmaktadır.

Bu tez çalışmasında karşılaşılan en önemli sorunlardan biri, veri teminin çok zor bir şekilde sağlanmasıdır. Konu tarihi alanlar olması sebebiyle kurumlar bilgileri paylaşmakta oldukça zorluk çıkarmıştır. Buna rağmen ilgili yazışmalar yapılarak veriler temin edilmiştir. Bir diğer sorun, 3B veri üretiminin oldukça zaman ve emek almasıdır. Modelleri bir araya getiren parçaların tek tek oluşturulmasından dolayı da ayrıntı düzeyi artar ve bu da işgücü miktarını etkiler. Bu durumda, veri hacminin artması ve orta düzey bilgisayarlarla bu verilerin işlenmesi bir başka sorun olarak ortaya çıkmıştır. Bunlara ek olarak kullanılan yazılımların ücretli olmasından dolayı çalışmada, üretici firmalar tarafından kullanıcılara sağlanan deneme sürümü kullanılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında binaların modellenebilmesi için rölöve bilgilerine ihtiyaç duyulmuştur. Fakat bu verileri temin etmek mümkün olmamıştır. Bu yüzden tarihi binaların iç modellemesi yapılamamıştır. Bu gibi sorunlarla karşılaşılmasını önlemek adına verilere ulaşımın daha kolay şekilde olabilmesi için, verilerin elektronik ortama aktarılıp uzun süreçleri beklemeden kullanıcılara sunulması öneri niteliğindedir.

Bu uygulama, önümüzdeki günlerde yapılacak çalışmalar ve planlamalarla, her bir bağımsız bölüm kendi içerisinde modellenerek gerekli bütün geometrik ve öznitelik bilgileriyle değerlendirilmeye hazır hale getirilerek özellikle gayrimenkul değerlendirmesi ve 3B kadastro çalışmalarında kullanılabilir. Bu katma değerler de göz önüne alındığında bu çalışmanın gelecek çalışmalara küçük ölçekli bir altlık oluşturması düşünülmektedir.

Ayrıca 3B CBS'nin geleceğini veya gelişme hızını, hem kurumlardan bilgilerin sağlanmasının kolaylığı, yazılım alanında kendini geliştiren kişilerin artırılması hem de bilgisayar donanımındaki gelişmeler etkileyecektir.

## KAYNAKÇA

- Asri, İ., & Çorumluoğlu, Ö.** (2007). Büyük Objelerde Tarihi Dokümantasyon ve Tanıtım Amaçlı Gpsit Destekli Digital Fotogrametrik 3b Modelleme.
- Corumluoğlu, O., Kalaycı, I., Durduran, S., Altuntas, C., Asri, I., & Onal, A.** (2003). Gps Virtual Station Technique (Gpsit) And Its Challenge In Terrestrial Photogrammetric Applications.
- Tecim, V.** (1999). Bilgi Teknolojilerinde Yeni Bir Gelişme: Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bilgi Sistemleri Arasındaki Yeri. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 1-12.
- Hamilton, A., Trodd, N., Zhang, X., Fernando, T., & Watson, K.** (2001). Learning through visual systems to enhance the urban planning process. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(6), 833-845.
- Yıldırım, E.** (2012). Üç boyutlu kent modelleri ve internet erişimi.
- Duncan, E. E., & Abdul Rahman, A.** (2015). 3D GIS for mine development-integrated concepts. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 29(1), 3-18.
- Pelendecioğlu, B.** (2015). *Üç boyutlu CBS ile tarihi eserlerin modellenmesi* (Master's thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Varol, Ç.** (2017). Sürdürülebilir gelişmede akıllı kent yaklaşımı: Ankara'daki belediyelerin uygulamaları. *Çağdaş Yerel Yönetimler*, 26(1), 43-58.
- Arenas, A. E., Goh, J. M., & Urueña, A.** (2019). How does IT affect design centricity approaches: Evidence from Spain's smart tourism ecosystem. *International Journal of Information Management*, 45, 149-162.
- Friedjungov, M.,** (2017) "Data Management Technologies And Applications," Vol. 737, No, Pp. 3-26
- Sadioğlu, U., TİRYAKİ, V., & Korkmaz, A.** (2016). Altındağ Belediyesi Örneği Üzerinden Türkiye'de Kentsel Dönüşüm Politikasının Değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 71(3), 757-79
- Url-1** <<https://Cbsakademi.İbb.İstanbul/Proje/3b-Şehir-Modeli/>>, (Erişim tarihi:08 Aralık 2018).
- Url-2** <<https://cbsakademi.İbb.İstanbul/Proje/3b-Şehir-Modeli/>>, (Erişim tarihi: 01.03.2019).
- Url-3**<[https://www.Ankara.Bel.Tr/Ankara-Şehir Rehberi/Ankara-Nin-Kisa-Tarihi/](https://www.Ankara.Bel.Tr/Ankara-Şehir_Rehberi/Ankara-Nin-Kisa-Tarihi/)>, (Erişim tarihi 2018
- Url-4** < <http://Blog.Esriturkey.Com.Tr/Category/Teknik/3dgis/>>, (Erişim tarihi, 10.01.2019)

- Url-5** < <https://www.Esri.Com/En-Us/Arcgis/Products/Esri-CityEngine/Overview>>, (Erişim tarihi, 01.03.2019)
- Url-6** < <https://Desktop.Arcgis.Com/En/CityEngine/Latest/Cga/CityEngine-Cga-Introduction.Htm>> (Erişim tarihi, 2018)



## **BÖLÜM 14**

### **SERAMİK ELEKTRONİK ISI ALICI ALTLIK ÜRETİMİ İÇİN MALZEME TETRAHEDRONU KULLANILARAK ÜRETİM TASARIMI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME**

*Pınar UYAN<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Metalurji Programı, Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,  
11210, Bilecik, Türkiye  
Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bilecik Şeyh Edebali  
Üniversitesi, 11230, Bilecik, Türkiye <https://orcid.org/0000-0003-0411-9773>

## 1. GİRİŞ

Bir malzeme üretmek istiyoruz. Öncelikle kendimize bazı sorular sormalyız:

- Bu malzeme hangi alanda kullanılacak?
- Kullanım alanında hangi özelliklere sahip olmalı?
- Bu özelliklere en uygun hangi malzeme seçilebilir ya da üretilebilir?
- Mevcut uygun bir malzemenin özellikleri nasıl geliştirilebilir?

İşte bu sorularla başlarsak ve bu malzemeyi hangi metotla üretebiliriz? diye düşünersek, seçeceğimiz üretim yönteminin ve proses parametrelerinin, malzememizin özelliklerini değiştireceğini göz önüne almalıyız.

Yukarıda sözü edilen bu ve bunun gibi çok daha fazla soruyu kendilerine sorarak ilerleyen Malzeme Bilimciler ‘Malzeme Tetrahedronu’ diye adlandırılan şematik gösterimde görülen mantığı kullanarak ilerlerler. Malzeme bilimciler, her malzemenin malzeme yapısını ve özelliğini, üretimde kullandıkları yöntemlerin parametreleriyle değiştirebilirler. Malzemelerin yapıları, özellikleri ve üretim prosesi ilişkilerini kurarak ilerlerler, yeni malzemeler geliştirirler veyahut mevcut malzemelerin özelliklerini iyileştirebilirler. Bu nedenle Malzeme Biliminde bu ilişkiler büyük öneme sahiptir. Konunun daha net anlaşılabilmesi adına, Şekil 1 a’da sözü edilen malzeme tetrahedronu şematik olarak gösterilmiştir.

Elektronik devre soğutucu altlık malzemesi üretmek istediğimizi düşünelim. Bu malzemenin elektronik sistemlere entegre edildiğini, ısıyı dağıtması gerektiğini, dayanımının yüksek olması gerektiğini ve elektronik olarak iletken olmaması gerektiğini düşündüğümüzde ve bu özellikleri elde edebilmek amacıyla toz metalurjisi yöntemini seçtiğimizde şu soruları soracak olursak;

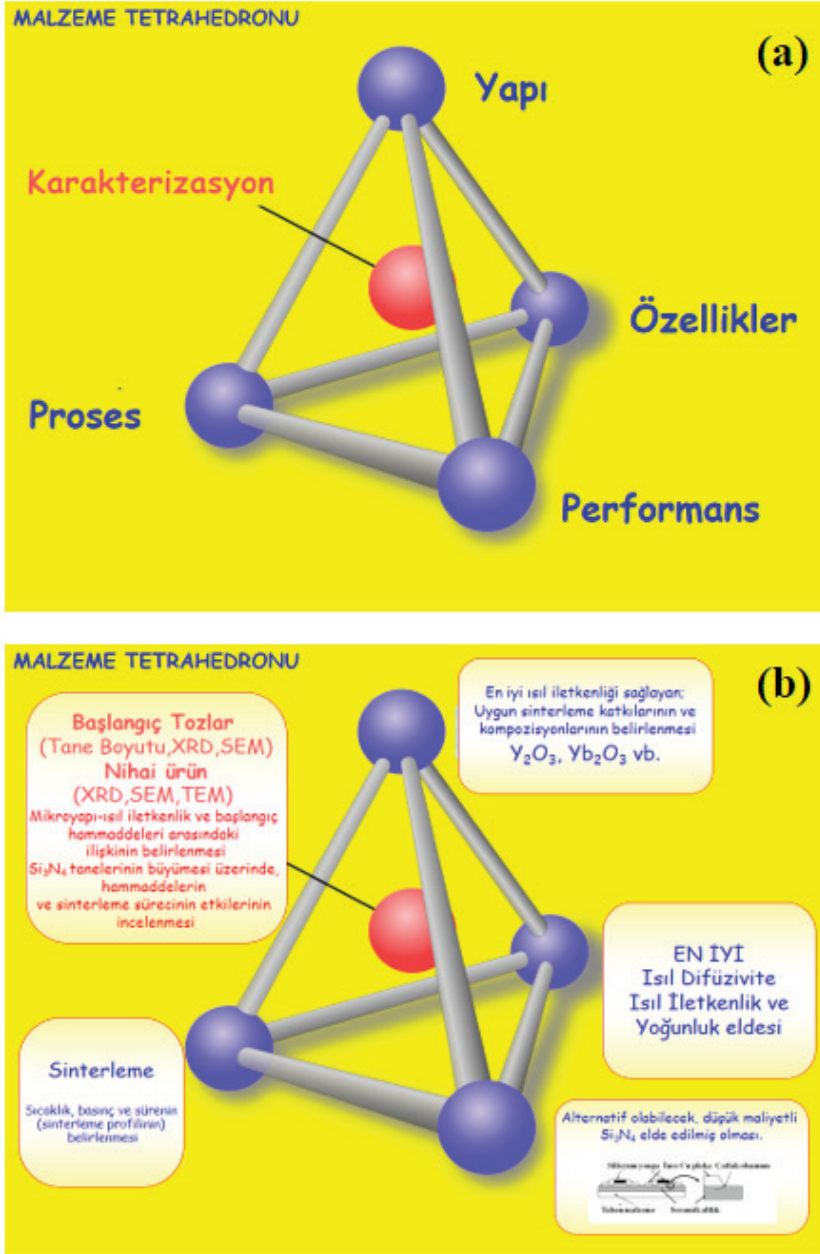
- Malzemeyi hangi sıcaklıkta ve sürede sinterleriz?
- Hangi katkıları ilave ederek başarılı bir sinterleme gerçekleştiririz?

Tüm bu soruların yanıtı için sağlam bir literatür taraması yapmalıyız. Tabi hammaddeden başlayarak üretimin her aşamasında karakterizasyon yöntemlerini kullanmak da oldukça önemli bir konudur. Bu amaçla silisyum nitrür üretmek için, sözü edilen ilişkilerin kurulduğu şematik gösterim Şekil 1. b’ de verilmiştir.

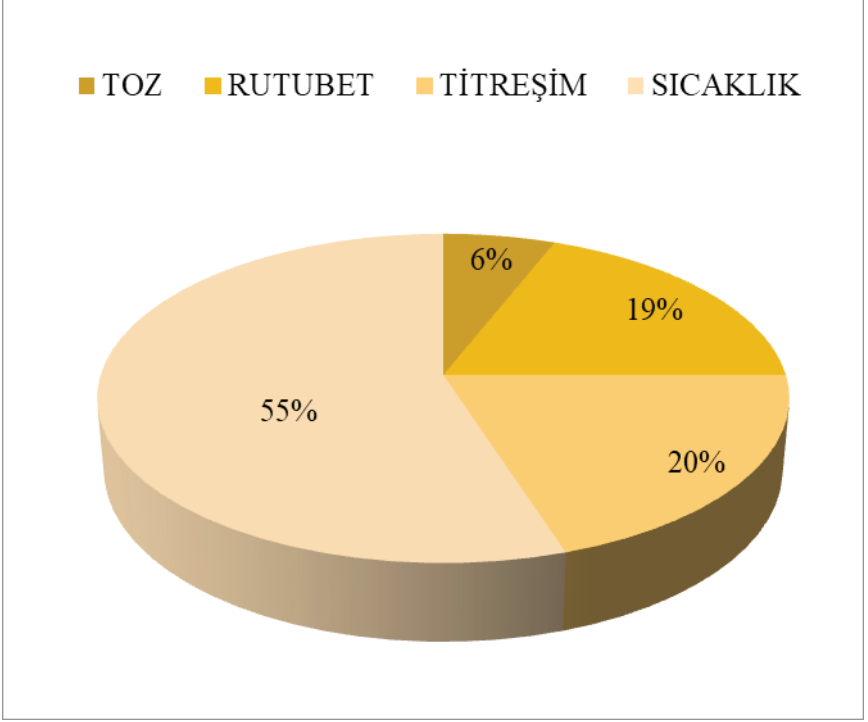
Elektronik devre soğutucu altlık malzemesi üretmek istiyoruz. Soğutucular genellikle, elektronik cihazlarda sıcaklığın belli aralıkta tutulması amacıyla yaygın şekilde kullanılırlar. Elektronik sistemlerde meydana ge-

len arızaların başında % 55 oranında sıcaklık gelmekte olup, bunu takiben, titreşim, nem ve tozdan kaynaklı diğer arızaların oranları sırasıyla % 20 , % 19 ve % 6'dır (Applications, n.d.)(Khattak & Ali, 2019). Elektronik cihazlarda bozulmayı etkileyen faktörler Şekil 2'de verilmiştir. Elektronik devrelerde sıcaklığın artmasından kaynaklanan arızaların giderilmesi elektronik cihazlarda kullanılma ömürlerini artıracığından, enerji maliyeti açısından çok önemli bir konudur (Doğan, vd., 2020) ve elektronik devrelerdeki ısı artışını azaltabilmek amacıyla özellikleri geliştirilmiş malzemelerin üretilmesinin ihtiyacı açıktır (Hirao, Zhou, Hyuga, Ohji, & Kusano, 2012), (Hirao, Zhou, Miyazaki, & Hyuga, 2017). Tam da bu nedenlerle yüksek termal iletkenliğe sahip altlık malzemeleri üretilmesi gerekmektedir.

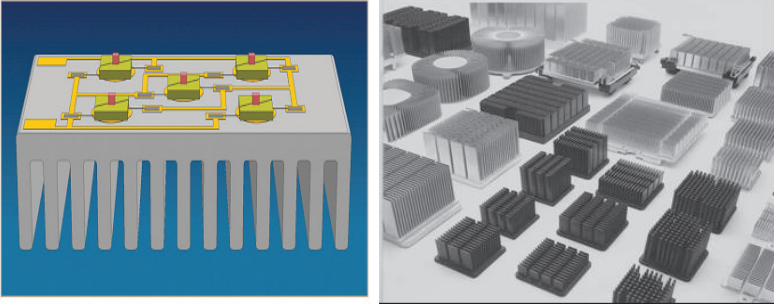
Bilhassa elektronik endüstrisi gelişmiş Ülkelerde elektronik/optoelektronik cihazlarda soğutma sağlayan ısı alıcılar (heatsink) yaygın üretilmektedir. Sıcaklık değişimlerinin farklılığı sonucu oluşan termal gerilmelerle, altlıklarda çatlaklar oluşabileceğinden, üretilen altlıkların termal iletkenliğinin ve mukavemetinin yüksek olması gereklidir (Hirao, Zhou, Hyuga, Ohji, & Kusano, 2012). Buna ilave olarak, elektriksel yalıtkanlıkları da olmalıdır. Bazı ısı alıcı türleri Şekil 3'de ve silisyum nitrür altlık örneği Şekil 4'de verilmiştir.



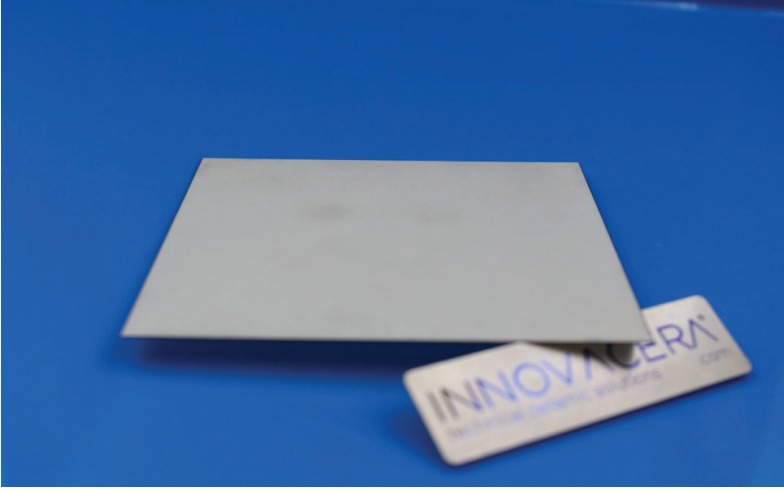
Şekil 1. (a) Malzeme tetrahedronu ve (b) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ıleri teknoloji seramiği üretebilmek amacıyla kurulan ilişki



Şekil 2. Elektronik cihazlarda bozulmayı etkileyen faktörler (Khattak & Ali, 2019).



Şekil 3 Bazı ısı alıcı tipleri (Issue 2 2008 Power Electronics Europe Ceramic Heatsink Provides Innovative Thermal Management, n.d.)(Thimm & Ag, 2008)



**Şekil 4.** Silisyum nitrür altlık (Thimm & Ag, 2008) (“Silicon Nitride Ceramic Substrate for Electronics – Innovamats- INNOVACERA® Store,” n.d.)

## 2. NEDEN SİLİSYUM NİTRÜR?

$\text{Si}_3\text{N}_4$  seramik malzemeler, yüksek mukavemete sahip ve yüksek kırılma tokluğuna sahip malzemeler olup, yüksek sıcaklık yapısal seramikleri olarak bilinmektedirler.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  seramik malzemeler bu yüksek termal iletkenlikleri, elektriksel dirençleri, kırılma toklukları ve mukavemet özellikleri nedeni ile elektrikli cihazlarda önemli kullanıma oranına sahiptirler (Hirao, Watari, Hayashi, & Kitayama, 2001). Termal iletkenliklerinin daha da artırılması, elektronik cihazlardaki ısı alıcı ve altlık malzemeleri olarak, bu ileri teknoloji seramiği  $\text{Si}_3\text{N}_4$  malzemenin yeni teknolojik uygulamalarının da önünü açacak bir durumdur.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ve diğer seramik esaslı malzemelerde termal iletkenlik-elektriksel iletkenlik ve termal iletkenlik-mukavemet ilişkisi Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir (Uyan 2015).

## 3. $\text{Si}_3\text{N}_4$ SERAMİKLERİNDE TERMAL İLETKENLİĞİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

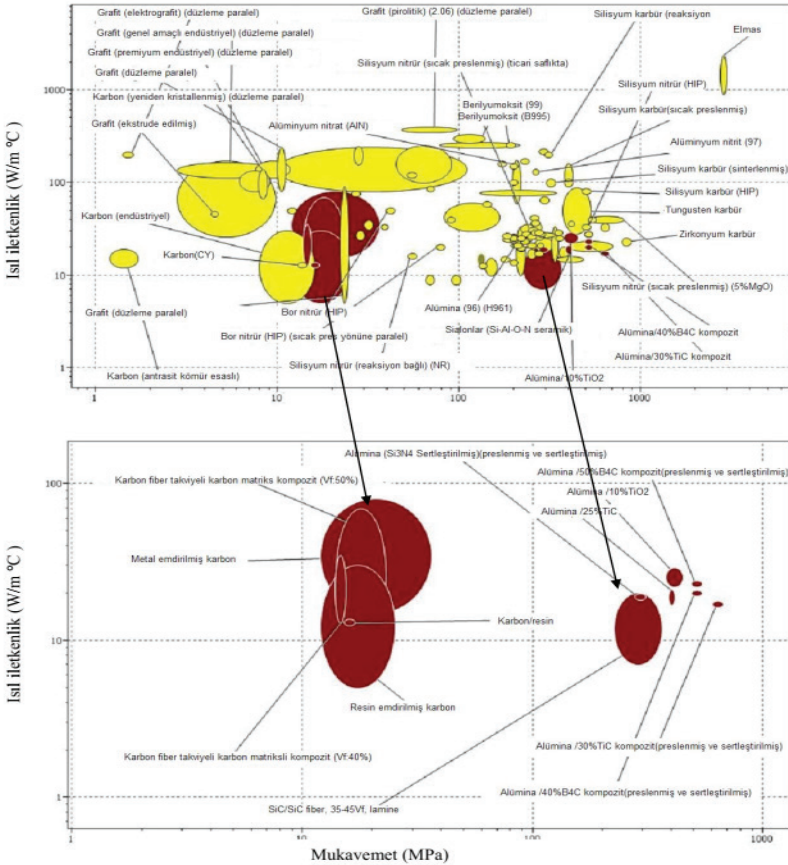
$\text{Si}_3\text{N}_4$  seramiğin termal iletkenliğini etkileyen faktörlerden bazıları şu şekilde sıralanabilir:

### 3.1. Üretim yönteminin etkisi

Sinterleme koşulları optimizasyonu, mikroyapı kontrol edilebilir ve mekanik özellikler geliştirilebilir. Reaksiyon bağlı sinterleme ve GPS gibi farklı iki yöntemle  $\text{Si}_3\text{N}_4$  üretiminde termal iletkenlik, mikro yapı ve bileşim etkisi incelenmiş,  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  yerine  $\text{Y}_2\text{O}_3$  kullanımının yoğunluk, mikroyapı ve termal iletkenlikte çok etkili olmadığı fakat, reaksiyon-bağlı sinterlemeyle yoğunluk, mikro yapı ve termal iletkenlikte önemli etki

olduğu anlaşılmıştır.  $Yb_2O_3$  yerine  $Y_2O_3$  ilave edilmesi sinterleme sonrası ısıl işlem, bi-modal mikroyapıya neden olmuş ve nitrürleme esnasında geniş, çubuksu  $\beta$  çekirdek oluşmasına neden olmuştur.  $Yb_2O_3$  yerine  $Y_2O_3$  kullanılması, reaksiyon bağlı sinterlemeyle üretilen numune yüksek yoğunlukta üretilmesine rağmen, mikroyapıdaki farklılıklardan dolayı termal iletkenliğin azalmasına sebep olmuştur. (Zhu, Zhou, & Hirao, 2006).

$Yb_2O_3$  ilaveli reaksiyon bağlı sinterlemeyle termal iletkenlik 93 W/m.K, GPS ile 91 W/m.K olup,  $Y_2O_3$  ilaveli reaksiyon bağlı sinterlemeyle üretilmiş numunelerde termal iletkenlik 86 W/m.K, GPS ile üretilen numunelerde termal iletkenlik, 85 W/m.K ölçülmüştür. Mikroyapıya ve termal iletkenliğe ilavelerin bileşiminin etkisi, büyük oranda üretimde kullanılan metod ile değişmektedir (Zhu et al., 2006).



Şekil 5.  $Si_3N_4$  seramik ve bazı seramiklerin termal iletkenlik-mukavemet ilişkisi (Uyan 2015)





### 3.1.2. Toz yatak kullanımı

$\text{Si}_3\text{N}_4$  seramiklerin termal iletkenliğine, bor nitrür pota içinde yine bor nitrürle yatak yapılmış, yataklama koşulları etkisi incelenmiştir. Yataklama işleminin yoğunlaşmayı etkilemediği fakat ağırlık kaybı, kristalin ikincil fazlar ve mikroyapıyı etkilediği görülmüş, ağırlık kaybı ile, termal iletkenlik, tane boyutundan bağımsız doğrusal artmıştır. Numune sayısının artmasıyla, ağırlık kaybı azalmış, bundan dolayı termal iletkenliği düşürmüştür. Optimum koşul (yani pota içinde 1 adet numune olması), termal iletkenlikte, önemli bir artışa neden olmuştur (Zhu, Sakka, Zhou, & Hirao, 2006).

Bor nitrür (BN) pota içindeki numunelerin sayısı ağırlık kaybını etkiler ve bundan dolayı termal iletkenliği etkilediği, Bor nitrür potada içindeki bor nitrür tozunun termal iletkenliğe, daha az veya hiç etkisinin olmadığı görülmüştür. Artan numune sayısı be bunun yanı sıra tamamen yataklama koşullarından kaynaklanmış ağırlık kaybı azalışı termal iletkenliği azaltmıştır (Zhu, Sakka, et al., 2006)

### 3.2. Kristal yapı hataları ve ikincil fazlar

Yapıdaki noktasal, çizgisel, düzlemsel hatalar kristal hatalar olup, termal iletkenliği arttırabilmek için, kristal yapıdaki kusurları azaltmak gerekir. Çünkü kristal kafesteki kusurlar fonon saçılımını arttırdığından termal iletkenliği düşürür. Örneğin  $\text{Si}_3\text{N}_4$  kristallerinde oksijenin çözünmesi, termal iletkenliği düşürür. Latisteki oksijeni azaltmak için, nadir toprak oksitler kullanılmalı ve sıvı fazda azot-oksijen oranı arttırılmalıdır (Kitayama et al., 2000).  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  ve  $\text{MgO}$  ilave edilerek termal iletkenlik 120 W/m.K,  $\text{MgO}$  kullanmak yerine  $\text{MgSiN}_2$  kullanıldığında termal 140 W/m.K elde edilmiştir (Hayashi, Hirao, Toriyama, Kanzaki, & Itatani, 2001).  $\text{Si}_3\text{N}_4$  seramiklerde nokta hatalarının daha çok olması nedeni ile termal iletkenliği arttırmak için en fazla noktasal hataların azaltılması için çalışılmıştır (Watari, 2001). Sistemdeki  $\text{Al}_2\text{O}_3$  artışıyla  $\text{SiAlON}$  katı çözeltisi oluşumundan dolayı termal difüzyivitenin azaldığı tespit edilmiştir (Lange, Siebeneck, & Hasselman, 1976).

Mikroyapıdaki ikincil fazlar önemli olup bu fazların tür, miktar ve dağılımları termal iletkenliği etkiler. Örneğin oksinitrür cam, 1 W/m.K gibi çok düşük termal iletkenliğe sahiptir.  $\text{SiO}_2$  ihtiva eden sıvı fazın varlığı nedeniyle, ikincil fazın büyük kısmı camsı faz olarak bulunur ve kristalleştirmek zordur.  $\text{MgO}$  ilavesiyle termal geçirgenlik % 3  $\text{MgO}$  ilavesine kadar artmış daha fazla ilave ile azalmıştır. Artışın yoğunlaşmayla ilgili olduğu, azalışınsa, düşük termal difüzyiviteli camsı tane sınır faz miktarının artışı nedeniyle olduğu belirtilmiştir (Ziegler & Hasselman, 1981).  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Y}_2\text{O}_3$  gibi farklı oksit ilaveli ve oksit ilavesiz sıcak presleme ile yoğunlaştırılmış numunelerde en yüksek termal iletkenlik %

4 MgO içeren sistemde, bulunmuştur. En olumsuz sonuçlar,  $Al_2O_3$  içeren sistemlerde elde edilmiştir (Tsukuma vd. 1981).  $Y_2O_3$ - $Nd_2O_3$  ilaveli GPS ile  $Si_3N_4$  üretilmiş bir çalışmada, tane büyümesi sonucunda ikili tane keşimlerinin olduğu bölgelerde azalma olmuş ve termal iletkenlik artmıştır (Okamoto, Hirosaki, Ando, Munakata, & Akimune, 1998).  $Si_3N_4$  seramiklerinde tane boyutları  $1\mu m$ 'den küçük iken, termal iletkenliğin, tane sınır camısı faz ve latisteki oksijenden, tane boyutu  $1\mu m$ 'den büyük iken, amorf camısı fazdan çok değil, latisteki oksijen miktarından etkilendiği görülmüştür (Kitayama, Hirao, Toriyama, & Kanzaki, 1999).

### 3.3. Mikroyapı

$Si_3N_4$  için tane sınır fazının miktarı ve vizkozitesi, çözünme ve de tane büyümesi için önemlidir. Gözenekli yapı, uzamış  $\beta$  tanelerinin büyümelerini engeller (Huang, Shih, Lu, & Chen, 2000). GPS'le üretilmiş  $Si_3N_4$ 'de, yerel termal iletkenlik dağılımını açığa çıkaran mikrotermal analizör ( $\mu TA$ ) ile tanelerde termal iletkenliğin, tane sınırlarından daha yüksek olduğu doğrulanmıştır (Ye & Okada, 2004). Farklı sıcaklıklarda  $Y_2O_3$  ve MgO ile sinterlenen  $Si_3N_4$  seramiklerin termal iletkenliği, mikroyapısı incelenmiştir. Farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş  $Si_3N_4$  seramiklerin termal iletkenliği birbirlerinden farklı bulunmuş,  $Si_3N_4$  seramiğin mikro yapısının, tane sınırı fazında ve tanelerde farklı bileşenler içerdiği gösterilmiştir (Kitayama, Hirao, & Kanzaki, 2006) (Xu, Ning, Zhou, & Lin, 2003).

### GENEL DEĞERLENDİRME

Yüksek mukavemete ve yüksek kırılma tokluğuna sahip  $Si_3N_4$  seramik malzemeler, yüksek sıcaklık yapısal seramikleri olarak bilinmektedirler. Silisyum nitrür altlık malzemelerinde gereklilik olan yüksek termal iletkenlikte  $Si_3N_4$  seramiğini, elektronik özellikleri ve mekanik özellikleri olumsuz etkilemeden üretebilmek için, öncelikle termal iletkenliği etkileyen parametreler bilinip, bu parametreleri değiştirerek üretim yapılabilir. Bu manada, malzeme tetrahedronundan faydalanarak proses-yapı-özellik ilişkileri kurularak daha sağlıklı ilerlenebilir.

- Farklı üretim metodları farklı özelliklere neden olur.
- Mikroyapıya ve termal iletkenliğe ilavelerin etkisi, büyük oranda üretimde kullanılan metodla değişmektedir
- Sinterleme atmosferi termal iletkenliği etkiler.
- Sinterlemede toz yatak kullanımı ve üretim potasındaki numune sayısı termal iletkenliği etkiler.
- Tane boyutu ve tane sınır fazları termal iletkenliği etkiler.

$\text{Si}_3\text{N}_4$  seramik malzemeler bu yüksek termal iletkenlikleri, elektriksel dirençleri, kırılma toklukları ve mukavemet özellikleri nedeni ile elektrikli cihazlarda önemli kullanılma oranına sahiptirler ve sözü edilen bu parametrelerin optimizasyonu ile daha yüksek termal iletkenlikte üretilebilirler.

## KAYNAKLAR

- Applications, L. E. D. (n.d.). *Ceramic in LED Applications Innovative Thermal Design For High Power LED Applications New Innovative Product : Ceramic Heat Sink*.
- Doğan, H. , Basyigit, İ. B. & Genc, A. (2020). Elektronik Devrelerdeki Silindirik Soğutuculardan Kaynaklanan Elektromanyetik Girişimlerin 0-10 GHz Bandında Araştırılması . *Erzincan University Journal of Science and Technology* , 13 (2) , 502-510 . DOI: 10.18185/erzifbed.634373
- Hayashi, H., Hirao, K., Toriyama, M., Kanzaki, S., & Itatani, K. (2001). Mg-SiN<sub>2</sub> Addition as a Means of Increasing the Thermal Conductivity of  $\beta$ -Silicon Nitride . *Journal of the American Ceramic Society*. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.2001.tb01141.x>
- Hirao, K., Watari, K., Hayashi, H., & Kitayama, M. (2001). High Thermal Conductivity Silicon Nitride Ceramic. *MRS Bulletin*, 26(6), 451–455. <https://doi.org/10.1557/MRS2001.115>
- Hirao, K., Zhou, Y., Hyuga, H., Ohji, T., & Kusano, D. (2012). High thermal conductivity silicon nitride ceramics. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 380–384. <https://doi.org/10.4191/kcers.2012.49.4.380>
- Hirao, K., Zhou, Y., Miyazaki, H., & Hyuga, H. (2017). Improvement in thermal conductivity of silicon nitride ceramics via microstructural control and their application to heat dissipation substrates. *Funtai Oyobi Fummatu Yakin/Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, 64(8), 439–444. <https://doi.org/10.2497/jjspm.64.439>
- Huang, J. L., Shih, Z. H., Lu, H. H., & Chen, C. Y. (2000). Effects of post heat-treatment on the microstructure and fracture behaviors of Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-doped Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. *Materials Chemistry and Physics*, 63(2), 116–121. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(99\)00199-6](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(99)00199-6)
- Issue 2 2008 Power Electronics Europe Ceramic Heatsink Provides Innovative Thermal Management*. (n.d.). Retrieved from [www.ceramtec.com](http://www.ceramtec.com)
- Khattak, Z., & Ali, H. M. (2019). Air cooled heat sink geometries subjected to forced flow: A critical review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130, 141–161. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2018.08.048>
- Kitayama, M., Hirao, K., & Kanzaki, S. (2006). Effect of Rare Earth Oxide Additives on the Phase Transformation Rates of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. *Journal of the American Ceramic Society*, 89(8), 2612–2618. <https://doi.org/10.1111/J.1551-2916.2006.01106.X>
- Kitayama, M., Hirao, K., Toriyama, M., & Kanzaki, S. (1999). Thermal Conductivity of  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>: I, Effects of Various Microstructural Factors. *Journal of the American Ceramic Society*, 82(11), 3105–3112. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.1999.tb01141.x>

g/10.1111/J.1151-2916.1999.TB02209.X

- Kitayama, M., Hirao, K., Tsuge, A., Watari, K., Toriyama, M., & Kanzaki, S. (2000). Thermal Conductivity of  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>: II, Effect of Lattice Oxygen. *Journal of the American Ceramic Society*, 83(8), 1985–1992. <https://doi.org/10.1111/J.1151-2916.2000.TB01501.X>
- Lange, F. F., Siebeneck, H. J., & Hasselman, D. P. H. (1976). Thermal Diffusivity of Four Si-Al-O-N Compositions. *Journal of the American Ceramic Society*, 59(9–10), 454–455. <https://doi.org/10.1111/J.1151-2916.1976.TB09521.X>
- Akbulut, A., (2009). Silisyum Nitrür Tozunun Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,MgO,MgF<sub>2</sub> Sinterleme İlaveleri Kullanılarak Sinterlenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Enstitü Metal Eğitimi ABD.*
- Okamoto, Y., Hirosaki, N., Ando, M., Munakata, F., & Akimune, Y. (1998). Effect of sintering additive composition on the thermal conductivity of silicon nitride. *Journal of Materials Research*. <https://doi.org/10.1557/JMR.1998.0474>
- Pullum, O. J., & Lewis, M. H. (1996). The Effect of Process Atmosphere on the Intergranular Phase in Silicon Nitride Ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 16(11), 1271–1275. [https://doi.org/10.1016/0955-2219\(96\)00045-3](https://doi.org/10.1016/0955-2219(96)00045-3)
- Silicon Nitride Ceramic Substrate for Electronics – Innovamats- INNOVACE-RA® Store. (n.d.). Retrieved December 19, 2022, from <https://www.innovamats.com/Industries/silicon-nitride-ceramic-substrate/>
- Thimm, A., & Ag, C. (2008). *Ceramic Heatsink Provides Innovative Thermal Management*. (2), 32–33.
- Tsukuma, K., Shimada, M. ve Koizumi, M., “Thermal Conductivity and Microhardness of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> with and without Additives”, *Am. Ceram. Soc. Bull*, 60, 910-912, 1981
- Uyan, P. (2015) Yüksek ısı iletkenliğe sahip silisyum nitrür üretimi ve karakterizasyonu, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,34-35.
- Watari, K. (2001). High thermal conductivity non-oxide ceramics. *Nippon Seramikusu Kyokai Gakujutsu Ronbunshi/ Journal of the Ceramic Society of Japan*. <https://doi.org/10.2109/jcersj.109.S7>
- Xu, W., Ning, X. S., Zhou, H. P., & Lin, Y. B. (2003). Study on the thermal conductivity and microstructure of silicon nitride used for power electronic substrate. *Materials Science and Engineering: B*, 99(1–3), 475–478. [https://doi.org/10.1016/S0921-5107\(02\)00483-X](https://doi.org/10.1016/S0921-5107(02)00483-X)
- Ye, J., & Okada, A. (2004). Micro-thermal analysis for advanced silicon nitrides. *Journal of the European Ceramic Society*, 24(2), 441–448. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(03\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(03)00208-5)

- Zhu, X., Sakka, Y., Zhou, Y., & Hirao, K. (2006). The Effect of Embedding Conditions on the Thermal Conductivity of  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ . *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 114(1335), 1093–1096. <https://doi.org/10.2109/JCER-SJ.114.1093>
- Zhu, X., Sakka, Y., Zhou, Y., & Hirao, K. (2006). The Effect of Embedding Conditions on the Thermal Conductivity of  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ . *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 114(1335), 1093–1096. <https://doi.org/10.2109/JCER-SJ.114.1093>
- Zhu, X., Zhou, Y., & Hirao, K. (2006). Effect of Processing Method and Additive Composition on Microstructure and Thermal Conductivity of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  Ceramics Mechanical testing of particular ceramic products, such as thin substrates View project Effects of processing method and additive composition on microstructure and thermal conductivity of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ceramics. *Article in Journal of the European Ceramic Society*, 26, 711–718. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2005.07.027>
- Ziegler, G., & Hasselman, D. P. H. (1981). Effect of phase composition and microstructure on the thermal diffusivity of silicon nitride. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/BF00738642>
- (Zhu, Zhou, & Hirao, 2006).(Zhu, Zhou, et al., 2006).(Nitrür et al., 2009) (Pullum & Lewis, 1996) (ZHU, SAKKA, ZHOU, & HIRAO, 2006)[66].(ZHU et al., 2006)(Kitayama et al., 2000). (Hayashi, Hirao, Toriyama, Kanzaki, & Itatani, 2001). (Watari, 2001). (LANGE, SIEBENECK, & HASSELMAN, 1976).
- (Ziegler & Hasselman, 1981). (Okamoto, Hirosaki, Ando, Munakata, & Akimune, 1998). S (Kitayama, Hirao, Toriyama, & Kanzaki, 1999).(Huang, Shih, Lu, & Chen, 2000). (Ye & Okada, 2004). (Kitayama, Hirao, & Kanzaki, 2006) (Xu, Ning, Zhou, & Lin, 2003).

## ***BÖLÜM 15***

### **KIRŞEHİR İLİ SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIMDA BİSİKLET KULLANIMI YAYGINLIĞI VE BİSİKLET YOLLARININ ANALİZİ ÜZERİNE ARAŞTIRMA**

*Hatice Canan GÜNGÖR*<sup>1</sup>

*Yüksel YÖNET*<sup>2</sup>

*Sultan HASKILIÇ*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dr.Öğ.Üy. Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram MYO Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, ORCID:0000-0002-5563-9552

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-9589-518X

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-1443-6713

## GİRİŞ

Devlet, ulaşımda en başta güvenliği düşünmektedir. Halka emniyetli bir ulaşım için şehircilik anlayışında güvenli yolların, sinyalizasyonların oluşturulmasıyla gerçekleşmektedir. Bunların en başında gelen bisiklet yollarıdır. (Şaplıoğlu ve Aydın, 2018)

Bisiklet yıllardır sadece çocukların kullandığı bir araç olarak görülse de günümüzde aslında sadece o zamanlarda değil hayatımızın her anında kullanılarak hem kısa mesafede kullanımından, hem dünyaca sorun haline gelen sağlıksız yaşama karşı, hem de ekonomik açıdan bisiklet kullanımının önemi anlaşılmasına başlanmıştır.(Landis, 1996)

Diğer ulaşım araçlarıyla kıyaslandığında; başta yakıt tasarrufu olarak ön planda olsa da, otomobiller için yol yapım maliyeti ve kapladığı alan olarak daha az olması gibi olumsuzlukların yanında gürültü, hava kirliliği ve taşıtların her yıl doğaya attıkları kullanılmış motor yağlarını da düşünerek bisikletin birçok açıdan tercih sebepleri olduğu daha net bir şekilde anlaşılabilir. (Aydın ve diğ., 2022)

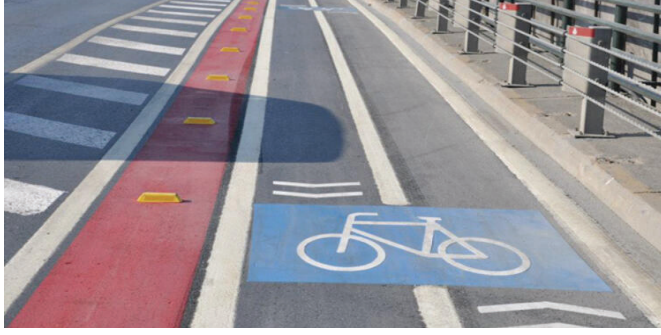
Bisiklet yollarının yapımında yollar ve şeritleri motorlu araçların trafiğini etkilemeyecek şekilde ve bisiklet trafiğinin güvenliğini tehdit etmeyecek şekilde tasarlanmaktadır. Öncelikle kavşak ve yol ayrımlarındaki geçişlerin güvenliği açısından topografyası müsait olan yerlerde ve ulaşım noktaları, merkez bölgelerde ağ oluşturacak sistemler olarak düzenlenir. Bu yollar için farklı ölçeklerde standartlar belirlenerek bir bisiklet yol ağı oluşturulur, normal yollardan ayrılması için de farklı renklerde; genelde mavi veya yeşil olarak tasarlanması yapılır. (Güngör ve İnam, 2021)

Bu çalışmada ilk olarak bisiklet yoluyla ilgili 10 farklı makaleden yararlanılmıştır. Ardından Kırşehir ilinde bisiklet yoluyla ilgili anket yapılmış olup değerlendirilmeye tabi tutulmuştur.

## BİSİKLET VE BİSKİLET ULAŞIM YOLU

Bisiklet; motorsuz, insan gücü ile çalışan araçtır. Bisiklet yolu ise trafiği aksatmadan ulaşım, gezme ve spor yapmak amacıyla yapılmış yollarıdır.

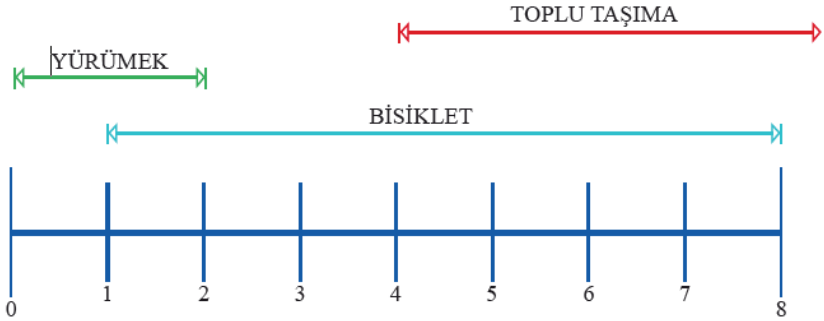




**Şekil 1:** Örnek bisiklet yolu

Bisiklet kullanımının amaçları arasında sağlıklı yaşam, fiziksel aktivite, kolay ulaşım, ekonomik olması yer almaktadır. En önemlilerinde ekonomik olmasıdır. AB ülkelerinde 513 milyar euro katkı sağlamıştır. (Soyalp ve Kozak, 2017)

ABD ve İngiltere’de yapılan araştırmalar sonucu insanların işe gidebilmek için en fazla 10 dakikalık yola istekli olduğu saptanmıştır. Bisikletle olan yolculuklarını ise en fazla 1-5 km arası mesafe katetmeye isteklidirler. Toplu taşıma araçlarında ise 4 km yollar için tercih edilmektedir. Ancak toplu taşıma araçlarının 10 dakika veya daha fazla periyot aralıklarla hizmet verdiği için tercih edilmesi zor olmaktadır. Dolayısıyla bisiklet kullanımı daha avantajlı ve esnekler. (Baran ve Kayan, 2019)



**Şekil 2:** Bisiklet kullanımının kısa mesafede sağladığı esneklik grafiği (Öztürk, 2019)

### Bisiklet Yollarının Dünya’ da ve Türkiye’de Kullanılması

Dünyada 200 şehrin üzerinde bisiklet kullanımı vardır. Avrupa ülkeleri özellikle bisiklet kullanımına değer vermiş, bisikletle ilgili yasalar çıkarmış ve bisiklet yollarını arttırmışlardır. Bisiklet yoluna en çok önem veren ülkeler arasında Çin, Hollanda, Norveç ve Japonya yer almaktadır. Hollanda’da 16 milyon kişiye yaklaşık 18 milyon bisiklet düşmektedir. Ayrıca 2008’de 1.4 milyon bisiklet satışı yapılmıştır. Norveç’te bisiklet kullanımını arttırmak için bisiklet yollarına yaklaşık 1 milyar dolar harcama

yapmışlardır. Japonya’da ise yılda yaklaşık 10 milyon bisiklet satışı yapılmaktadır. (Kös, 2015)



*Şekil 3: Ülkelerde kişi başına bisikletle yapılan günlük mesafeler, (Ankaya ve Aslan, 2020)*

Çin’de yılda 41.000.000 bisiklet üretilmektedir. Ayrıca tüm kullanıcılara uygun olacak şekilde ayrı ayrı üretilmektedir. (Adıyaman, 2019)

Ülkemizde ise bisiklet kullanımı için her yıl yaklaşık 1 milyon bisikletin satıldığı belirtilmektedir. Ancak bu sayısının 75 milyon nüfusa oranla oldukça az olmaktadır. Sebeplerine gelecek olursak; genellikle motorlu taşıtlar için yolların ayrıldığı, alt yapı sorunlarının olması, henüz yeni yeni şehirlerde bisiklet yolu için yatırımların yapılmasıdır. (Mert ve Öcalır, 2010)

Ülkemizde bisiklet yoluyla ilgili Fiziksel Aktivitenin Teşviki projesiyle 2015’te okullara ve üniversitelere yaklaşık 45.000 adet bisiklet dağıtılmıştır. 2016 yılında ise okullara, üniversitelere, kamu kurumlarında 275.000 adet bisiklet dağıtılmıştır. (Url1)

### **Bisiklet Yolu Tasarım Kriterleri (Köseoğlu Ve Güler, 2017)**

Bisiklet yolunun yapılabilinmesi için bazı kriterleri bilmek gereklidir:

- Demografik yapı
- Bisiklet kullanım alışkanlıkları
- Bisiklet kullanım amacı
- Bisiklet kullanımı ve olası güzergahı
- Trafikte yaşanan sorunlar
- Bisiklet alanları ve park sistemleri

- Geleceğe yönelik bisiklet yolu talebi
- Alt yapı eksiklikleri
- Mevcuttaki bisiklet yollarının sürekliliği
- Toplu taşıma sistemi ile entegre olması

Bisiklet yolu yapılabilmesi için komite kurulabilir. Bu komite teknik elemanları, STK üyelerini, akademisyenleri ve bisiklet kullanıcıları barındırabilir. Bisiklet yolu için anketler yapılabilir.

Bisiklet projelendirilmesi aşağıdakiler gibidir: (Biler, 2019)

- Yaya yolundaki bisiklet yolu enine eğimi %2 olmalıdır.
- Azami hız sınırı 25 km/s olmalıdır.
- Boyuna eğim aşağıdaki tablodaki gibi olmalıdır.

**Tablo1.** Boyuna eğime göre önerilen maksimum uzunluk  
**Tablo 1 - Boyuna Eğim – Mesafe Tablosu**

Eğim	Önerilen Maksimum Uzunluk
% 5-6	240 m
% 7	120 m
% 8	90 m
% 9	60 m
% 10	30 m
≥% 11	15 m

Yaya kaldırımında yapılabilecek bisiklet yolu ile ilgili kriterler ve standartlar yönetmelikte belirtildiği gibidir.

## **BİSİKLET YOLUYLA İGİLİ ÇALIŞMALAR**

Bisiklet yoluyla ilgili 10 farklı makale araştırılmıştır. Bu makalelerin ne anlatılmak istendiği kısaca özetlenmiştir.

### **'Bisiklet yollarının belirlenmesi ve kapasite analizi' makalesi**

Bu makalede artan trafik yoğunluğuyla beraber oluşan sorunlara karşın bisiklet yolunun bir çözüm olduğu ve Kastamonu ilinde bisiklet yollarının belirlenmesi amacıyla yapılmış oldukları araştırmaları anlatmıştır. İlk olarak anket çalışmaları yapılmıştır. Ardından ilin yol ağı belirlenip Visum programı aracılığıyla bisiklet yollarının güzergahı belirlenmiştir. (Köseoğlu ve Güler, 2017)

## **‘Ankara ili’nde bisiklet kullanan bireylerin karşılaştıkları sorunlar ve çözüm önerileri ‘Makalesi**

Bu makalede Ankara ilinde bisiklet kullanıcılarının yaşadığı sorunları ve çözüm önerilerini anlatmıştır. Nitel araştırma desenlerinden durum çalışması yöntemi kullanılmıştır. Verilerde kadınların erkeklerden daha çok kullanıcının olduğu tespit edilmiştir. Her bir kullanıcıya sorunların sorulması ve bunun sonucunda fiziki alt yapı uygulamalarının geliştirilmesi, bu konuda kurum ve kuruluşların farkındalık yaratması gerektiği çözümlerine ulaşılmıştır.(Çeyiz ve Koçak, 2015)

‘Kent içi yolların bisiklet kullanımına yönelik ergonomik uygunluğunun kullanıcılar bakış açısına göre değerlendirilmesi : ‘Kastamonu Kuzeykent Örneği ‘ Makalesi

Bu makalede Kastamonu Üniversitesi’nde bisiklet kullanan öğrencilere anket yapıp bisiklet kullanımının ergonomi bilincinin oluşturulması çözümlerine ulaşılmıştır.( Kalaycı ve diğ.,2015)

‘Bisiklet yolu çalışması Bilecik örneği’ Makalesi

Bu makalede Bilecik ulaşım yollarında ne kadarı bisiklet yolu için ayrılmış ve Bilecik’te nasıl yaygınlaştırılabilir olduğu araştırılması yapılmıştır.(Bozkurt, 2016)

‘İstanbul’da otomobil Hegomanyasına karşı bisikletin ulaşım aracı olarak kullanımı: 2015-2016 yılı ‘cyclist Türkiye ‘ bisiklet dergisi içerik analizi’Makalesi

Bu makalede sanayi devriminde yaygınlaşan otomobil kullanımının zararlarının çok olduğunu göstermek ve bisiklet kullanımının daha yararlı ve ekonomik olduğunun araştırılması yapılmıştır. Araştırmada Cyclist Türkiye dergisinden metin analizi yönteminden faydalanılmıştır.(Er, 2018)

‘ Demir yolu bisikleti: Günümüzde kullanılmayan Kırıklereli- Büyük mandıra demir yolu hattı için öneriler’ Makalesi

Bu makalede Kırıklereli-Büyük Mandıra demiryolu hattının kullanılmaması ve bisiklet yolu olarak kullanılabilmesi için yapılan çalışmaları anlatmaktadır. (Günaydın ,2015)

’ Bisiklet yolu güzergahlarının AHY ile kullanıcı odaklı olarak belirlenmesi’ Makalesi

Bu makalede kullanıcı odaklı bisiklet güzergahı belirleme modeli oluşturmak istenmektedir. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Bisiklet yolu için çevresel, fiziksel vs. sınıflandırma yapılmıştır. Bursa ilinin Nilüfer ilçesinin bir kısmı ele alınmış olup CBS ortamında yolun modellemesi yapılmıştır. Yapılan modelleme verimli çalıştığı tespit edilmiştir.(Küçükpehlivan Ve Doğru, 2017)

### ‘Bisiklet kullanımının ortaya çıkardığı pozitif dışsallıklar’ Makalesi

Bu makalede bisiklet kullanımının hem sağlık hem ekonomik hem de olumlu çevresel etkilerinin araştırılmasını anlatır. Bisiklet kullanımının artırılması istenmektedir.(Aydın, 2015)

‘Gaziosmanpaşa Üniversitesi Taşlı çiftlik yerleşkesinde bisikletli ulaşım altyapısı oluşturulması ‘ Makalesi

Bu makalede Taşlı çiftlik yerleşkesinde öğrenciler için yönetmeliğe uygun 9 adet bisiklet güzergahı yapıldığından bahsetmiştir. Bisiklet yolunun yapılmasında amaçların ekonomik, trafik sıkışıklığını azaltma, gürültü ve görüntü kirliliğini azaltmaktır.(Yakar ve diğ., 2017)

‘Kampüsler de yaya ve bisiklet yollarına uygun sürdürülebilir donatı tasarım kriterleri’ Makalesi

Bu makalede KTÜ’ nün öğrencileri için bisiklet donatı takımlarıyla küçük kent modelleri yapılmış olduğunu anlatmaktadır. 88 uzmanın görüşleri alınmıştır. Bu görüşler sonucu bisiklet yolunun hem ekonomik hem ulaşım yoğunluğunun hem de sosyal yaşam üzerinde büyük fayda gördüklerini dile getirmişlerdir. (Kurdoğlu ve diğ., 2018)

Ülkemizdeki bisiklet yolları araştırmaları gösteriyor ki, başta akıllı ulaşım sistemlerine katkıda bulunarak sürdürülebilir ulaşım sisteminin devamlılığını sağlamak adına her şehirde planlama yapılırken bisiklet yolları mutlaka proje içinde yer almalıdır.

## **KIRŞEHİR BİSİKLET YOLU, ANKET ÇALIŞMASI ve DEĞERLENDİRİLMESİ**



*Şekil 4:Kırşehir Meydanı (Url2)*

### **3.1. Kırşehir’de Bisiklet Çalışmalarının Başlaması**

Kırşehir İç Anadolu bölgesinde yer alan tarihi Hititlere kadar uzanan Türkiye’nin bir ilidir. Türkler uçsuz bucaksız bir il olduğu için ilk başlarda ‘kır şehiri’ demişlerdir. Ardından zamanla Kırşehir adını almıştır. (Url1)

Kırşehir yüz ölçümü 6 bin 750 km olup nüfusu 225 bin 520’dir. Kırşehir’de genelde karayolu olmakla beraber bisiklet yolu için çalışmalara başlanmıştır. (Url2)

Kırşehir ili küçük ve gelişmekte olan bir şehirdir. Başta yöneticileri olmak üzere halkın birçoğu da bisiklet kullanımına karşı çalışmalarda tüm desteklerini ortaya koymuşlardır.

Henüz büyük çapta bisiklet yolu olmamakla birlikte iki ana yol üzerinde bisiklet çalışmaları başlamış ve detaylı bisiklet proje çizimleri tasarlanmaktadır.

Destek amacıyla bir önceki bir önceki yöneticiler tarafından bisiklet yolu ve kullanımını tanıtılmış halk bilinçlendirilmeye çalışılmıştır. Askerlik kavşağından başlayıp Cacabey Meydanı'nda son bulacak bir bisiklet turu düzenlenmiş ve bu turun bisiklet etkinliklerini arttıracacağı düşünülmektedir. (Url3)

### -‘Sağlık için hareket çocuklar için bisiklet’ Projesi



*Şekil 5:İbn-i Sina Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi*

Kırşehir Kaman ilçesine bağlı İbn-i Sina Teknik ve Anadolu Lisesi tarafından düzenlenmiş bir projedir. Kadın Demokrasi Derneği ile Kaymakamlık tarafından öğrencilere bisiklet dağıtılmıştır. Kaymakamlık tarafından bu projenin oldukça sağlıklı olduğu belirtilerek bisiklet kullanımının yaygınlaştığını da söylemişlerdir.

Bisikletin sadece ulaşımda değil sağlık içinde kullanılmasını gerektiğini bunun da öncelik olarak çocuklardan başlanması amacıyla çalışması yapılmıştır.(Url4)

### - Kırşehir’de Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Düzenli Bisiklet Yolları



*Şekil 6:Şehir içi yapılacak çalışmalar ve yeni park alanları (Url5)*

Yeni ulaşım hatlarının, araç yollarının, yaya yollarının ve bisiklet yollarının yanı sıra, trafik ışıklarının, kavşakların, otoparkların ve trafik işaretlerinin düzenleneceği bir sistem ile trafik ve park sorunu çözülmeyi, parklarda silkülasyon sağlanmayi, cep telefonu uygulamaları ile güzergah bilgileri ve saatleri takip edilebilmesi amaçlanmaktadır. Akıllı ulaşım sistemi ile düzenli bisiklet yolları, park alanları ve kartlı sistemle binişler sağlanacaktır.

## Anket Soruları Ve Verilen Cevaplar

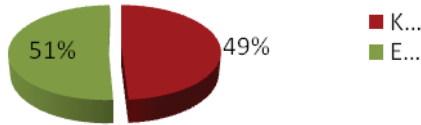
Kırşehir ilinde farklı yaş aralıkları, meslekleri ve öğrenim sınıflarında bir çok kişinin katıldığı toplam 400 kişinin verileriyle oluşturulmuştur. Kadın ve erkek sayısının birbirine yakın olmasının bize daha genel ve net bir sonuç elde etmemizde yardımcı olacağını düşünerek genel bir değerlendirme yapılmıştır. Ankete katılanların %34 ü ve çoğunluğu 15-25 yaş aralığında, %26 sı ise 26-35 yaş aralığında yani ülkemizin genç nüfusuna fazlaca söz verilerek oluşturulmuştur. Oluşturulan anket soruları örneği Tablo2' de sunulmuştur.

**Tablo2:Anket Soruları**

Cinsiyetiniz	Kadın ( )	Erkek ( )				
Yaş	0-14( )	15-25( )	26-35( )	36-50( )	50+ ( )	
İş durumu	Çalışan( )	İşsiz( )	Evhanımı( )	Öğrenci( )	Emekli( )	Diğer
Eğitim durumu	İlkokul( )	Ortaoku( )	Lise( )	Ön lisans( )	Lisans( )	Lisansüstü( )
Şehrinizdeki Sürdürülebilir ulaşım alternatiflerinden hangisini tercih ediyorsunuz?	Toplu taşıma veya özel araçlar( )	Bisiklet( )	Yaya( )			
Kendinize ait bisiklet var mı?	Evet ( )	Hayır ( )				
Bisiklet kullanıyor musunuz?	Evet, sık sık ( )	Hayır( )	Ara sıra( )			
Bisiklet kullanıyorsanız eğer hangi amaçla kullanıyorsunuz?	İş gitmek( )	Okula gitmek ( )	Alış- veriş ( )	Sosyal faliyet( )	Spor faliyeti ( )	
Bisiklet kullanıyorsanız eğer sebebi?	Pratik değil ( )	Yeterli zamanım yok ( )	Güvenli değil ( )	Kullanım için şartlar yeterli değil ( )	Diğer ( )	
Şehrinizdeki bisiklet yolları yeterli mi?	Evet,yeterli ( )	Şu an için yeterli ( )	Çok zayıf ve geliştirilmeli ( )	Hayır, yetersiz ( )		

Sehrinizde yeterli bisiklet park alanları var mı?	Evet var ( )	Hayır yok( )				
Gerekli kullanım şartları sağlansa kullanır mısınız?	Evet, kesinlikle( )	Hayır( )	Gerektikçe, zaman zaman ( )	Gerekli durumlarda ( )		
Hangisi size bisiklet kullnamaya daha çok teşvik eder?	Bisiklet yollarının suankinden daha fazla olması ( )	Taşıt trafiğinden ayrı ve daha fazla bisiklet yolu ( )	Tasarlanmış bisiklet tesisleri( )	Gelişmiş yeni park alanları ( )	Bisikletler için trafik işığı önceliği ( )	Daha güvenilir bisiklet yolları ( )
Hangisi bisiklet ulaşımında sizin için engel teşkil eder?	Uzaklık ( )	Sürdürülebilir ulaşım bilincinin eksikliği( )	Kötü yol yüzeyleri ( )	Hava koşulları ( )	Şehir yapısı ( )	Topografya ( )
Hangisi diğer ulaşım metodlarından vazgeçip bisiklet ulaşım tercihinizi artırır?	Daha iyi toplu taşıma imkanı ( )	Tedaylı tasarlanmış bisiklet yolları ( )	Yakıt fiyatlarının ve otobüs ücretlerinin artması( )	Sağlıklı yaşam bilincinin bisikletle birleştirilmesi( )		
Hangi nedenlerle bisiklet ulaşım aracı olarak tercih edilmeli?	Hava kirliliğine neden olmaması( )	Sağlığa önemli etkileri olması ( )	Hızlı ve kolay erişim sağlaması ( )	Yakıt giderinin olmamaması ( )	Maliyetinin düşük olmaması ( )	Eğlenceli olması( )

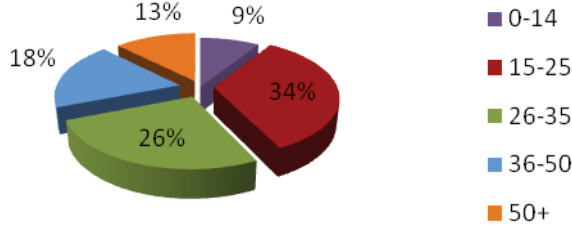
## Cinsiyet



Cinsiyete göre bisiklet kullanım tercihi neredeyse kadın ve erkek arasında eşit olarak tespit edilmiştir.

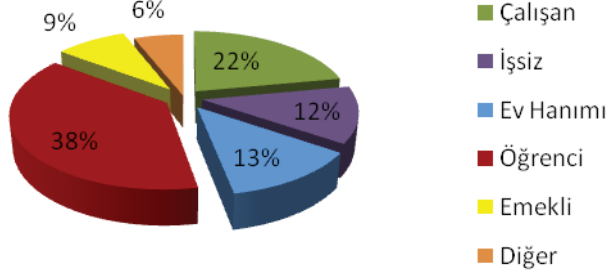


## Yaş Bilgisi



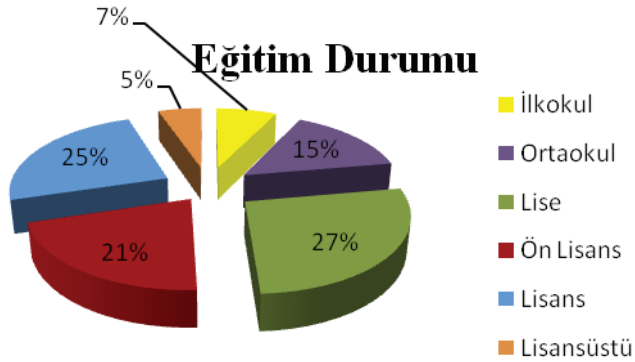
Anket yapılan yaş aralığından dolayı en büyük oranla %38 la öğrenciler ve devamında %22 ile çalışan kişilerden oluşmaktadır. Genelde bu yaş aralıkları ve durumları bisiklet kullanımının daha yoğun olduğu yaş aralığıdır.

## İş Durumu



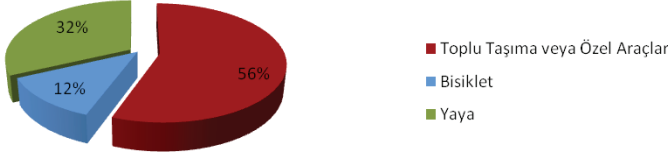
İş durumu incelendiğinde % 38 oranla en çok öğrencilerin, bisikleti ulaşım aracı olarak kullandığı görülmüştür.

## Eğitim Durumu



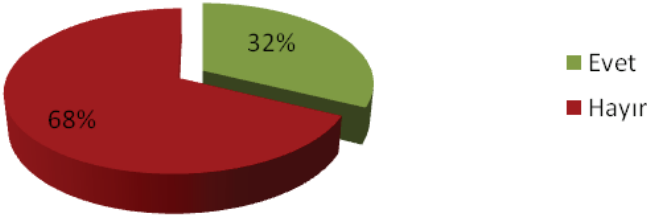
Eğitim durumu incelendiğinde en yüksek oranın lise onu takiben de ortaokul seviyesinde olduğu görülmüştür.

### Şehrinizdeki sürdürülebilir ulaşım alternatiflerinden hangisini tercih ediyorsunuz?

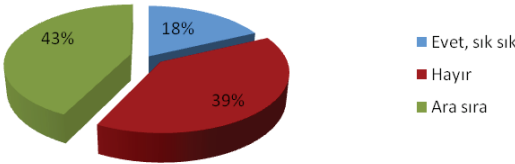


Kırşehir ilin de ulaşım olarak %56 gibi çok büyük bir çoğunluk otomobil, minibüs, otobüs, motosiklet gibi taşıtları tercih etmektedir. Küçük bir şehir olması ve mesafelerin uzak olamamasından dolayı %32 ile yaya olarak ulaşım takip etmektedir. Bisiklet yüzdesi şehir imkanlarının yetersizliği ve halkın kullanım bilinci gibi daha bir çok sebeplerden dolayı şuanda en son sırada yer almaktadır. Ayrıca bu 400 kişiden %32 sinin bisiklet sahibi olduğu halde günlük hayatta kullanımı bu yüzdeye göre daha az tercih edilmektedir.

### Kendinize ait bisiklet var mı?

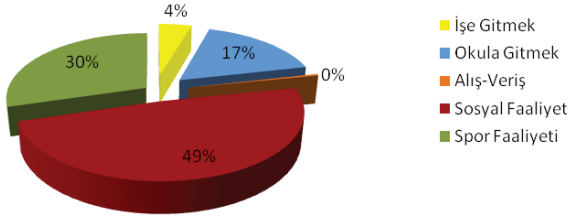


### Bisiklet kullanıyor musunuz?

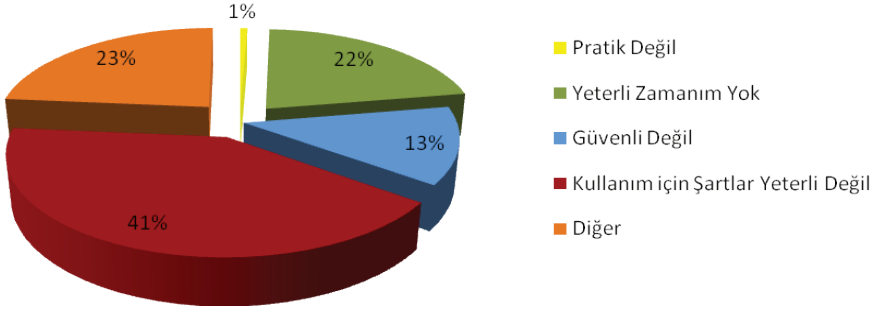


Ankete katılan kişiler bisikleti günlük ulaşımında çok sık tercih etmek istememekle beraber %43 oranla ara sıra kullanmakta , % 39 oranına hiç kullanmamaktadır. Toplam kişilerin %61 in bisiklet kullandığı düşünülerek bu kişilerin nerdeyse yarısı olan %49 oranında kişiler sosyal faaliyetlerinde, %30u ise spor amacıyla kullanmaktadır. Verilerde dikkat çeken bir diğer şey ise hiç kimsenin alış- veriş için bisiklet kullanmamasıdır. Toplam kişilerin %39 unun hiç bisiklet kullanmamasının en büyük sebebi %41 ile bisiklet ulaşımının kullanım şartlarının yeterli olmaması gelmektedir.

### Bisiklet kullanıyorsanız eğer hangi amaçla kullanıyorsunuz?

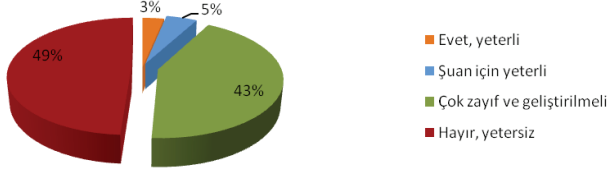


### Bisiklet kullanıyorsanız eğer sebebi nedir?

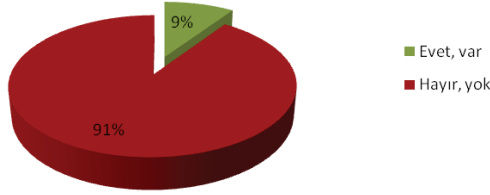


Bisiklet yollarının şehirde yeni projelendirmesi ve yapılandırılmasını göz önüne alarak yorumlarsak kişilerin çok büyük bir kısmı yani %49'u şuan ki bisiklet yollarının yetersiz olduğunu ve yine büyük bir çoğunluğu %43'ü çok zayıf ve geliştirilmesi gerektiği sonuçları çıkmıştır. Ayrıca nerdeyse katılan kişilerin hepsinin park alanlarının olmadığını %91 ile net bir şekilde anlaşılmaktadır. Fakat bu olumsuzluklara rağmen halkın bu verilere göre bakarsak bisiklet yollarının şartlar iyileştirilmesini ve bunun sonucunda da bisiklet kullanımının artacağı sonucu ortaya çıkmıştır.

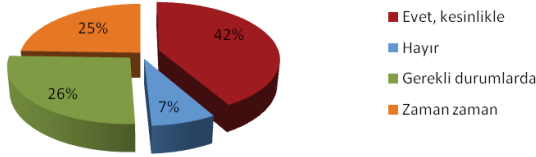
### Şehrinizde bisiklet yolları yeterli mi?



### Şehrinizde yeterli bisiklet park alanları var mı?

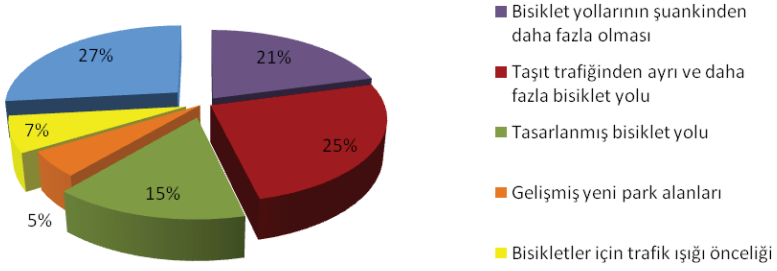


### Gerekli kullanım şartları sağlanır veya şartlar iyileştirilirse bisiklet kullanmayı tercih edermisiniz?

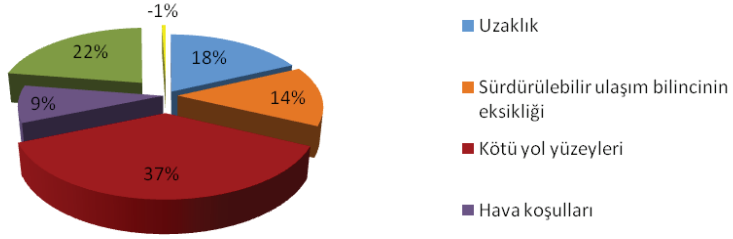


Bisiklet kullanımının artmasına birçok etken olabileceği gibi anket seçeneklerinden bazıları birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Bunlardan en fazla istenilen %27 ile daha güvenilir bisiklet yollarının olması, onu takip eden ve küçük bir fark olan etken %25 ile taşıt trafiğinden ayrı ve daha fazla bisiklet yolunun olması olarak devam etmektedir. Genel olarak bakılacak olursa istenilen temel şey bisiklet yollarının yeni ve düzenli bir şekilde tasarlanmasıdır. Şuan kullanım için en büyük engel ise %37 ile kötü yol yüzeyleri olarak veriler elde edilmiştir.

### Hangisi sizi bisiklet kullanmaya daha çok teşvik eder?

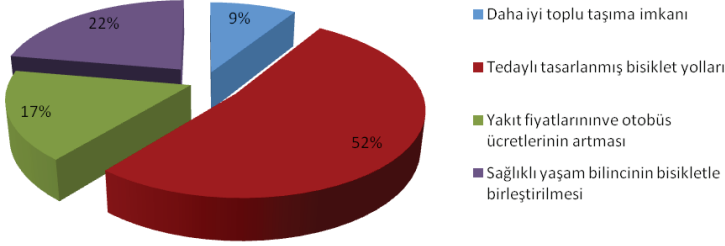


### Hangisi bisiklet ulaşımında sizin için engel teşkil eder?

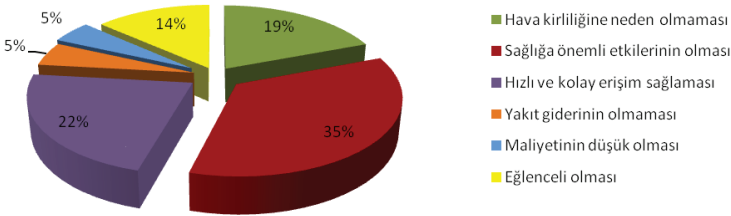


Sonuçlara bakılacak olursa ulaşım yollarından bisiklete geçiş olması için detaylı tasarlanmış bisiklet yolları çok büyük temel etken oluşturmaktadır. Ayrıca halk bisiklet kullanımı sağlıklı yaşam bilincinin bisikletle ilişkisinin oldukça farkında olup bu bisikleti sadece ulaşım olarak görmekte ve sağlık için bir araç olarak da kullanmayı hedeflemektedir.

### Hangisi diğer ulaşım metodlarından vazgeçip bisiklet ulaşım tercihinize yönelmenizi sağlar?



### Hangi nedenlerle bisiklet ulaşım aracı olarak tercih edilmeli?



## SONUÇ

Bu anket çalışmasına bakıldığında çoğunlukla genç ve halen öğrenci olan kişilerce yapılmış olup, genel olarak şehir içi bisiklet ulaşımının (yol ve park alanları olarak) yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Fakat halk bisiklet kullanımını istemekte ve yapılacak çalışmaları desteklemektedir. Yeni yapılacak olan proje şehir için hem ulaşım hem de sağlık açısından tercihleri arttıracaktır.

Ulaşım mesafelerinin fazla olamaması durumunda veya toplu taşıma araçlarına kadar kullanılabilir, okul, iş ya da spor faaliyetlerinde kullanmak için tasarlanan yollar tercih edilecektir.

Yeni başlanan bisiklet yolları araç trafiğini olumsuz etkilemeyecek aksine trafiği kullanışlı hale getirecektir. Ayrıca anketteki kişilerce de ortaya çıkan verilerde de hava kirliliğine olumlu etkilerinin olacağı, maliyetinin diğer ulaşım araçları kadar ucuz olmasının aile ekonomisine de destek olacaktır.

Şehirde akıllı ulaşım sistemleri geliştirilerek kolay ve pratik ulaşım

sağlanması amaçlanmaktadır. Elde edilen veriler coğrafi bilgi sistemi kullanılarak sanal ortamda aktarılır ve uygun bisiklet yolları ve olabilecek park alanları elde edilmesi sağlanır.

Tüm istenilen amaçlar gerçekleşmesi ile Dünya’da ve Türkiye’de yaygınlaşmakta olan bisiklet kullanımı ve ulaşımı Kırşehir ilinde de yaygınlaşarak sürdürülebilir ulaşımında akıllı şehir sistemlerine katkı sağlayacaktır. başlayacaktır.

## KAYNAKÇA

- Adiyaman, B. *Osmaniye kenti bisikletli ulaşım ağı planlama önerisi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ankaya, F. Ü., & Aslan, B. G. (2020). Kent İçi ulaşımında bisiklet yollarının planlaması; dünya ve Türkiye örnekleri. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 1-10.
- AYDIN, M. (2015). BİSİKLET KULLANIMININ ORTAYA ÇIKARDIĞI POZİTİF DIŞSALLIKLAR. *Dokuz Eylül University Journal of Graduate School of Social Sciences*, 17(3).
- AYDIN, G., AKTÜRK, E., & AKTÜRK, B. (2022) Türkiye'deki Tarihi Kent Merkezlerinde Bisikletli Ulaşım: Sorunlar ve Çözüm Önerileri. *E-Skuter Şarj İstasyonu Yerler nn Seç m ne İlişkin Bi r Yöntem*.
- Biler, D. (2019). *Kentsel dönüşüm projelerinin sosyal sürdürülebilirlik ölçütleri çerçevesinde değerlendirilmesi; şanlıurfa eski sanayi bölgesi kentsel dönüşüm projesi örneği* (Master's thesis, Hasan Kalyoncu Üniversitesi).
- BARAN, R., & KAYAN, A. AVRUPA KENTSEL ŞARTI KAPSAMINDA ULAŞIM DOLAŞIM HAKKI: DİYARBAKIR ÖRNEĞİ. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(18), 344-359.
- BOZKURT, H. (2016). Bisiklet ulaşımı planlaması Bilecik örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 625-633.
- Çeyiz, S., & Koçak, F. (2015). Ankara İli'nde bisiklet kullanan bireylerin karşılaştıkları sorunlar ve çözüm önerileri. *Mediterranean Journal of Humanities*, 2(1), 203-221.
- Er, Ö. (2018). *İstanbulda otomobil hegemonyasına karşı bisikletin ulaşım aracı olarak kullanımı: 2015-2016 yılıCyclist Türkiyebisiklet dergisi içerik analizi* (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- GÜNAYDIN, L. (2015). Demiryolu Bisikleti: Günümüzde Kullanılmayan Kırklareli-Büyük Mandıra Demiryolu Hattı İçin Öneriler. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 5(4), 86-93.
- GÜNGÖR Hatice Canan, İNAM Alihan (2021)., "SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA KENTSEL ULAŞIM VE KONYA"., Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler – III Bölüm2 Syf.25., Gece Kitablığı.
- KALAYCI, M., BULAN, Ö., & Elif, A. Y. A. N. (2015). KENT İÇİ YOLLARIN BİSİKLET KULLANIMINA YÖNELİK ERGONOMİK UYGUNLUĞUNUN KULLANICILAR BAKIŞ AÇISINA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ: KASTAMONU KUZYEKENT ÖRNEĞİ. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 181-187.
- KURDOĞLU, B. Ç., Bayramoğlu, E., & KONAKOĞLU, S. S. K. (2018). KAM-



PÜSLERDE YAYA VE BİSİKLET YOLLARINA UYGUN SÜRDÜRÜLEBİLİR DONATI TASARIM KRİTERLERİ. *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi (IBAD)*, 3(2), 493-502.

- Küçükpehlivan, G & Doğru, A. Ö. (2017) Bisiklet yolu güzergahlarının ahy ile kullanıcı odaklı belirlenmesi. *Harita Dergisi*, 157, 1-8.
- Kös, M. (2015). *Kentiçi ulaşım problemlerine alternatif entegre bisiklet ulaşımı planlaması* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Köseoğlu, Z. T., & Güler, H. (2017, September). Bisiklet Yollarının Belirlenmesi Ve Kapasite Analizlerinin Yapılması. In *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan)*.
- Landis, B. W. (1996). Bicycle system performance measures. *ITE journal*, 66(2), 18-26.
- Mert, K., & Öcalır, E. V. (2010). Konya'da bisiklet ulaşımı: Planlama ve uygulama süreçlerinin karşılaştırılması.
- Öztürk, S. (2019). *Sürdürülebilir kentsel ulaşımında bisiklet kullanımı: Manisa örneği* (Master's thesis, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Saphioğlu, M., & Aydın, M. M. (2018). Choosing safe and suitable bicycle routes to integrate cycling and public transport systems. *Journal of Transport & Health*, 10, 236-252.
- SOYALP, L., & KOZAK, M. (2017) BİSİKLET TURİZMİ KATILIMCILARININ TATİL DENEYİMİ: YERLİ TURİSTLER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA.
- Yakar, F., BAKIR, M. Y., & BAŞDEMİR, H. (2017). Gaziosmanpaşa Üniversitesi Taşıcılıklı Yerleşkesinde Bisikletli Ulaşım Altyapısı Oluşturulması. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(3), 12-25.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 'Şehir İçi Bisiklet Yolları Kılavuzu' BAKANLIĞI, T. S., & MÜDÜRLÜĞÜ, H. S. G. SAĞLIĞI GELİŞTİREN BELEDİYE (SAGEB) UYGULAMA REHBERİ.
- URL1 <https://www.saglik.gov.tr/TR,3459/fiziksel-aktiviteyi-tesvik-projesi-2015-2018-18052015.html> erişim tarihi: 28.05.2019
- URL2 <https://www.kirsehirhaberturk.com/iste-yasar-bahcecinin-41-projesi.html> Erişim Tarihi: 22.11.2022
- URL3 <http://www.milliyet.com.tr/yerel-haberler/kirsehir/kirsehirde-bisiklet-kullanimi-yayginlastiracak-13058531> Erişim tarihi: 22.11.2021
- URL4 <https://www.haberturk.com/kirsehir-haberleri/64503499-kaman-ilcesinde-saglik-icin-hareket-cocuklar-icin-bisiklet-projesi-hayata-gecti> erişim tarihi: 08.11.2018
- URL5 <https://www.milliyet.com.tr/yerel-haberler/kirsehir/belediye-ile-halk-sagligi-mudurlugu-bisiklet-dagitimi-protokolu-imzaladi-11516369> erişim tarihi: 08.05.2021