



*Ekim 2024*

**FEN BİLİMLERİ VE MATEMATİKTE**  
ULUSLARARASI ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRMELER

**EDİTÖRLER**

PROF. DR. GÜNAY ÖZTÜRK

PROF. DR. ALPASLAN DAYANGAÇ

**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana**

**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi**

**Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2024**

**ISBN • 978-625-6172-06-7**

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

**Serüven Yayınevi / Serüven Publishing**

**Türkiye Adres / Turkey Address:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

**Telefon / Phone:** 05437675765

**web:** www.serüvenyayınevi.com

**e-mail:** serüvenyayınevi@gmail.com

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

FEN BİLİMLERİ VE  
MATEMATİKTE  
ULUSLARARASI ÇALIŞMA  
VE DEĞERLENDİRMELER

Ekim 2024

Editörler

PROF. DR. GÜNAY ÖZTÜRK  
PROF. DR. ALPASLAN DAYANGAÇ



# İÇİNDEKİLER

## Bölüm 1

### PLAZMAYLA AZOT FİKSASYONU

*Ali GÜLEÇ* ..... 1

## Bölüm 2

### GİRESUN BATLAMA-AKSU HATTI BOYUNCA FARKLI ARAZİLERDEN ALINAN TOPRAK NUMUNELERİNDE AĞIR METAL KONSANTRASYONLARI

*Birol ERTUĞRAL, Mehmet KABAER*..... 11

## Bölüm 3

### ADANA'NIN YÜREĞİR İLÇESİ MUSTAFA KEMAL PAŞA BULVARINDA ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK DÜZEYİNİN ÖLÇÜLMESİ VE RADYASYON DOZ İNDEKSİNİN HESAPLANMASI

*Ömer SÖĞÜT, Engin AKTAŞ* ..... 27

## Bölüm 4

### ANYONİK VE KATYONİK YÜZEY AKTİF MADDELERİN GÜVENLİ KULLANIMI

*Seçkin ÇELİK, Seda FANDAKLI, Nurettin YAYLI*..... 43

## Bölüm 5

### DERİN ÖĞRENME İLE FOTOVOLTAİK PANEL ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

*Mahmut YILDIRIM, Erol TERZİ, Ahmet TOY* ..... 57

## Bölüm 6

### KUMARİNLER VE SENTEZ YÖNTEMLERİ

*Esra KILAVUZ* ..... 77

## Bölüm 7

### AĞIR METAL TUZ KATALİZLİ AROMATİK NİTROLAMA REAKSİYONLARI

*Melek GÖKMEN KARAKAYA* ..... 101

Bölüm 8

BİYOUYUMLU BİR PLATFORM OLUŞTURMAK İÇİN TİTANYUM  
KATKILI POLİAKRİLİK ASİT NANOKOMPOZİT HİDROJELLERİN  
HAZIRLANMASI

*Fatma Özge GÖKMEN, Sinan TEMEL* ..... 115

Bölüm 9

KARINCALI BÖLGESİ (KIRŞEHİR) DOĞALTAŞ OCAĞI  
ARTIKLARININ SÜS OBJESİ (DEKORATİF ÜRÜN) OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİ: ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ YAKLAŞIMI

*İlkay KAYDU AKBUDAK, Gökhan EKİNCİOĞLU* ..... 127

Bölüm 10

PROTEİN TÜREVLİ ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

*Kıbar ARAS, Melisa ÖĞRETİCİ, Sinem ORTABOY SEZER*..... 139

Bölüm 11

*QUERCUS* L. CİNSİNE AİT TAKSONLARIN, 5.8S RRNA GENİ VE ITS  
SEKANSLARI TEMELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ VE FİLOGENETİK  
ANALİZLERİ

*Aykut YILMAZ* ..... 171

Bölüm 12

ADANA'NIN YÜREĞİR İLÇESİ MUSTAFA KEMAL PAŞA BULVARINDA  
GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ VE GÜRÜLTÜ DOZU DÜZEYİNİN  
BELİRLENMESİ

*Ömer SÖĞÜT, Engin AKTAŞ* ..... 185

Bölüm 13

4-BOYUTLU ÖKLİD UZAYINDA BİRİNCİ TİP GENİŞLETİLMİŞ  
DARBOUX ÇATISI İLE İLİŞKİLİ BETCHOV-DA RİOS SOLİTON  
DENKLEMİ

*Ahmet KAZAN, Mustafa ALTIN* ..... 205



# *Bölüm 1*

## **PLAZMAYLA AZOT FİKSASYONU**

*Ali GÜLEÇ<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Ali GÜLEÇ, Doç.Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,  
Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, ORCID ID: 0000-0003-3050-7921

## 1. Giriş

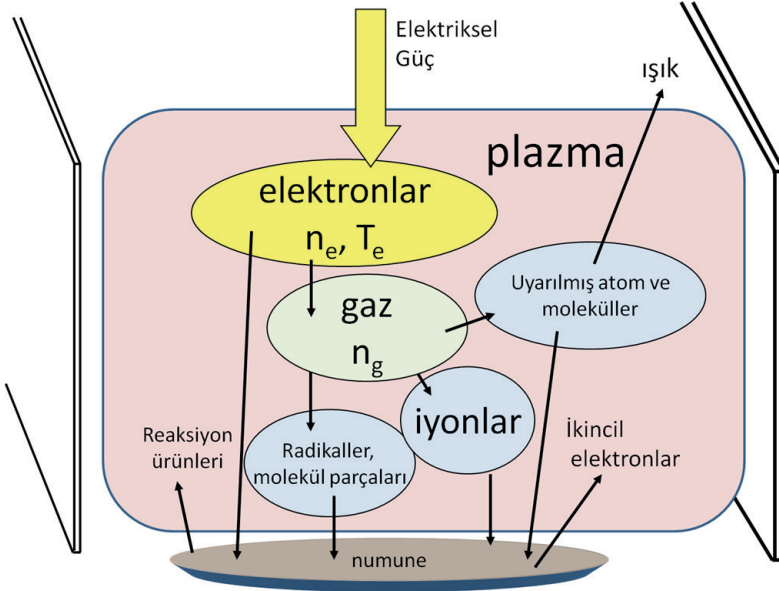
İklim değişikliği, ekilebilir arazilerinin sanayileşme ve kentleşmenin hızla gelişmesi nedeniyle artmaması gibi problemler nedeniyle, gıda kıtlığını gidermenin tek yolu ürün verimini artırmaktır. Ürün verimini artırmak için kullanılan en önemli girdi gübredir. Hammaddede dışa bağımlı olan kimyasal gübre sektörümüze alternatif olarak yenilikçi yöntem ve ürünlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Azot fiksasyonu sürdürülebilir kimya için önemlidir. Azot fiksasyonu kısmen doğal olarak gerçekleşmektedir, ancak bu küresel talebi karşılamak için yeterli değildir. Hem indirgenmiş hem de oksitlenmiş  $N_2$  ( $NH_3$  ve  $NO_3^- / NO_2^-$ ) tarımda gübre olarak kullanılmaktadır (Hoffmann et. al. 2014). Ayrıca,  $NH_3$  farmasötik bileşiklerin üretiminde ve temizlik çözeltilerinde, tekstil endüstrisinde, daha yeşil bir yakıt olarak, otomotiv endüstrisinde de  $NO_x$  ajanı olarak kullanılmaktadır (Li et. al. 2018). Azot fiksasyonu için ilk endüstriyel yöntem olan Birkland-Eyde yöntemi, 3,4-4,1 MJ/mol enerji tüketimi ile kabaca %1 nitrik oksit üretmek için bir elektrik ark deşarjı kullanmıştır (Birkeland, 1906). Öte yandan, Fritz Haber tarafından geliştirilen ve Carl Bosch tarafından ticari olarak uygulanan Haber-Bosch (HB) prosesi, 20. yüzyılın en büyük ve en önemli gelişmelerinden biri olarak kabul edilmektedir. HB sürecindeki enerji tüketimi mol başına 0,5 MJ'dür. Azotlu gübreler çoğunlukla HB prosesi kullanılarak üretilmektedir (Smil, 2004). Bu süreçte, havadaki  $N_2$ ,  $NH_3$  üretmek için katalizörlerin varlığında yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında  $H_2$  ile birleştirilir (Wu vd., 2021). HB sürecinin dezavantajı, her yıl dünyada üretilen doğal gaz hacminin yaklaşık %3-5'i kadar doğal gaz girdisine ve yılda 300 milyon metrik tondan fazla  $CO_2$  emisyonuna neden olmasıdır (Hoeven vd., 2013). Bu anlamda, artan üretim maliyetleri, iklim krizi ve artan nüfus göz önüne alındığında, sürdürülebilir tarım ve gıda üretimi için yeni adımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

## 2. Plazma

Elektronlar, pozitif ve negatif iyonlar, serbest radikaller, nötr veya uyarılmış moleküller ve elektromanyetik radyasyondan (UV fotonları ve görünür ışık) oluşan plazma genellikle maddenin dördüncü hali olarak adlandırılır (Şekil 1). İyonize bir gaz olarak da düşünülebilir. 'Plazma' terimi kandaki plazma teriminden esinlenilerek ilk olarak 1928'de Irving Langmuir tarafından kullanılmıştır. Tüm yıldızlar plazmadan oluşur ve yıldızlar arası uzay plazmayla doludur yani evrenin % 99'u plazma halindedir. Plazmalar nötral gaz sıcaklığına göre termal olanlar ve termal olmayanlar olarak sınıflandırılabilirler (Lieberman ve Lichtenberg, 2005). Termal plazmalar için 'dengede' ya da 'sıcak', termal olmayanlar için de 'dengede olmayan' ya da 'soğuk' terimleri kullanılır. Termal plazmalarda, plazma içindeki parçacıkların (elektronların, iyonların, nötr parçacıkların) sıcaklıkları aynıdır yani termal olarak dengededirler. Bu tür plazmalara örnek olarak yıldızlardaki plazmalar ve füzyon verilebilir. Bu tür plazmaları oluşturmak için 4000 K – 20 000 K aralığın-



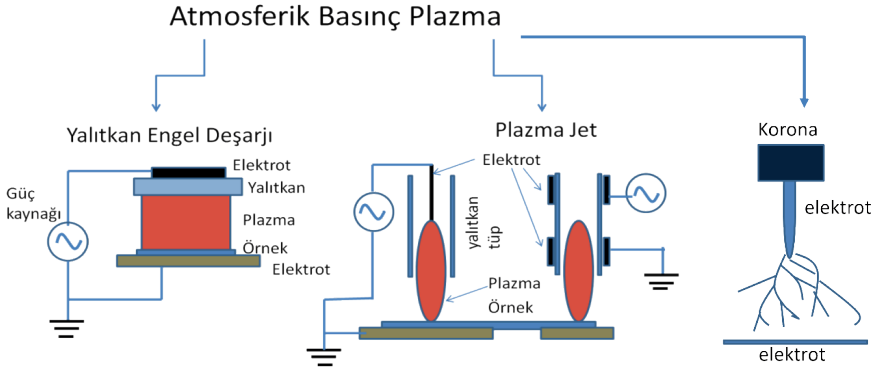
da yüksek sıcaklıklar gerekir. Dengeye olmayan plazmalarda iyonlar ve nötr parçacıklar gibi kütlece ağır parçacıkların sıcaklıkları oda sıcaklığına yakındır ancak elektronlar birkaç bin Kelvin sıcaklığında. Laboratuvar ortamında gazlarda elektriksel deşarj yoluyla üretilen plazmalar, gazın basıncı, elektrik alanın uygulama süresi ve elektrotlar arası mesafe gibi parametrelere bağlı olarak termal ya da termal olmayan olabilirler. Teknolojik uygulamalarda özellikle dengeye olmayan plazmalarla ilgilenilir. Amaca uygun plazma sistemi elde etmede, üzerinde değişiklik yapılan ve dış etkenler denilebilecek parametreler; basınç, gaz akış hızı, gaz bileşimi, elektrot düzenlenimi, reaktör geometrisi, elektriksel güç ve frekanstır (Güleç, 2011). Bu parametrelerin farklı kombinasyonları, iç parametreler olarak adlandırılabilirler plazma içindeki parçacıkların akılarını, enerjilerini ve yoğunluklarını farklı şekilde etkiler. Basit olarak bir plazma deşarjı aralarında gaz ortamı bulunan iki elektrota voltaj uygulanmasıyla gerçekleşir. Uygulanan elektrik alanına göre dc, ac ya da pulslu deşarjlar olarak adlandırılırlar. Herhangi bir hacimdeki nötr bir gaz içinde, kozmik ışınların ya da radyoaktif ışınların sonucu olarak daima az da olsa elektronlar ve iyonlar vardır. Uygulanan elektrik alan yardımıyla hızlandırılan bu serbest yük taşıyıcıları, gaz içindeki atomlar, moleküller ya da elektrot yüzeyleriyle çarpışarak yeni yüklü parçacıklar oluşturabilirler.



Şekil1. Laboratuvarında plazma (Güleç, 2011).

## 2.1. Atmosferik Basınç Plazmalar

Atmosferik basınç plazma (ABP) sistemleri karmaşık ve pahalı vakum bileşenleri içermedikleri için farklı uygulamalarda dikkat çekmektedir. Atmosferik basınçta elde edilen plazmalar elde edilmiş biçimlerine göre farklı özellikler gösterebilir. Tıp alanında kullanılan ABP'ler soğuk plazma olarak adlandırılırlar çünkü plazma elektron sıcaklıkları yüksek olmasına rağmen gaz sıcaklıkları 40 °C yi geçmez. Bu da uygulama yapılan canlı numuneye termal bir zarara neden olmaz. Soğuk atmosferik basınçlı plazmalar korona deşarjı, yalıtkan engel deşarjı (dielectric barrier discharge - DBD) ya da plazma jetleri ile üretilebilmektedir (Laroussi, 2005). Korona (corona) deşarjı enerji verilen sıvı ya da tel elektrotun ucunda oluşan yüksek yoğunluklu elektrik alanının elektrotun yakınındaki havayı ya da gazı iyonlaştırarak zayıf bir plazma oluşturulması prensibine dayanır (Chang vd., 1991). Yalıtkan engel deşarjı, atmosferik basınç altında, yüksek olmayan gaz sıcaklığında güçlü termodinamik ve denge halinde olmayan plazma oluşturan alternatif akım boşalımdır (Güleç vd., 2011). Plazma jetlerinde ise bir plazma kalem içinde üretilen plazmanın açık bir boşluktan dışarı atılması söz konusudur (Laroussi ve Akan, 2007). Şekil 2.'de bu sistemlerin şematik gösterimi verilmiştir.



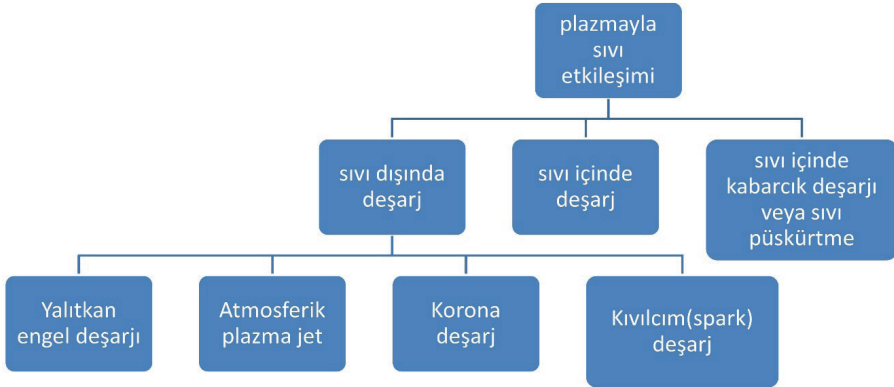
Şekil 2. Atmosferik basınç plazma elde etme yöntemleri

## 2.2. Plazma Sıvı Etkileşimi

Plazma-sıvı etkileşimleri, plazma bilimi ve teknolojisi alanında giderek daha önemli bir konu haline gelmektedir. Termal dengede olmayan plazmaların bir sıvı hal ile etkileşimi, çevresel iyileştirmeden malzeme bilimi ve sağlık alanına kadar birçok uygulamada önemlidir. Plazmayla etkileşen sıvı ortamlarda yeni türlerin oluşumu ve sıvının fizikokimyasal özelliklerinin değişmesi söz konusudur. Bu nedenle plazmayla etkileşime giren sıvılar için "plazmayla aktive edilmiş sıvı" ifadesi kullanılır. Plazmayla aktive edilmiş sular da plazmayla aktive edilmiş su (plasma activated water) olarak incelenmektedir.

Atmosferik basınç plazmalar içerisinde hava bileşenleriyle oluşan reaktif nitrojen ve oksijen türleri (Reactive nitrogen and Oxygen Species-RONS) plazmanın sıvıyla etkileşiminde de su içerisinde bazı kısa ve uzun ömürlü türlerin oluşmasını sağlar. Uzun ömürlü türler olarak nitrit, nitrat ve hidrojen peroksit karışımına çıkar. Bu türlerin miktarı uygulanan plazmanın parametrelerine ve uygulama süresine bağlı olarak değişir. Ortaya çıkan bir diğer durum da plazmayla etkileşen suda meydana gelen pH, ORP ( Oxygen Reduction Potential), elektriksel iletkenlik (EC) gibi parametrelerin değişimidir.

Farklı çalışma prensiplerine sahip birçok plazma sistemi vardır, ancak bu sistemler 3 ana kategoriye ayrılabilir: Sıvılarda doğrudan deşarjlar, iletken bir sıvının elektrot olduğu durumlar da dahil olmak üzere, bir sıvı üzerinde gaz fazında deşarjlar ve sıvıların içindeki kabarcıklardaki deşarjlar veya sıvı püskürtme gibi çok fazlı ortamlardaki deşarjlar (Bruggeman vd., 2016). Şekil 3’de bu yöntemler sınıflandırılmıştır.



Şekil 3. Plazma sıvı etkileşimi için yöntemler

### 3. Plazmayla Azot Fiksasyonu

Plazma bazlı azot fiksasyonu (NF) geleneksel Haber-Bosch prosesine yeşil bir alternatif olarak görülmektedir. Dinitrojen moleküllerinin amonyak ve nitrik oksit gibi basit azot bileşiklerine dönüştürülmesi zordur. Plazma ile azot fiksasyonu iki geniş alana ayrılabilir: termal plazma ve termal olmayan plazma fiksasyonu. Bu plazmaların gerekli ekipmanları, reaksiyon mekanizmaları ve enerji verimlilikleri farklıdır (Cherkasov et. al. 2015). Termal olma-

yan (non-thermal) veya denge dışı (non-equilibrium) plazma, elektron sıcaklığı nötr bir molekülün sıcaklığından birkaç kat daha yüksek olan bir plazma olarak tanımlanır. Atmosferik basınçta elde edilen termal olmayan plazmalar ıptan tarıma kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Bu teknoloji tarımda iki farklı şekilde uygulanabilir: doğrudan (Sayahi et. al. 2024) ve plazma ile aktive edilmiş su (PAW) aracılığıyla dolaylı olarak (Zhang et. al. 2017).

Bunu yaparken sıcaklık ve enerji tüketimi düşüktür. Plazma bazlı NF, büyük ölçekli amonyak sentez tesisleri yerine gübre üretmek için çok daha küçük ölçekte gerçekleştirilebilir. Atmosferik basınç plazmalarında su ve havanın girdi olarak kullanıldığı sistemlerde, hava ve suyun bileşenleri olan nitrojen, oksijen ve hidrojen, suda Nitrat, Nitrit, amonyak ve hidrojen peroksit gibi yeni türlerin oluşmasını sağlar. Bu türlerin türü ve konsantrasyonu plazma girdileri (hava, su, uygulanan voltaj, akım, frekans ve reaktör tipi) ile kontrol edilebilir. Plazma bazlı azot fiksasyonunda enerji veriminin tahmin edilmesi, proses koşullarının optimizasyonunu ve yenilikçi plazma reaktörü tasarımını kolaylaştırabilir. Bu amaçla, plazma parametrelerinin farklı plazma sistemlerinde azot türlerinin üretimi üzerindeki etkisi araştırılmalıdır.

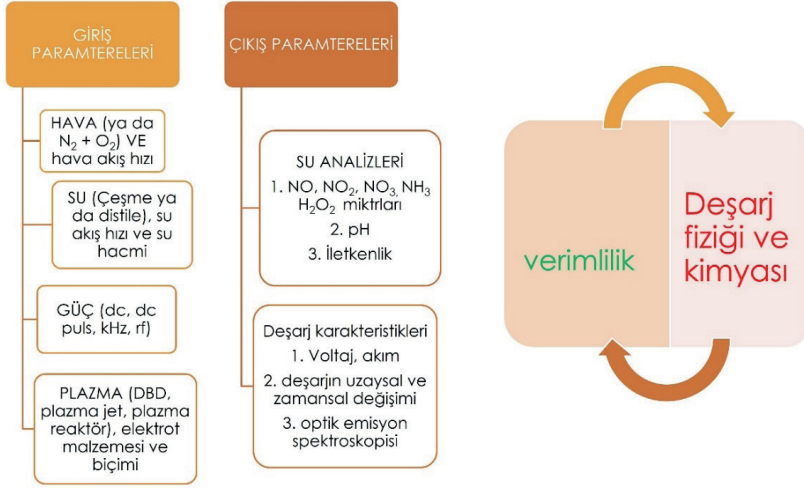
Plazma ile azot fiksasyonu çok umut verici görünmektedir. Sadece elektrik gücü kullanarak havanın değerli ürünlere dönüştürülmesi söz konusudur. Bu, azotlu gübrelerin sera gazı emisyonu olmadan yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilebileceği anlamına gelir, çünkü plazma esasen atık üretmez ve kimyasal kullanmaz. Bugün asıl soru, plazma teknolojisi ile azot fiksasyonunun Haber-Bosch sürecine rekabetçi bir alternatif olup olamayacağıdır. Amaç enerji tüketimini azaltmaktır. Bunu yapmak için farklı plazma reaktör tasarımları test edilmekte ve hava-su deşarjının kimyası anlaşılma-ya çalışılmaktadır (Rouwenhorst et. al. 2021). Plazma-sıvı etkileşimi ile azot fiksasyonu üzerine yapılan araştırmaların çoğu,  $N_2$  ve sudan  $NH_3$  veya  $NO_x$  sentezine odaklanmıştır ve son birkaç yılda birçok heyecan verici araştırma sonucu rapor edilmiştir. Öte yandan, plazma-sıvı arayüzündeki kimyasal ve fiziksel süreçlerin karmaşık doğası nedeniyle, reaksiyonlarının araştırılması hala yeni bir aşamadır (Zhao et. al. 2023).

Plazma ile azot fiksasyonuna yönelik çalışmalar, farklı deşarj sistemlerinin, yani farklı elektrik alanlarının, sisteme giren gaz türü ve akış hızı gibi girdi parametrelerinin, plazma reaktörünün veya kaleminin yapıldığı malzemelerin  $NO_x$  üretim verimliliğini düzenleyebileceğini göstermiştir (Klimek ve Piercy, 2024). Azot gazı ve atomize su damlacıklarından sürekli olarak amonyak üretmek için atmosferik basınçlı bir plazma sistemi araştırılmıştır (Toth et. al. 2020). Azot gazı ve su damlacıklarının, amonyak veya diğer azot bileşiklerini üretmek için bir plazma işleminde besleme olarak kullanılabilceğini göstermişlerdir.

Sıvı içinde nitrat ve nitrit üretmek ve gübre olarak kullanmak için sürekli akışlı bir sıvı faz plazma deşarj reaktörü çalışılmıştır. Hava akış hızı (maks. 2 litre/dak) uygulanan güç (maks. 300W) ve işlem süresi parametreleri (maks. 60 dakika) araştırılmıştır (Wu et. al. 2021). Bu çalışmada,  $\text{NO}_3$  ve  $\text{NO}_2$  ( $\text{NO}_x$ ) üretimi, test edilen tüm hava akış hızlarında artan güçle doğrusal olarak artmış ve 1,108 g- $\text{NO}_x$ /kWh enerji verimliliği elde edilmiştir.  $\text{NO}_x$  ve amonyak oluşumu için iki reaksiyon yolu gözlemlenmiştir (Saksono et. al., 2023).  $\text{NO}_x$ 'te oluşan bileşik çözelti OH tarafından  $\text{NO}_2$ 'ye oksitlenir ve ardından kararlı bir nitrat bileşiği üretilir. Amonyak yolundan üretilen amonyum,  $\text{H}_2\text{O}$ 'da H ile reaksiyona giren azottan üretilir. Oluşan  $\text{NH}_3$  miktarı, sıvı ve gaz fazlarındaki  $\text{NO}_x$  bileşiklerinden daha azdır, bu da  $\text{NO}_x$  yolunun amonyaktan daha baskın olduğunu düşündürmektedir.  $\text{N}_2 / \text{O}_2 = 79 / 21$  oranına sahip gaz karışımı nitrat oluşumu için en etkili oran olarak bulunmuştur. Elektrolit çözeltisi olarak 1,2 litrelik bir deşarj odasında  $\text{K}_2\text{SO}_4$  kullanılmış ve 60 dakikada sıvı fazda 1889 ppm  $\text{NO}_3$  ve 31,5 ppm  $\text{NH}_3$  oluşmuştur. Termal olmayan plazma yöntemleri arasında dielektrik bariyer deşarjı (DBD), PAW üretiminde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. PAW'ın tarımda kullanımına ilişkin çalışmalar, laboratuvar ölçeğinden farklı olarak büyük hacimlerde suda istenen içeriğin elde edilmesi için yürütülmektedir (Jin et. al. 2020). Alüminyum elektrotlar kullanan 1 m uzunluğunda silindirik bir DBD reaktörünün saatte 520 litre PAW üretim kapasitesine ulaştığı bildirilmiştir. Bitki denemelerinde plazma ile aktive edilmiş suların kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Mısır ve arpa fideleri, PAW'ın bitki büyümesi üzerindeki etkilerini araştırmak için model çiftlik bitkileri olarak kullanılmıştır (Yemeli et. al. 2020). PAW'ın hem mısır hem de arpanın bitki büyümesini artırdığını bildirmişlerdir. Uygun miktarda  $\text{H}_2\text{O}_2$  ve  $\text{NO}_3$ , tohum çimlenmesi üzerinde olumlu etkilere sahiptir, antibakteriyel ajanlar ve gübre olarak işlev görür (Porto et. al. 2018).

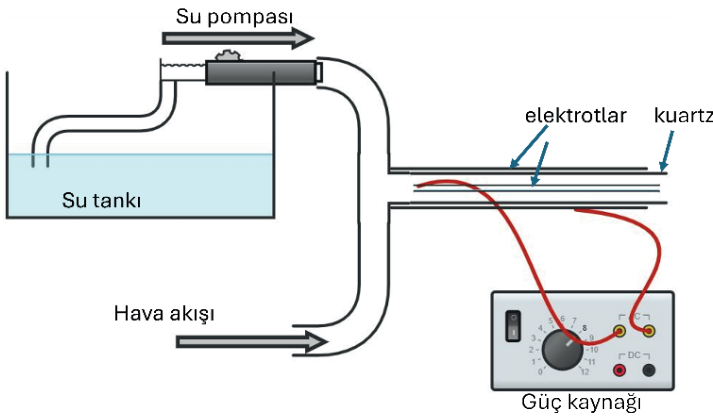
Laboratuvar ölçekli bir plazma sisteminden yüksek hacimli suda nitrojen içeriğini verimli bir şekilde artırabilen bir plazma sistemine nasıl geçersiniz? Plazma-su etkileşiminde, plazma fiziği ve plazma kimyasının keşiftiği ve birlikte çalışması gereken yer burasıdır. Plazma reaktörlerinin çeşitli konfigürasyonları arasında atmosferik basınçlı plazma jeti (APPJ) en yaygın olanıdır. Girdi olarak sadece hava, su ve elektrik enerjisinin kullanıldığı ve atık olmadan azot sabitlenmiş suyun elde edildiği verimli bir sistem için araştırmalar yapılmaktadır. Bunun için hava-su deşarjının fiziksel olarak analiz edilmesi ve kimyasal mekanizmanın anlaşılması gerekmektedir. Plazma ve aktifleştirilmiş suyun eş zamanlı olarak analiz edilerek hangi plazma parametrelerinin azot türlerinin oluşumunu nasıl etkilediğinin ve zamana bağlı bu değişimlerin proses sırasında ve sonrasında nasıl analiz edildiğinin incelenmesi gerekir. Plazmayı analiz etmek için voltaj ve akım ölçümleri, optik emisyon spektroskopisi ve ICCD (Intensified Charge Coupled Device) kame-

ra ile fotoğraflama kullanılabilir. Hava-su deşarjından elde edilen suyun nitrat, amonyak içeriği, pH ve iletkenlik analizleri yapılmalıdır. Böyle bir araştırma için genel girdi ve çıktılar Şekil 4’de gösterilmiştir. Bütün bunlar elbette enerji verimi gözetilerek yapılmaya çalışılmaktadır ki bu da deşarjın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin anlaşılmasıyla mümkündür.



Şekil 4.

Basit olarak su -hava karışımı deşarjını gerçekleştirilmesi için kullanılacak atmosferik basınç plazma sistemi Şekil 5’deki gibidir. Böyle bir sistemde su özellikle hidrojen kaynağı olarak kullanılmaktadır. Hava girişinden farklı olarak azot ve oksijen girişi de sağlanabilir.



Şekil 5.

Azot ve hidrojen den plazma amonyak sentezi reaksiyonu ekzotermik bir reaksiyondur, bu nedenle düşük sıcaklıkta işlem tercih edilir, ancak  $N_2$ 'nin ayrışması güçlü bir endotermik reaksiyondur ve yüksek enerji girişi gerektirir.

Plazma azot fiksasyonu için genel süreç, azotun hidrojen veya oksijen ile reaksiyona girmesini içerir, bu da amonyak veya azot oksit (nitrik asit) üretimi ile sonuçlanır. Amonyak sentezi durumunda, kinetik reaksiyon hızları ve azot ayrışması daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla olurken, daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek verim elde edilir. Çeşitli araştırma grupları, plazma reaksiyon kinetiğinin anlaşılmasındaki hızla ilerleyen gelişmeler nedeniyle plazma azot fiksasyonu üzerine çok sayıda çalışma yayınlamıştır. Araştırmacılar, hava plazması  $N_2$ - $O_2$  karışımlarından ve argon; argon-azot ve azot plazması kullanarak laboratuvar ölçekli prosedürler için atmosferik azot fiksasyonunun  $NO$ 'ya dönüşümünü araştırmışlardır.

#### 4. Sonuç

Azot fiksasyonunun endüstriyel zorunluluğu, tarımı sürdüren gübrelerden ilaçlara, patlayıcılara ve pigmentlere kadar azot içeren bileşiklere yönelik küresel talepler karşısında açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, moleküler azotun kimyasal inertliği, onu amonyak veya nitratlar gibi reaktif formlara dönüştürmek için dönüştürücü bir süreç, azot fiksasyonu gerektirir.

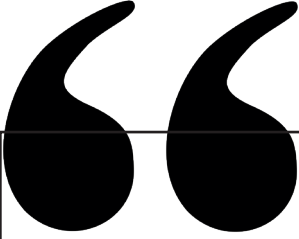
Araştırmalar, reaktörü optimize ederek ve titreşim enerjisinin  $N_2$ 'den  $O_2$ 'ye geçişini önleyerek, enerji tüketiminin 0,5 MJ/mol  $N$ 'ye düşürülebileceğini göstermiştir. Çalışmalar, çeşitli deşarjlarda, ortalama elektrik alanının ve deşarjın ortalama gaz sıcaklığının, akış hızının etkisinin ve oksijen içeriğinin  $NO_x$  üretim verimliliğini büyük ölçüde düzenleyebileceğini göstermiştir.

Gıda ve tarım ürünlerinin, artan nüfusa ve yükselen yaşam standartlarına bağlı olarak karşılanması ve birim alandan daha çok ve kaliteli ürün alınması amacı ile kullanılan girdilerden bir gübredir. Dünyada gübre üretimi hammadde kaynaklarına göre şekillenmektedir. Ülkemizde hammadde kaynakları bulunmadığı için kimyasal gübre üretimi açısından %90 oranında dışa bağımlılık söz konusudur. Ülkemizdeki üretim tüketimi karşılayamamaktadır. Kimyasal gübreler dendiğinde önemli besin elementi olarak azot öne çıkmaktadır. Diğer taraftan ülkemizdeki gübre üretim süreçleri açısından önemli iyileştirmeler bulunmakla birlikte köklü bir üretim süreci değişikliği olmamıştır.

## Kaynaklar

- Birkeland, K. (1906). On the Oxidation of Atmospheric Nitrogen in Electric Arcs. *Trans. Faraday Soc.* 2, 98.
- Bruggeman P. J., Kushner M.J., Locke B.R., Gardeniers J.G.E, Graham W.G., Graves D.B., Hofman-Caris R.C.H.M., Maric D., Reid J.P. vd. (2016). Plasma–liquid interactions: a review and roadmap. *Plasma Sources Sci. Technol.* 25, 053002
- Chang J-S, Lawless P, Yamamoto T. (1991). Corona discharge processes. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 19: 1152-1166.
- Güleç A. (2011). Yüksek frekans atmosferik basınç plazma sisteminin incelenmesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s14.
- Güleç A., Oksuz L., Hershkowitz N. (2011). Optical studies of dielectric barrier plasma aerodynamic actuators. *Plasma Sources Sciences Technology*, 20,045019.
- Hoeven, M.V., Kobayashi, Y., Diercks, R. (2013). Technology roadmap: energy and GHG reductions in the chemical industry via catalytic processes. *Int. Energy Agency: Paris.* 56.
- Laroussi, M. (2005). Low temperature plasma-based sterilization: overview and state-of-the-art. *Plasma Process. Polym.*, 2 :391-400.
- Laroussi M., Akan T. (2007). Arc-Free Atmospheric Pressure- Cold Plasma Jets: A Review. *Plasma Process. Polym.* 4: 777-788.
- Lieberman, M.A., Lichtenberg, A.J. (2005). Principles of Plasma Discharges and Material Processing. *John Wiley & Sons*, ISBN 0-471-72001-1,757p. USA.
- Smil, V. (2004). Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production. MIT Press.
- Wu, S., Thapa, B., Rivera, C., Yuan Y. (2021). Nitrate and nitrite fertilizer production from air and water by continuous flow liquid-phase plasma discharge. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 104761.





## *Bölüm 2*

### **GİRESUN BATLAMA-AKSU HATTI BOYUNCA FARKLI ARAZİLERDEN ALINAN TOPRAK NUMUNELERİNDE AĞIR METAL KONSANTRASYONLARI**

*Biol ERTUĞRAL<sup>1</sup>*

*Mehmet KABAER<sup>2</sup>*

1 Prof. Dr.; Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, biol.ertugral@giresun.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-4376-3476

2 Dr. Öğr. Üyesi; Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, mehmet.kabaer@giresun.edu.tr, ORCID No: 0000-0001-5668-6273

## GİRİŞ

Toprak, atmosferi litosferden ve tatlı suyu tuzlu sudan (hidrosfer) ayıran bir ara katmandır. Birçok bitki ve hayvana yaşam alanı sağlayan ve gezegenimizin yaşayan, nefes alan derisi olan biyosferin (yaşam küresi) bir parçasıdır (White, 2005).

Toprak, bitkilerin büyümesi için gerekli olan besin maddelerini içerir, ancak ağır metaller gibi kirleticilerle kirlendiğinde, bitkilerin büyümesini engelleyebilir veya insanlar ve diğer organizmalar için tehlikeli hale gelebilir.

Toprak kirliliği esasen taşıma kapasitesini aşan ve toprak kalitesini değiştiren toksik maddeleri ifade eder (Golui, vd., 2019). Toprak kirliliğinin başlıca nedenleri ağır metaller, atık su ve endüstriyel belediye atıkları ile tarla gibi tarım arazilerine uygulanan büyük miktarlardaki gübre ve pestisitlerdir (Chen, vd., 2015).

Ağır metaller, genellikle endüstriyel faaliyetler, madencilik ve atık yönetimi gibi insan etkinliklerinin bir yan ürünü olarak ortaya çıkar. Bu metaller, toprakta birikerek bitkiler tarafından emilebilir ve gıda zinciri boyunca insanlara ve diğer organizmalara zarar verebilir.

Ağır metaller genellikle toprak partikülleri üzerinde adsorbe olur, organik bileşikler oluşturur, minerallerin yapısına bağlı olarak şelat bileşiklerinde çözülür ve bağlı iyonlar veya katı çözeltiler şeklinde çeşitli hallerde bulunurlar (Kafadar, vd., 2010). Ağır metaller, toprak oluşumu sırasında kaynak materyalde katı bileşikler olarak silikatlar, sülfürler ve karbonatlar şeklinde bulunabilir veya doğal olarak silikatlar içinde absorbe edilebilir (Okçu, vd., 2009). Dünyanın yapısındaki doğal oluşuma ek olarak, antropojenik faaliyetler, sanayileşme, kentleşme ve yoğun tarımsal süreçler, ağır metallerin toprağa ve çevreye yayılmasının ana kaynaklarıdır (He, vd., 2005).

Ağır metaller, yoğunluğu ve atomik ağırlığı nedeniyle bu adı alırlar. Bu gruba 60 tan fazla metal dahil olmakla birlikte yaygın olarak bilinen bazı ağır metal çeşitleri şu şekildedir:

**Kurşun (Pb):** Periyodik tablonun 82. sırasında bulunan bir elementtir. Kurşun, endüstriyel faaliyetler, otomobil egzozları, kurşun asit piller, boya ve benzeri ürünler gibi kaynaklardan yayılır. Hem çevresel hem de insan sağlığı için ciddi bir tehlike oluşturabilir. Kurşun için ana emilim yolları gastrointestinal sistem ve solunum yoludur. Kurşun deri yoluyla da emilebilir. Toksikite açısından yüksektir ancak biyolojik sistemlerde birikme eğiliminde değildirler. Günlük tolere edilebilir doz 0,0005 mg/kg dır (Asomugha, vd., 2016).

**Cıva (Hg):** periyodik tablonun 80. sırasında bulunan bir elementtir. Cıva, sıvı bir metaldir ve düşük sıcaklıklarda bile erime ve buharlaşma eğilimindedir. Bu özelliği, cıva buharının solunması veya cilt teması gibi yollarla insan

sağlığına ciddi zararlar verebilir. Cıva maruziyeti, sinir sistemi hasarı, böbrek hasarı, cilt tahrişi ve diğer sağlık sorunlarına neden olabilir. Yüksek toksisitesi olan ve yüksek birikme sahip bir metaldir. Cıva, termal santraller, madencilik, metalurji, ve tıbbi cihazlar gibi çeşitli endüstriyel kaynaklardan yayılır. Günlük tolere edilebilir doz 0,0016 mg/kg dır.

Kadmiyum (Cd): periyodik tablonun 48. sırasında bulunan bir elementtir. Kadmiyum, çinko üretimi, fosfat gübre üretimi, plastik üretimi ve bazı endüstriyel süreçlerden kaynaklanır. Düşük toksisiteye sahip olabilir ancak toprak ve sucul ortamlarda birikme eğilimindedirler ve uzun vadede çevre sağlığını etkileyebilirler. Solunum yoluyla veya gıda zinciri aracılığıyla insanlara ulaşabilir ve ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Günlük tolere edilebilir doz 0,007 mg/kg'dır.

Arsenik (As): periyodik tablonun 33. sırasında bulunan bir elementtir. Madencilik, endüstriyel uygulamalarda ve tarımda yaygın olarak kullanılır ve bazı doğal kaynaklar tarafından yayılır. Ancak, arsenik toksik etkileri nedeniyle çevre ve insan sağlığı için ciddi bir endişe kaynağı oluşturur. Uzun süreli maruziyet kanser, cilt lezyonları, nörolojik etkiler, kalp ve damar hastalıkları sebep olabilir. Günlük tolere edilebilir doz 0,015 mg/kg dır.

Bakır (Cu): Bakır, periyodik tablonun 29. sırasında bulunan bir geçiş metalidir. Bakır, doğada yaygın olarak bulunan ve elektrik ve elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan önemli bir metaldir. İyi bir iletken olmasıyla bilinir. Hem insanlar için zararlı olabilir hem de toprağa ve suya zarar verebilir. Bakır saç, cilt, kemikler ve bazı iç organlar için gerekli bir yapı taşı olmasına rağmen, çok fazla bakır yavaş büyüme ve gelişmeye, gri saçlara, düşük vücut ısısına ve beyin hasarına yol açabilir (Yerli, vd., 2018).

Nikel (Ni): Periyodik tablonun 28. sırasında bulunan bir geçiş metalidir. Birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmıştır. Özellikle metal alaşımlarında, kaplamalarda, pil üretiminde ve manyetik malzemelerde kullanılan önemli bir metaldir. Nikelin toksik etkileri nedeniyle çevre ve insan sağlığı için endişe kaynağı oluşturabilir. Nikel alerjisi, bazı insanlarda cilt tahrişine, döküntülere ve diğer sağlık sorunlarına neden olabilir. Ayrıca, nikel endüstriyel atık suların kirlenmesine ve toprak kirliliğine de katkıda bulunabilir. Günlük tolere edilebilir doz 0,0028 mg/kg dır.

Çinko (Zn): Çinko, periyodik tablonun 30. sırasında bulunan bir geçiş metalidir. Doğada yaygın olarak bulunur. Bu metaller daha hafif olmakla birlikte hem düşük toksisiteye hem de düşük birikme potansiyeline sahiptirler. Birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılır. Genellikle çelik üretiminde galvanizasyon sürecinde koruyucu bir kaplama olarak kullanılır. Ayrıca pil yapımında, metal alaşımlarında, korozyon önleyici maddelerde ve birçok endüstriyel uygulamada kullanılır. Aslında, insan vücudu için eser elementler-

den biridir ve sağlık açısından önemlidir. Bağışıklık sistemi fonksiyonlarında, protein sentezi ve hücrel bölünme gibi birçok biyolojik süreçte rol oynar. Günlük tolere edilebilir doz 0,43 mg/kg'dır.

**Krom (Cr):** Krom, periyodik tablonun 24. sırasında bulunan bir geçiş metalidir. Krom, gümüş-beyaz bir renge sahip metalik bir görünüme sahiptir. Kimyasal olarak oldukça kararlıdır ve oksitlenmeye karşı dirençlidir. Eğer oksitlenirse, yüzeyinde parlak bir kaplama oluşturur. Bu özellik, paslanmaz çelik üretiminde ve korozyona dayanıklı kaplamaların yapılmasında kullanılmasını sağlar. Krom, bazı formları insan sağlığına zararlı olabilir. Özellikle, altı değerlikli krom (Cr(VI)), kanserojen olarak bilinir ve solunum yoluyla veya cilt temasıyla temas halinde insan sağlığını ciddi şekilde etkileyebilir. Günlük tolere edilebilir doz 0,3 mg/kg dır.

**Kobalt (Co):** periyodik tablonun 27. sırasında bulunan bir geçiş metalidir. Kobalt, birçok endüstriyel uygulamada özellikle, metal alaşımlarında, manyetik malzemelerde, pil üretiminde ve reaktiflerin hazırlanmasında kullanılır. Uzun süreli maruziyet, cilt tahrişi, solunum yoluyla alınması durumunda akciğer hasarı ve diğer sağlık sorunlarına neden olabilir. Ayrıca, kobalt bazı endüstriyel atık suların kirlenmesine ve toprak kirliliğine katkıda bulunabilir. Günlük tolere edilebilir doz 0,023 mg/kg dır.

**Demir (Fe):** periyodik tablonun 26. sırasında bulunan bir geçiş metalidir. Demir, doğada en yaygın bulunan metallere biridir ve birçok endüstriyel ve ticari uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Demirin toksik veya çevresel olarak zararlı özellikleri yoktur ve insan sağlığına zararlı değildir. Aksine, insan vücudu için gerekli olan bir eser elementtir ve sağlık açısından önemlidir. Ancak vücuda fazla alınması durumunda vücuda zarar verir. İnsanların her gün 10-18 miligram demire ihtiyacı olmasına rağmen dozların 40 mg/kg'dan yüksek olması tıbbi yardım gerektirir.

**Selenyum (Se):** periyodik tablonun 34. sırasında bulunan bir metaloiddir. Selenyum, doğada bulunan eser bir elementtir ve insanlar ve diğer canlı organizmalar için biyolojik olarak önemlidir. Özellikle antioksidan aktivitesi nedeniyle sağlık üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu düşünülmektedir. Selenyumun uygun miktarlar da alınması, bağışıklık sistemi sağlığı, tiroit fonksiyonu ve hücrel koruma gibi birçok biyolojik süreçte rol oynar. Ancak, yüksek dozlarda alındığında veya toksik bileşiklerle maruz kalındığında, selenyumun da zararlı olabilir. Selenyum ayrıca elektronik ve fotoğrafçılık gibi bazı endüstriyel uygulamalarda da kullanılır.

Ağır metaller doğada her yerde bulunurlar ancak konsantrasyonları farklı bölgelerde değişiklik göstermektedir (Järup, 2003).

Farklı arazilerden alınan toprak numunelerinde ağır metal konsantrasyonları, toprağın kaynağına, coğrafi konumuna, endüstriyel etkinliklere ve

diğer faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. Toprak analizi, farklı bölgelerdeki ağır metal kirliliğinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Elde edilen veriler, belirli bir bölgedeki toprak kirliliği seviyelerini değerlendirmek ve gerekirse düzeltici önlemler almak için kullanılabilir. Ancak, toprak analizlerinin yanı sıra, ağır metal kirliliğinin ekolojik etkilerini ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmek için daha kapsamlı bir risk değerlendirmesi de gereklidir. Bu, ağır metal kirliliğinin etkilerini anlamak ve uygun önlemleri almak için önemlidir.

Bu çalışmada, Giresun ili, Batlama – Çaldağ – İnişdibi – Kızıldağ - Aksu hattı boyunca tarım, açık ve ormanlık arazi olmak üzere belirlenen 27 istasyondan alınan toprak numunelerinin ağır metal analizi Bruker marka 820-MS ICP MS ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Elde edilen bulgular; Tablo 5' te verilen Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (US EPA) belirlediği toprakta müsaade edilen ağır metal sınır değerleri ve aynı zamanda Dünya ve Türkiye ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır (WHO/FAO., 2007; Türkmenler, 2022; Akyıldız vd., 2018; Dartan vd., 2013; ECDGE, 2010; Kul vd., 2021).

## MATERYAL VE METOT

### Numunelerin Toplanması ve Ölçüme Hazırlanması

Çalışma bölgesi olarak yüksekliği 0-1400 metre aralığında, 80 km'lik hat boyunca, Giresun ili Batlama-Çaldağ-İnişdibi-Kızıldağ-Aksu hattı üzerinde tarım, açık ve ormanlık arazi türleri olmak üzere 27 istasyon belirlenmiş ve bu istasyonlardan toprak numuneleri toplanmıştır (Tablo 1 ve Şekil 1 (a-e)). Ancak bazı istasyonlar belirtilen arazi türlerinden herhangi birine sahip olmadığı için toprak numunesi alınmamıştır.

Sahilden başlamak üzere, çeşitli aralıklarda ve belirtilen arazi türlerinde yüzeyden 30-40 cm derinlikten 1kg'lık toprak numuneleri alınarak ayrı ayrı ağzı kilitli poşetlere konulmuş; hangi bölgeden alındıkları, kaçınıcı örnek oldukları ve koordinatları üzerlerine etiketlenmiştir.

Toplanan toprak numuneler içindeki yabancı maddeler (ağaç parçası, yosun, taş, cam vs.) temizlenerek kurutuldu. Bu numuneler gerekli miktarlarda olacak şekilde elenerek toz halinde küçük ve ağızları kilitli poşetlere konularak ölçüm sistemi için hazır hale getirilmişlerdir. Şekil 1(f-h)'da ağır metal analizi için toplanan, temizlenen, kurutulan ve ağzı kapanabilen poşetlere konulmuş toprak numuneleri gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Numune toplama bölgeleri ve koordinatları

İstasyon No	Bölge	Koordinatlar (Ondalık Derece)	
		X / Boylam(E)	Y / Enlem(N)
İstasyon 1	Giresun / Aksu-Kızıtaş	40.549898	38.242242
İstasyon 2	Giresun / Aksu-Kızıtaş	40.558317	38.247341
İstasyon 3	Giresun / Aksu-Kızıtaş	40.557762	38.264751
İstasyon 4	Giresun / Yavuzkema1	40.642579	38.316459
İstasyon 5	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.697150	38.318433
İstasyon 6	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.692920	38.307961
İstasyon 7	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.698809	38.308820
İstasyon 8	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.706815	38.316578
İstasyon 9	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.714211	38.318568
İstasyon 10	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.727612	38.316955
İstasyon 11	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.726552	38.312195
İstasyon 12	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.715994	38.303746
İstasyon 13	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.723152	38.298875
İstasyon 14	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.727741	38.297460
İstasyon 15	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.736383	38.296651
İstasyon 16	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.747275	38.301803
İstasyon 17	Giresun / Ağabaşı-aldađ	40.761849	38.308811
İstasyon 18	Giresun / aldađ-Saya	40.785968	38.311967
İstasyon 19	Giresun / aldađ-Saya	40.805194	38.306547
İstasyon 20	Giresun / Saya-Burhaniye	40.841031	38.308457
İstasyon 21	Giresun / Burhaniye-Batlama Spor S.	40.863563	38.317770
İstasyon 22	Giresun / Burhaniye-Batlama Spor S.	40.870387	38.320389
İstasyon 23	Giresun / Batlama Spor S.-Sahil yolu	40.880351	38.337745
İstasyon 24	Giresun / Batlama Spor S.-Sahil yolu	40.890203	38.347365
İstasyon 25	Giresun / Batlama Spor S.-Sahil yolu	40.900093	38.352702
İstasyon 26	Giresun / Batlama Spor S.-Sahil yolu	40.904621	38.354405
İstasyon 27	Giresun / Batlama Spor S.-Sahil yolu	40.908446	38.355086



Şekil 1. (a) Numune toplama güzergahı, (b,c,d) arazi yapıları, (e) sistematik numune alım istasyonu, (f) toplanan topraklar, (g,h) kurutma ve ölçüm için poşetleme

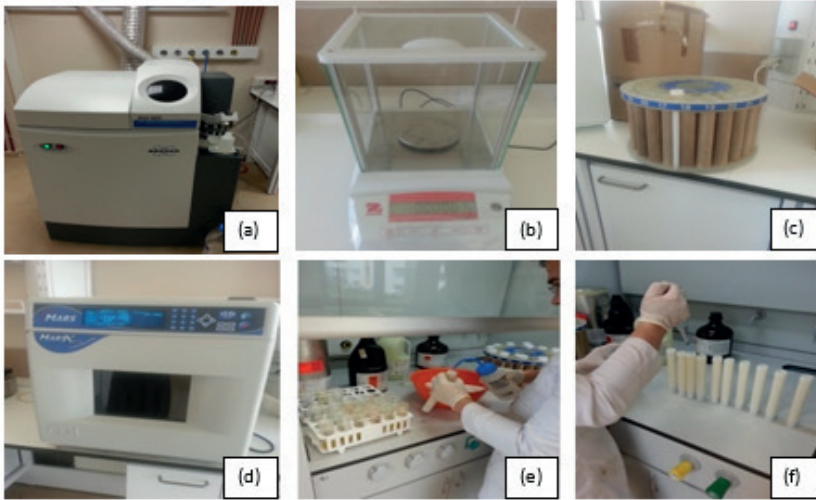
### Toprak Numunelerinde Ağır Metal Analizi

Toprak numunelerinin ağır metal analizi için Bruker marka 820-MS ICP MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) cihazı kullanıldı (Şekil 2 (a)). İndüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometrisi (ICP-MS), numunelerin moleküler bağları kıran ve atomları iyonize eden yüksek sıcaklıktaki bir plazmaya (genellikle argon) gönderildiği analitik bir tekniktir. ICP-MS, hızlı ve uygun kütle aralığı nedeniyle çözültedeki eser elementlerin belirlenmesi için uygundur. Birçok element için pg-mg/L arasında kalibrasyon eğrileri oluşturulabilir. Bu nedenle farklı konsantrasyonlara sahip birçok element aynı anda belirlenebilir. ICP-MS atık su, içme suyu, gıda, hidrojeoloji, jeokimya, jeoloji ve petrokimya alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır (Önder, 2012).

Ağır metal analizi için laboratuvara getirilen toprak numuneler 0,0001g hassasiyete sahip analitik terazi (Şekil 2 (b)) kullanılarak toprak numunelerinden 0,5 g alındı ve ısı ve basınca dayanıklı teflon tüplere doldurulan numuneler mikrodalganın aparatına simetrik olarak yerleştirildi (Şekil 2 (c)).

Mikrodalgada 5 ml nitrik asit ve 2 ml hidroklorik asit ile sindirimden sonra (Şekil 2 (d)), örnekler organik yıkımdan sonra soğutulmuştur. Soğutulan numuneler santrifüj edilmiş ve ardından tüm numunelerin aynı seviyede olmasını sağlamak için hacimleri 50 ml'ye tamamlanarak filtre kağıdından süzölmüştür.

Bunlardan 10 ml enjektör ile alınarak küçük numune kaplarına aktarıldı (Şekil 2 (e,f)) ve ICP-MS cihazında ölçüme hazır hale getirildi. ICP-MS cihazında yapılan ölçümler sonucunda numunelerdeki Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd ve Pb metallerinin konsantrasyonları belirlendi.



Şekil 2 (a) ICP-MS analiz cihazı, (b) Hassas terazi, (c) Teflon tüplere yerleştirme, (d-e-f) Mikrodalga ve filtreleme



**BULGULAR**

Batlama-Çaldağ-İnişdibi-Kızıtaş-Aksu hattı üzerinde belirlenen 27 istasyondan alınan toprak numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları tarım arazisi, açık arazi ve ormanlık araziler için ayrı ayrı Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Açık arazilerde ağır metal konsantrasyonu (mg/kg).

İstasyon	Cr	Mn	Fe*	Co	Ni**	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
1	0,21	2,21	0,17	0,11	18,00	0,21	0,30	0,04	0,16	0,01	0,11
2	0,30	2,67	0,19	0,12	3,00	0,31	0,42	0,06	1,48	0,01	0,13
3	0,17	3,50	0,24	0,17	DLA	0,41	0,25	0,02	0,11	0,01	0,07
4	19,95	412,11	11,97	81,77	DLA	19,32	25,52	13,50	6,71	0,20	11,67
5	12,52	466,87	11,12	6,11	DLA	17,23	45,94	5,02	23,31	0,61	23,39
6	14,74	313,90	9,10	4,68	DLA	10,67	39,60	3,16	64,54	0,53	19,09
7	3,01	256,14	8,36	4,44	DLA	11,22	26,32	30,53	60,86	0,31	10,90
8	10,73	261,59	7,42	4,05	DLA	8,97	28,99	2,82	52,73	0,22	10,69
9	9,78	255,80	7,36	4,36	DLA	8,06	30,92	3,25	45,29	0,16	11,38
10	13,42	252,26	13,84	4,81	DLA	18,70	48,52	3,94	36,02	0,09	12,43
11	9,13	282,10	8,13	4,45	DLA	10,48	26,47	2,42	24,65	0,12	10,06
12	7,86	264,17	8,40	5,45	DLA	11,19	23,25	2,19	14,19	0,12	7,48
13	4,54	417,71	9,43	6,17	DLA	12,70	21,52	1,75	17,11	0,11	6,43
14	1,07	415,43	4,81	2,30	DLA	8,13	10,71	0,90	11,06	0,05	6,94
15	10,44	250,64	9,59	5,45	DLA	13,28	25,44	2,35	15,02	0,04	8,47
16	6,64	263,33	7,89	4,62	DLA	9,91	22,73	2,22	18,56	0,07	7,39
17	3,65	240,10	7,33	3,68	DLA	12,19	46,14	3,26	15,96	0,10	10,61
18	11,10	439,40	10,60	5,73	DLA	20,21	27,45	3,29	64,90	0,22	12,15
19	3,46	188,34	8,39	4,67	DLA	15,43	37,48	3,34	30,30	0,18	11,96
20	1,57	161,27	5,70	2,57	DLA	6,26	26,75	1,85	10,94	0,12	5,56
21	0,50	183,72	5,67	2,54	DLA	9,20	28,86	2,48	15,09	0,10	6,64
22	45,59	209,14	6,07	4,27	DLA	6,88	14,90	0,13	25,47	0,03	2,25
23	5,34	181,61	6,69	2,82	DLA	10,31	31,86	2,27	25,05	0,13	10,27
24	4,96	187,24	6,07	3,85	DLA	13,76	24,99	3,24	19,15	0,12	12,47
25	DLA	286,31	4,44	2,19	DLA	6,10	17,09	1,44	12,93	0,06	9,82
26	5,73	308,53	10,85	5,63	DLA	20,56	30,90	8,43	29,97	0,12	11,29
27	10,13	403,47	9,86	5,30	DLA	118,63	30,48	5,25	31,82	0,13	11,45
<b>Ortalama</b>	<b>8,02</b>	<b>255,91</b>	<b>7,40</b>	<b>6,75</b>	<b>10,50</b>	<b>14,83</b>	<b>25,70</b>	<b>4,04</b>	<b>24,94</b>	<b>0,15</b>	<b>9,30</b>

\*mg/g, \*\*g/kg (ppb), DLA: Dedeksiyon limitinin altında

Tablo 2'deki verilere göre; Açık arazi için ölçümü yapılan numunelerdeki ortalama ağır metal konsantrasyonları dikkate alındığında, Cr için 0,17-45,59 mg/kg, Mn için 2,21-466,87 mg/kg, Fe için 0,17-13,84 mg/kg, Co için 0,11-81,77 mg/kg, Ni için 3,00-18,00 mg/kg ve Cu için 0,21-118,63 mg/kg , Zn için 0,25-48,52 mg/kg , As için 0,04-30,53 mg/kg, Se için 0,11-13,50 mg/kg, Cd için

0,01-0,61 mg/kg ve Pb için 0,07-23,39 mg/kg arasında değişen değerler elde edilmiştir. Açık araziler için tüm istasyonlardaki ortalama değerler ise Cr için 8,02 mg/kg, Mn için 255,91 mg/kg, Fe için 7,40 mg/kg, Co için 6,75 mg/kg, Ni için 10,50 mg/kg ve Cu için 14,83 mg/kg, Zn için 25,70 mg/kg, As için 4,04 mg/kg, Se için 24,94 mg/kg, Cd için 0,15 mg/kg ve Pb için 9,30 mg/kg olarak bulunmuştur.

Tablo 3. Tarım arazilerinde ağır metal konsantrasyonu (mg/kg).

İstasyon	Cr	Mn	Fe*	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	21,79	625,72	14,12	8,19	5,52	29,06	53,81	15,76	26,49	0,42	22,21
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	6,49	266,17	6,74	4,04	DLA	95,10	28,05	1,83	21,34	0,08	7,30
12	10,90	244,69	9,05	4,97	DLA	10,96	31,59	2,52	16,99	0,18	10,73
13	0,65	283,02	5,48	3,01	DLA	10,61	14,10	1,36	14,94	0,06	7,42
14	8,00	740,00	9,15	4,69	DLA	25,39	80,29	1,54	101,31	0,18	10,75
15	8,74	269,72	9,74	58,71	DLA	15,04	26,34	2,34	16,71	0,09	8,55
16	50,19	308,42	8,58	5,54	DLA	382,83	129,66	1,43	14,26	3,25	40,55
17	4,65	364,02	8,05	4,75	DLA	16,97	31,99	3,78	11,15	0,05	9,73
18	7,52	610,21	11,33	8,08	DLA	36,80	58,28	5,14	50,72	0,39	23,64
19	3,51	209,27	8,71	4,08	DLA	14,16	40,78	5,45	13,39	0,20	16,81
20	1,82	179,06	6,15	3,22	DLA	8,92	46,76	2,63	14,43	0,12	8,60
21	1,85	215,54	7,60	4,31	DLA	11,32	26,94	2,99	14,45	0,13	7,40
22	DLA	194,66	4,05	1,56	DLA	7,91	14,62	0,46	0,91	0,03	3,23
23	DLA	360,18	8,28	3,16	DLA	36,03	51,35	7,93	14,27	0,15	4,45
24	9,61	296,76	8,69	4,92	DLA	8,27	29,55	3,99	24,74	0,14	14,86
25	8,8	190,92	8,32	3,85	DLA	10,52	27,42	2,09	26,78	0,11	16,20
26	8,29	402,88	13,04	6,84	DLA	22,53	43,17	8,67	33,42	0,19	23,72
27	15,83	451,15	10,07	4,73	DLA	19,71	29,25	6,90	35,50	0,13	16,09
<b>Ortalama</b>	<b>10,54</b>	<b>345,13</b>	<b>8,73</b>	<b>7,70</b>	<b>5,52</b>	<b>42,34</b>	<b>42,44</b>	<b>4,27</b>	<b>25,10</b>	<b>0,33</b>	<b>14,01</b>

\*mg/g, DLA: Dedeksiyon limitinin altında

Tablo 3'teki verilere göre; Tarım arazisi için ölçümü yapılan numunelerdeki ortalama ağır metal konsantrasyonları dikkate alındığında, Cr için 0,65-50,19 mg/kg, Mn için 179,06-740,00 mg/kg, Fe için 5,08-14,12 mg/kg, Co için 1,56-58,71 mg/kg, Ni için 0,00-5,52 mg/kg ve Cu için 7,91-382,83 mg/kg, Zn için 14,10-129,66 mg/kg, As için 0,46-15,76 mg/kg, Se için 0,91-101,31 mg/kg, Cd için 0,03-3,25 mg/kg ve Pb için 3,23-

40,55 mg/kg arasında değişen değerler elde edilmiştir. Tarım arazisi için tüm istasyonlardaki ortalama değerler ise Cr için 10,54 mg/kg, Mn için 345,13 mg/kg, Fe için 8,73 mg/kg, Co için 7,70 mg/kg, Ni için 5,52 mg/kg ve Cu için 42,34 mg/kg , Zn için 42,44 mg/kg , As için 4,27 mg/kg, Se için 25,10 mg/kg, Cd için 0,33 mg/kg ve Pb için 14,01 mg/kg olarak bulunmuştur.

Tablo 4. Orman arazilerinde ağır metal konsantrasyonu (mg/kg).

İstasyon	Cr	Mn	Fe*	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
1	0,23	2,27	0,20	0,12	0,02	0,29	0,41	0,05	0,39	0,01	0,11
2	0,31	1,87	0,15	0,10	DLA	0,23	0,31	0,02	0,19	0,01	0,08
3	0,17	2,04	0,19	0,09	0,03	0,29	0,48	0,02	0,19	0,01	0,17
4	21,79	625,72	14,12	8,19	5,52	29,06	53,81	15,76	26,49	0,42	22,21
5	8,06	388,84	10,91	5,47	DLA	13,53	34,50	4,28	32,40	0,52	13,61
6	18,21	747,88	10,04	5,62	DLA	10,65	49,34	3,27	63,95	0,65	25,21
7	2,93	185,55	4,65	3,20	DLA	6,55	13,31	2,22	23,54	0,13	7,33
8	5,18	353,91	8,40	5,38	DLA	13,80	26,78	1,23	41,84	0,30	5,75
9	3,62	467,97	9,68	10,32	DLA	21,49	28,15	1,86	35,86	0,18	7,47
10	11,83	285,43	11,59	4,99	DLA	16,87	42,16	3,77	31,22	0,15	12,91
11	8,71	381,95	10,24	5,66	DLA	13,76	32,22	3,37	25,16	0,13	17,25
12	5,36	254,17	7,18	4,70	DLA	10,88	18,01	1,99	11,97	0,09	6,47
13	7,66	351,92	5,58	5,42	DLA	9,01	14,22	0,94	22,06	0,06	4,36
14	7,19	337,46	7,66	5,32	DLA	12,74	27,83	1,39	25,28	0,07	7,26
15	16,60	461,48	13,27	7,62	DLA	17,87	34,83	3,64	23,02	0,10	11,67
16	3,05	334,85	5,69	3,09	DLA	9,91	13,36	1,38	12,50	0,03	5,11
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ortalama</b>	<b>7,55</b>	<b>323,96</b>	<b>7,47</b>	<b>4,71</b>	<b>1,86</b>	<b>11,68</b>	<b>24,36</b>	<b>2,83</b>	<b>23,50</b>	<b>0,18</b>	<b>9,19</b>

\*mg/g, DLA: Dedeksiyon limitinin altında

Tablo 4'teki verilere göre; Orman arazileri için ölçümü yapılan numunelerdeki ortalama ağır metal konsantrasyonları dikkate alındığında, Cr için 0,17-21,79 mg/kg, Mn için 1,87-747,88 mg/kg, Fe için 0,15-14,12 mg/kg, Co için 0,09-10,32 mg/kg, Ni için 0,02-5,52 mg/kg ve Cu için 0,23-29,06 mg/kg , Zn için 0,31-53,81 mg/kg , As için 0,02-15,76 mg/kg, Se için 0,19-63,95 mg/kg, Cd için 0,01-0,65 mg/kg ve Pb için 0,11-

22,21 mg/kg arasında değişen değerler elde edilmiştir. Orman arazileri için tüm istasyonlardaki ortalama değerler ise Cr için 7,55 mg/kg, Mn için 323,96 mg/kg, Fe için 7,47 mg/kg, Co için 4,71 mg/kg, Ni için 1,86 mg/kg ve Cu için 11,68 mg/kg, Zn için 24,36 mg/kg, As için 2,83 mg/kg, Se için 23,50 mg/kg, Cd için 0,18 mg/kg ve Pb için 9,19 mg/kg olarak bulunmuştur.

Açık, tarım ve orman bölgelerden temin edilen toprak numunelerinin tamamının ağır metal konsantrasyonlarının ortalaması alındığında  $Mn > Zn > Se > Cu > Pb > Cr > Fe > Co > Ni > As > Cd$  şeklinde aynı sıralamaya sahip olduğu görülmüştür.

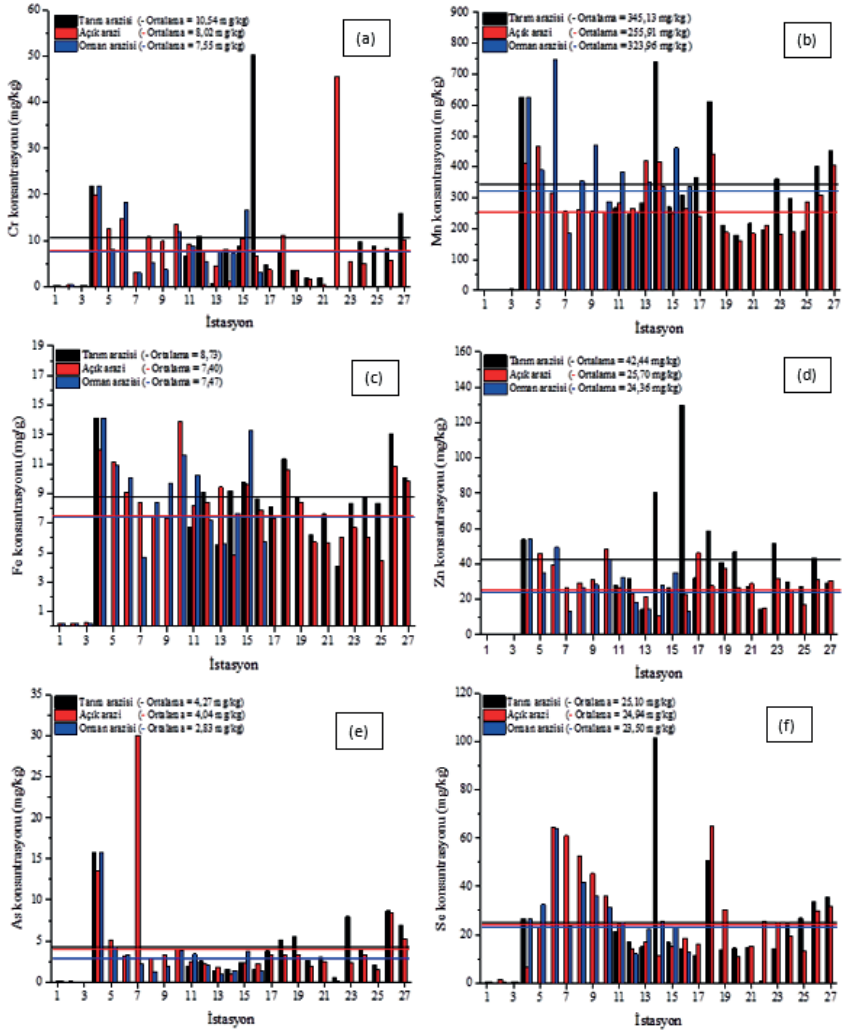
En yüksek değer Mn konsantrasyonuna ait olduğu ve bu değerlerin Açık bölgelerdeki istasyonlardan 5 nolu istasyonda 466,87 mg/kg, Tarım bölgelerdeki 4 nolu istasyonda 625,72 mg/kg, Orman bölgelerdeki ise 4 nolu istasyonda 747,88,72 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve ABD Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tarafınca belirlenen toprakta müsaade edilen ağır metal sınır değerleri ile Dünya ve Türkiye ortalama değerleri Tablo 5' te verilmiştir.

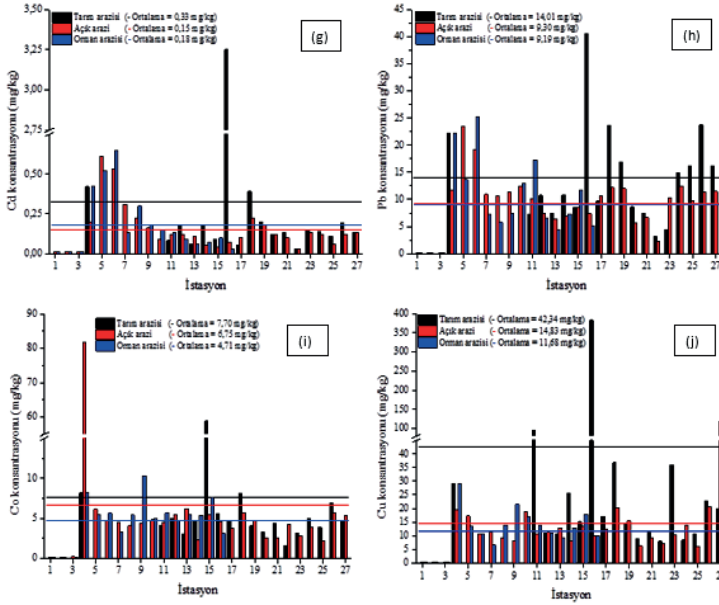
Tablo 5. Toprakta müsaade edilen ağır metal sınır değerleri

Ağır Metal (Sembölü)	Dünya Sağlık Örgütü (WHO) / Dünya Tarım Örgütü (FAO)			ABD Çevre Koruma Ajansı (US EPA)		Dünya ortalama değerleri (mg/kg)	Türkiye ortalama değerleri (mg/kg)	
	(mg/kg)			(mg/kg)			(mg/kg)	
	Türkmenler 2022	Akyıldız, vd., 2018	Kul, vd., 2021	Türkmenler 2022	Kul, vd., 2021	Türkmenler 2022	Akyıldız, vd., 2018	Dartan, vd., 2013; ECDGE, 2010
Cr		100	0,2		400	-	100	70
Mn	2000	2000			-	1000	-	
Fe	50000	50000			-	40000	-	
Co			50		-	8	-	
Ni	50				-	50	75	1564
Cu		100	12		200	-	140	3219
Zn			60		300	-	300	
As	20	20		8,17		6	-	
Se		-	-		-	-	-	
Cd		3	0,5		400	-	3	70
Pb		100	10		300	-	300	400

Şekil 3.1 ((a) Cr, (b) Mn, (c) Fe, (d) Zn, (e) As, (f) Se) ve Şekil 3.2.((g) Cd, (h) Pb, (i) Co ve (j) Cu)'de açık, tarım ve orman arazisi istasyonlarından alınan toprak numunelerindeki ağır metallerin değişim grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. (a) Cr, (b) Mn, (c) Fe, (d) Zn, (e) As ve (f) Se konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.



Şekil 3.2. (g) Cd, (h) Pb, (i) Co ve (j) Cu konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimi.

## SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, Giresun ili Batlama-Çaldağ-İnişdiği-Kızıldağ-Aksu boyunca tarım, açık ve ormanlık arazi türlerini kapsayan 27 istasyondan toprak numuneleri alınmıştır. ICP-MS cihazı ile numunelerdeki Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd ve Pb metallerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Analiz sonuçları Tablo 5' teki ulusal ve uluslararası toprakta müsaade edilen ağır metal sınır standartlarıyla karşılaştırılmıştır.

İstasyonlardan alınan toprak numunelerinin ağır metal konsantrasyon değerleri (Tablo 2, 3 ve 4) toprakta müsaade edilen ağır metal sınır değerleri (Tablo 5) ile karşılaştırıldığında genel olarak normal sınırlar içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Ancak ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının Kobalt'ın (Co) açık arazi 4. ile tarım arazisi 15.(Şekil 3.2.i) , Arsenik'in (As) açık arazi 7. istasyonunda sınır değerlerinin üzerinde olduğu (Şekil 3.1.e), Bakır'ın (Cu) ise tarım arazisi 16. istasyonunda (Şekil 3.2.j) uluslararası sınır değerlerinin üstünde olup ulusal sınır değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak elde edilen verilere göre; Giresun ili Batlama-Çaldağ-İnişdiği-Kızıldağ-Aksu boyunca tarım, açık ve ormanlık arazi topraklarında bazıların ağır metal konsantrasyonlarının izin verilen sınır değerlerinin üzerinde olmasına rağmen sorun teşkil edebilecek bir kirliliğine sahip olmadığı görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akyıldız, M., Karataş, B., (2018). “Adana Şehir Merkezindeki Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2), ss. 199-214.
- Asomugha, R. N., Udowelle, N. A., Offor, S. J., Njoku, C. J., Ofoma, I. V., Chukwuogor, C. C., & Orisakwe, O. E. (2016). Heavy metals hazards from Nigerian spices. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 67(3).
- Chen, S., McKinney, G. J., Nichols, K. M., Colbourne, J. K., & Sepulveda, M. S. (2015). Novel cadmium responsive microRNAs in *Daphnia pulex*. *Environmental science & technology*, 49(24), 14605-14613.
- Dartan, G., & Toröz, İ. (2013). Güney Marmara Bölgesinde Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 25(1), 24-40.
- ECDGE, European Commission Director General Environment. (2010). Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilizers. Final Report. July WPA Consulting Engineers Inc.
- Golui, D., Datta, S. P., Dwivedi, B. S., Meena, M. C., Varghese, E., Sanyal, S. K., ... & Trivedi, V. K. (2019). Assessing soil degradation in relation to metal pollution—A multivariate approach. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28(7), 630-649.
- He, Z. L., Yang, X. E., & Stoffella, P. J. (2005). Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology*, 19(2-3), 125-140.
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British medical bulletin*, 68(1), 167-182.
- Kafadar, F. N., & Saygideğer, S. (2010). Gaziantep İlinde Organize Sanayi Bölgesi Atık Suları İle Sulanan Bazı Tarım Bitkilerinde Kurşun (Pb) Miktarlarının Belirlenmesi. *Ekoloji Dergisi*, 19(75).
- Kul, S., Gül, V., Cengiz, İ., (2021). “Toprak ve Bitkilerde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması: Bayburt İli Örneği”, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, Yıl: 6, Sayı: 2, (195-203).
- Okcu, M., Tozlu, E., metin Kumlay, A., & Pehlivan, M. (2009). Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 17(2), 14-26.
- Önder S., (2012). Atıksular ile Sulanan Zirai Alanlardaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konuya, 3-4-11-17-24-25.
- Türkmenler, H. (2022). Adıyaman İli Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(18), 562-570.
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Sahin, U., & Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 103-114.

White, R. E. (2005). Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource. John Wiley & Sons.

WHO/FAO. (2007). Joint FAO/WHO Food Standard Programme Codex Alimentarius Commission 13th Session. Report of the Thirty Eight Session of the Codex Committee on Food Hygiene.





## *Bölüm 3*

### **ADANA'NIN YÜREĞİR İLÇESİ MUSTAFA KEMAL PAŞA BULVARINDA ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK DÜZEYİNİN ÖLÇÜLMESİ VE RADYASYON DOZ İNDEKSİNİN HESAPLANMASI**

*Ömer SÖĞÜT<sup>1</sup>*

*Engin AKTAŞ<sup>2</sup>*

1 Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 46100 Kahramanmaraş, Türkiye, ORCID ID:0000-0003-1987-1116

2 Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 46100 Kahramanmaraş, Türkiye, ORCID ID: 0009-0002-8777-8247

## 1. Giriş

Radyasyon yaratılışın başından beri var olmuştur. İnsanların doğadaki en önemli enerji ve yaşam kaynağı radyasyondur. Ancak radyasyon yaşamın kaynağı olduğu kadar yok edici bir kaynakta olabilir. Radyasyon iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan olarak ikiye ayrılır. Gama ve X-ışınları gibi yüksek enerjili ışınlar iyonlaştırıcı radyasyonu kaynağına örnek oluştururken iyonlaştırıcı olmayan, düşük enerjili, radyofrekans kökenli radyasyona mikrodalga fırınları, radyo dalgaları, kablosuz telefonlar, kablosuz ağlar (wifi), elektrik hatları manyetik rezonan görüntüleme cihazları (MR) ve tüm elektrikli elektronik cihazlar sayılabilir (Wargo ve ark., 2012). Radyofrekans elektromanyetik alanları (RF EMF), elektromanyetik spektrumun 100 kHz ile 300 GHz frekans aralığını kapsayan kısmını tanımlamak için kullanılan bir terimdir. RF EMF'ye maruziyet genellikle  $W/m^2$  veya  $W/kg$  olarak ölçülmektedir. RF EMF alanları, cep telefonları, baz istasyonları, Wi-Fi, 5G, radyo, TV, güvenlik cihazları, mikrodalga fırınları, kablosuz güç aktarımı ve manyetik rezonans görüntüleme MRI ekipmanı olarak tıpta olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Cep telefonları, internet üzerinden iletişim ve kablosuz telefon çağrılarını iletme için birkaç yüz mega hertz ile birkaç ciga hertz arasındaki elektromanyetik spektrumun radyo frekansı aralığında çalışır. RF alanları, büyük miktarda verinin çok hızlı bir şekilde (ışık hızına kadar) büyük mesafelere taşınmasına olanak sağlar. Sinyallerin baz istasyonları ve antenlerden oluşan bir iletişim ağı tarafından iletilmesi ve çoğunlukla kablolu bir ağ tarafından desteklenmesi gerekir. Cep telefonları 450 MHz ile 2700 MHz arasında frekanslarda çalışan ve maksimum güçleri 0.1 ile 2 watt aralığında olan düşük güçlü radyo frekansı vericileridir (Wargo ve ark., 2012; ICNIRP, 2009). Cep telefonları sinyal gücünü ve dolayısıyla yayılan alanı otomatik olarak düzenleyerek en düşük güç seviyesinde bağlantı kurulmasını mümkün kılacak şekilde üretilmişlerdir (web 1). Ancak baz istasyonunun çok uzakta olması veya baz istasyonu ile cep telefonu arasında yüksek binalar, ağaçlar ve tepeler gibi engeller olduğu zaman zayıf bir bağlantı oluşumu daha yüksek çıkış gücü ve yayılımla sonuçlanır. Bağlantı ne kadar iyi olursa güç çıkışı da o kadar düşük olur (Wargo ve ark. 2012). Cep telefonu ağları ilk olarak 1981 yılında İsveç'te İskandinav Mobil Telefon Sisteminde (1G) kullanıldı. İkinci nesil cep telefonu sistemlerini veya 2G'yi temsil eden dijital sistem (GSM) 1991 yılında başladı. 1990'ların ortasından itibaren ise birçok ülkede cep telefonu sistemleri kullanılmaya başlamış. Hem yetişkinlerde ve hem de çocuklarda cep telefonu kullanıcılarının sayısı giderek artarken, insanların telefonda geçirdikleri süre de hızla artmaya başlamıştır. Bu durumda RF EMF alanlarına maruziyeti giderek arttırmıştır. Radyofrekans dalgalar da elektromanyetik alanlar içerir ancak gama ve X-ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyonlardan farklı olarak ne iyonlaşmaya neden olabilir ne de insan vücudundaki kimyasal bağları kırabilirler (WHO, 2002, 2014; ICNIRP, 1998, 2009; IARC 2000; IEEE, 1999; Söğüt

ve Ezer, 2017; Söğüt ve ark., 2017; Söğüt ve Eycil, 2021). RF EMF alanlarının da insan vücuduna girerek vücut dokusunda sıcaklık artışına neden olabilir. Maruz kalma süresine bağlı olarak, sıcak çarpması ve doku hasarı (yanıklar) gibi ciddi sağlık etkilerine neden olabilir. RF EMF ile ilgili baş ağrısı, konsantrasyon güçlüğü, uyku kalitesi, bilişsel işlevler, kardiyovasküler etkiler gibi sağlık etkileri ile ilgili araştırmalarda yapılmıştır. Bunlara ek olarak, telefonla konuşma yapılan kulağa yakın bölgelerde tümör oluşma riski ile ilgili araştırmalar yapılmış ve beyin tümörleri ile ilgili araştırmalar epidemiyolojik çalışmaların çoğunluğunun odak noktasını oluşturmuş (Swerdlow ve ark., 2011; Cardis ve ark., 2008; Kojimahara ve ark., 2024; Schüz ve ark., 2022; Calderón ve ark., 2022; Leng, 2016; Khurana ve ark., 2009). Bazı kişilerde düşük seviyelerinde dahi elektromanyetik radyasyona maruziyetleri ile ilgili olarak baş ağrısı, mide bulantısı, baş dönmesi ve bulanık görme gibi şikâyetler alınmış ve bu şikâyetler elektromanyetik aşırı duyarlılık (EHS) olarak adlandırılmıştır. Literatürde EHS ile ilgili araştırmalarda vardır (Hocking ve ark., 2001, 2002 ve 2003). Bunlara ek olarak, bazı çalışmalar EMF radyasyonlarının sağlık, gelişim, üreme, bağışıklık sistemi, büyüme, uyku ve cilt üzerinde zararlı etkilere neden olabileceğini göstermiştir (Johansson, 2009; Hardell ve Sage, 2008; Bilgici ve ark., 2013; Pourlis, 2009; Abdel ve ark., 2010).

Bu araştırmanın amacı, Adana'nın Yüreğir ilçesinde bulunan Mustafa Kemal Paşa Bulvarının 3200 m uzunluğundaki kısmı boyunca elektromanyetik kirlilik düzeyini tespit etmek, radyasyon doz indeksini (RID) hesaplamak ve elektromanyetik alan kirliliği konusunda farkındalık oluşturmaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Ölçümlerin Yapılması

Yüreğir Adana'nın merkez ilçelerinden biridir. Mustafa Kemal Paşa Bulvarının bir kısmı Yüreğir İlçesinde bir kısmı da merkez Seyhan ilçesinde bulunmaktadır. Çalışmamızda Mustafa Kemal Paşa Bulvarının Yüreğir İlçesinde bulunan 3200 m uzunluğundaki kısmı boyunca, elektromanyetik alan kirlilik düzeyini tespit edebilmek için bulvar boyunca iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarından yayınlanan radyofrekans elektromanyetik alan kaynaklı radyasyonların 400 m aralıklarla 8 noktada, bir hafta boyunca her gün 12:00-17:00 saatleri aralığında elektrik alan şiddeti (E) ölçümleri yapıldı. Ölçümler, her noktada, en az 8 dakika boyunca yapıldı ve üç kez tekrarlanarak ortalaması alındı. Radyofrekans elektromanyetik alan ölçümleri için Narda NBM-550 geniş bant elektromanyetik alan ölçer cihazı ile EF-0691 kodlu probu (100 kHz-6 GHz) kullanıldı. Şekil 1'de Narda NBM-550 geniş bant elektromanyetik alan ölçer cihazı ile EF-0691 kodlu probunun fotoğrafı verildi. Şekil 2'de Mustafa Kemal Paşa Bulvarı ve ölçüm yapılan noktaların haritası verildi.



Şekil 1. Narda NBM-550 geniş bant elektromanyetik alan ölçer cihazı ile EF-0691 kodlu probu



Şekil 2. Mustafa Kemal Paşa Bulvarı

## 2.2. Hesaplamaların Yapılması

Ölçülen elektrik alan şiddeti kullanılarak aşağıdaki denklemlerle eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu ile manyetik alan şiddeti hesaplandı (IEEE Std C95.1, 1999).

$$S = \frac{E^2}{377} \quad (1)$$

$$H = \sqrt{\frac{S}{377}} \quad (2)$$

burada  $S(W/m^2)$  eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunu ve  $H$  (A/m) manyetik alan şiddetini temsil etmektedir.  $377\Omega$  ise boş uzayın (ortamın) direncidir. Ölçülen elektrik alan şiddeti ile hesaplanan eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunu ve elektrik alan şiddeti Tablo 1'de verildi. Mustafa Kemal Paşa Bulvarının Yüreğir İlçesinde bulunan 3200 m uzunluğundaki kısmı için ölçülen elektrik alan şiddeti yada hesaplanan eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunu ile aşağıdaki denklemler kullanılarak radyasyon doz indeksi hesaplandı (Szmigielski ve Kubacki, 2000). Mustafa Kemal Paşa Bulvarda işyerlerinde çalışanlar için  $T = 8$  saat (mesai saatine eşit olarak) alınabilir, ancak Mustafa Kemal Paşa Bulvarındaki evlerde yaşayanlar için  $T = 8760$  saat alınmalıdır. Alınan bu  $T$  zamanında  $E$ 'nin ortalama değeri aşağıdaki gibi yazılabilir

$$E_{ort} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum E_i t_i} \quad (3)$$

burada  $E_i$ ,  $t_i$  zamanında ölçülen rms (ortalama karekök) elektrik alan şiddetinin değerleri ve  $t_i$  örnekleme zamanıdır.  $t_i$  süresince  $E_i$ 'nin değeri sıfırdan farklı olmalı ve tüm  $t_i$  süresinde sabit kalmalıdır. Radyasyon dozu ( $D$ ),  $(W \cdot h)/m^2$  biriminde  $S_i$  veya  $E_i$  değerlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilirler (Szmigielski ve Kubacki, 2000).

$$D = \sum S_i t_i \quad (4)$$

$$D = \frac{1}{Z_0} \sum E_i^2 t_i \quad \text{ve} \quad Z_0 = 377\Omega \quad (5)$$

$$D = S_{ort} T \quad (6)$$

$$D = \frac{1}{Z_0} E_{ort}^2 T \quad (7)$$

$$RDI = \frac{D}{D_n} \quad (8)$$

$D_n$  maksimum izin verilen radyasyon dozudur ve aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$D_n = S_n T \quad \text{ya da} \quad D_n = \frac{1}{Z_0} E_n^2 T \quad (9)$$

burada  $S_n$  ve  $E_n$ , RDI'nin hesaplandığı yada ölçülen EM frekansları için güvenlik standartlarından tanımlanan S veya E'nin ilgili değerleridir (Szmi-gielski ve Kubacki, 2000).

$$RDI = \frac{\sum S_i t_i}{S_n T} \quad \text{ya da} \quad RDI = \frac{\sum E_i^2 t_i}{E_n T} \quad (10)$$

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Yüreğir Adana'nın en büyük merkez ilçelerinden biridir. Yüreğir İlçesi coğrafi konum olarak Çukurova Üniversitesi'nin güneyinden başlar. Doğudan Misis havzasıyla, batıda Seyhan Nehriyle ve güneyde Karataş Ovası ile çevrelenmiş alanından oluşan yerleşim bölgesidir. Yüreğir ilçesinin kuzeyinde Sarıçam, kuzeybatısında Çukurova, batısında Seyhan, doğusunda Ceyhan, güneyinde Yumurtalık ve Karataş ilçeleri bulunur. Yüreğir ilçesinin toprak yapısı alüvyon kökenli olup, çakıl, kum, silt ve kilden oluşmaktadır (web 2). Yüreğir ilçe merkezinin 2023 yılı itibarıyla toplam nüfusu 402345'dir. Şekil 2'den de görüldüğü gibi Mustafa Kemal Paşa Bulvarı ve civarı çok büyük bir nüfus yoğunluğuna sahiptir. Mustafa Kemal Paşa Bulvarı Yüreğir ilçesinden başlayıp Seyhan ilçesinden devam etmektedir. Bu çalışmada Mustafa Kemal Paşa Bulvarının Yüreğir ilçesindeki 3200 metrelik kısmında yapıldı. Bu bulvar boyunca iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarından yayılan radyofrekans kökenli radyasyonlar tarafından üretilen elektrik alan şiddeti (E) 400 m aralıklarla 8 noktada ölçüldü. Ölçülen elektrik alan şiddetinin değerleri denklem 1 ve 2'de kullanılarak eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (S) ve manyetik alan (H) şiddeti hesaplandı. Ölçülen elektrik alan şiddetinin bir haftalık ortalama değeri 2.72 V/m, manyetik alan değeri ~0.008 A/m ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu 0.021 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplandı. Ölçülen ve hesaplanan bu değerlerin hiç biri BTK ve ICNIRP tarafından tanımlanan limit değerleri (E için 61 V/m, H için 0.16 A/m ve S için 10 W/m<sup>2</sup>) aşmadı. Radyasyon dozu indeksi 0.002 olarak hesaplandı ve RDI < 1 olduğu tespit edildi. RDI değeri 1'den küçük olduğu için radyasyon kirlilik düzeyinin zararsız olduğu söylenebilir. Çalışma yapılan ortamda birden fazla verici bulunması nedeniyle ortamdaki tüm elektrik alan şiddetlerinin etkin değerini ölçmek için EF-0691 kodlu prob olan Narda NM-550 geniş bant EMF metre kullanıldı. Ölçülen E ile hesaplanan H ve S değerlerinin tamamı Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP), Türkiye Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) ve ARPANSA tarafından belirlenen sınır değerlerden küçüktür (ICNIRP, 1998 ve 2009; BTK, 2011; ARPANSA, 2002). Yaşam alanlarındaki elektromanyetik kirliliğin en önemli kaynaklarından biri cep telefonları ve baz istasyonlarıdır. Buna göre ölçülen E, H ve S değerleri (elektromanyetik kirlilik düzeyi) ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşların belirlediği sınır değerlerden küçük olsa da radyasyona maruz kalma şiddetinin yanı sıra maruz kalma süresi de önemlidir. Elektromanyetik

alan şiddetinin ölçüldüğü Mustafa Kemal Paşa Bulvarı'nda tesisatçılar, restoranlar, elektrikçiler, pastaneler, hukuk büroları, fırınlar, berberler, okullar, kreşler, alışveriş merkezleri, resmi ve sivil toplum kuruluşları gibi birçok kurum ve kuruluşlar ile birlikte birçok iş yeri de halka hizmet vermektedir. Bunlara ek olarak birçok yaşam alanı yani ev de bulunmaktadır. Bu konumlardaki insanlar elektromanyetik kirliliğin olası tehlikeli etkilerine maruz kalabilirler. Wargo ve arkadaşlarının 2012 yılında yapmış oldukları bir araştırmaya göre küçük yaş grubundaki çocuklar radyofrekans kökenli elektromanyetik alan radyasyonlarından yetişkinlere göre daha fazla etkilenmektedir (Wargo ve ark., 2012). Bu nedenle yaşanan ortamda RF kökenli elektromanyetik alan kirlilik düzeyinin tespit edilmesi çok önemlidir. Çocukluk çağında kafatası hala kemikleşmediği için RF radyasyonuna maruz kalınması endişe vericidir. Çünkü çocuğun beyni bir yetişkinin beynine göre çok daha fazla radyasyona maruz kalacaktır (Wargo ve ark., 2012). Ek olarak, çocukların kemik iliğindeki elektriksel iletkenlik farklılıkları nedeniyle beyin bölgelerinin cep telefonu RF radyasyonundan daha fazla etkilenecek olmasıdır (Christ ve ark., 2010). Çocuklar, RF radyasyonuna gelişmekte olan sinir sistemleri, artan hücre bölünme seviyeleri, gelişmemiş bağışıklık sistemleri, daha ince kafatasları ve daha iletken beyin dokuları nedeniyle potansiyel olarak daha duyarlı olabilirler (Kheifets ve ark., 2005). Elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun GSM 2100 MHz frekansı için ARPANSA, ICNIRP ve BTK tarafından tanımlanan limit değerleri Tablo 1'de verildi. Mustafa Kemal Paşa Bulvarı için ölçülen E değerleri ile hesaplanan H ve S değerleri sırasıyla Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te verildi. Elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun ortalama değerlerinin günlere göre değişim grafikleri de sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de verildi.

Tablo 1. Elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu için BTK, ICNIRP/FCC ve ARPANSA tarafından tanımlanan limit değerler

ICNIRP, 1998/ FCC, 1996			BTK, 2011			ARPANSA, 2002
E	H	S	E	H	S	S
(V/m)	(A/m)	(W/m <sup>2</sup> )	(V/m)	(A/m)	(W/m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> )
61.40*	0.16	10	61.40*	0.163*	10	10

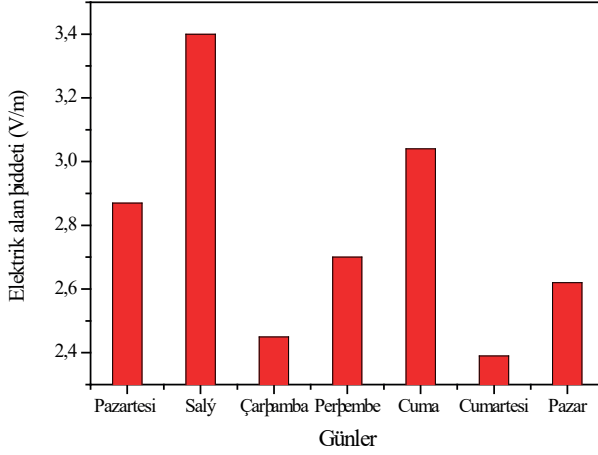
\* İşaretsiz değerler 2100 MHz frekansı için,  $S = \frac{E^2}{377} = 377 H^2$  denkleminde hesaplanmıştır (ICNIRP Guidelines, 1998).

Tablo 2. Mustafa Kemal Paşa Bulvarında ölçülen elektrik alan şiddeti (ortalama  $\pm\sigma$ ,  $n=3$ )

Lokasyonlar	Konum	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
		04.03.2024	05.03.2024	06.03.2024	07.03.2024	08.03.2024	09.03.2024	10.03.2024	$E_{ort}$ (V/m)
		$E_{max}$ (V/m)	$E_{max}$ (V/m)	$E_{max}$ (V/m)	$E_{max}$ (V/m)	$E_{max}$ (V/m)	$E_{max}$ (V/m)	$E_{max}$ (V/m)	
1	Lot:37.00393 Lon:35.36626	3.08 $\pm$ 0.46	3.46 $\pm$ 1.12	2.39 $\pm$ 0.13	2.68 $\pm$ 0.49	3.16 $\pm$ 1.62	2.18 $\pm$ 1.01	1.94 $\pm$ 0.50	2.70 $\pm$ 0.76
2	Lot:37.00532 Lon:35.36354	1.88 $\pm$ 0.16	1.86 $\pm$ 0.55	1.93 $\pm$ 0.83	2.73 $\pm$ 0.15	1.93 $\pm$ 0.29	2.04 $\pm$ 0.33	1.92 $\pm$ 0.30	2.04 $\pm$ 0.37
3	Lot:37.00763 Lon:35.36153	2.72 $\pm$ 0.23	2.93 $\pm$ 0.58	1.99 $\pm$ 0.25	2.47 $\pm$ 0.99	3.53 $\pm$ 0.20	2.02 $\pm$ 0.48	1.89 $\pm$ 0.29	2.36 $\pm$ 0.43
4	Lot:37.00846 Lon:35.35804	3.09 $\pm$ 0.46	5.57 $\pm$ 1.40	1.73 $\pm$ 0.05	2.79 $\pm$ 0.88	2.62 $\pm$ 0.57	2.19 $\pm$ 0.60	4.30 $\pm$ 1.69	3.18 $\pm$ 0.81
5	Lot:37.00746 Lon:35.35287	2.76 $\pm$ 0.30	3.57 $\pm$ 1.30	2.65 $\pm$ 0.18	2.55 $\pm$ 0.04	3.45 $\pm$ 0.51	2.56 $\pm$ 0.26	2.51 $\pm$ 0.56	2.86 $\pm$ 0.45
6	Lot:37.00744 Lon:35.34756	3.01 $\pm$ 0.15	2.73 $\pm$ 0.36	2.61 $\pm$ 0.43	2.56 $\pm$ 0.45	3.12 $\pm$ 0.49	2.83 $\pm$ 0.04	2.50 $\pm$ 0.34	2.77 $\pm$ 0.32
7	Lot:37.00811 Lon:35.34345	3.96 $\pm$ 1.18	3.58 $\pm$ 0.50	3.29 $\pm$ 0.36	3.01 $\pm$ 0.09	2.99 $\pm$ 0.18	2.67 $\pm$ 1.37	3.10 $\pm$ 0.27	3.23 $\pm$ 0.56
8	Lot:37.00930 Lon:35.33972	2.48 $\pm$ 0.12	3.51 $\pm$ 0.30	3.00 $\pm$ 0.34	2.75 $\pm$ 0.08	3.51 $\pm$ 0.35	2.65 $\pm$ 0.36	2.78 $\pm$ 0.17	2.95 $\pm$ 0.24
<b>Ortalama</b>		<b>2.87<math>\pm</math>0.38</b>	<b>3.40<math>\pm</math>1.10</b>	<b>2.45<math>\pm</math>0.32</b>	<b>2.70<math>\pm</math>0.39</b>	<b>3.04<math>\pm</math>0.53</b>	<b>2.39<math>\pm</math>0.56</b>	<b>2.62<math>\pm</math>0.52</b>	<b>2.78<math>\pm</math>0.54</b>

Tablo 2’den görüldüğü gibi pazartesi günü en büyük maksimum elektrik alan şiddetinin ( $E_{max}$ ) değeri 7. noktada 3.96 V/m olarak ölçülürken en küçük elektrik alan şiddeti 2. noktada 1.88 V/m olarak ölçüldü. Salı günü en büyük elektrik alan şiddeti değeri 5.57 V/m olarak 4. noktada ölçülürken en küçük değer 2. noktada 1.86 V/m olarak ölçüldü. Çarşamba günü en küçük E değeri 1.73 V/m olarak 4. noktada tespit edilirken en büyük değer 7. noktada 3.29 V/m olarak tespit edilmiştir. Perşembe günü en büyük E değeri 3.01 V/m olarak 7. noktada ölçülürken en küçük E değeri 3. noktada 2.47 V/m olarak hesaplanmıştır. Cuma günü en büyük E değeri 3.53 V/m olarak 3. noktada ölçülürken en küçük değer 2. noktada 1.93 V/m olarak ölçülmüştür. Cumartesi günü elektrik alan şiddetinin en büyük değeri 2.83 V/m olarak 6. noktada tespit edilirken en küçük değeri 2. noktada 2.02 V/m olarak tespit edilmiştir. Pazar günü için yapılan ölçümlerde en büyük elektrik alan şiddeti 4.30 V/m olarak 4. noktada tespit edilirken en küçük elektrik alan şiddeti 1.89 V/m olarak 3. noktada ölçüldü.





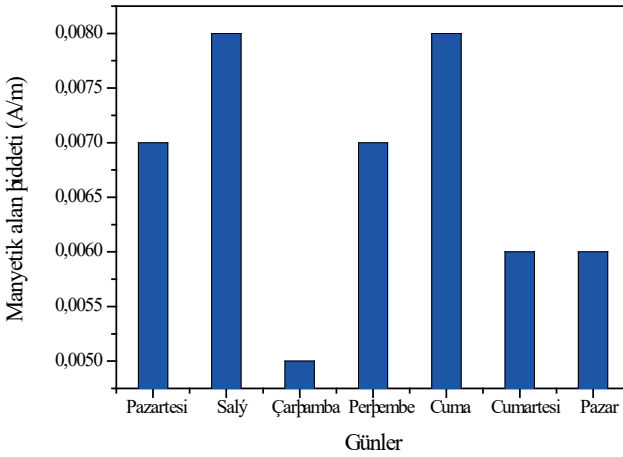
Şekil 3. Mustafa Kemal Paşa Bulvarında ölçülen elektrik alan şiddetinin 8 noktanın ortalama değerlerinin günlere göre değişimi

Şekil 3 ve Tablo 2'den de görüldüğü gibi elektrik alan şiddetinin 8 nokta ölçülen değerlerinin ortalamasının en büyük değeri Salı günü ölçülürken en küçük değeri ise Cumartesi günü ölçülmüştür.

Tablo 3. Mustafa Kemal Paşa Bulvarında ölçülen manyetik alan şiddeti (ortalama  $\pm\sigma$ ,  $n=3$ )

Lokasyonlar	Konum	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
		04.03.2024	05.03.2024	06.03.2024	07.03.2024	08.03.2024	09.03.2024	10.03.2024	
		$H_{max}$ (A/m)	$H_{max}$ (A/m)	$H_{max}$ (A/m)	$H_{max}$ (A/m)	$H_{max}$ (A/m)	$H_{max}$ (A/m)	$H_{max}$ (A/m)	$H_{ort}$ (A/m)
1	Lot:37.00393 Lon:35.36626	0.008	0.009	0.006	0.007	0.008	0.005	0.005	<b>0.007</b>
2	Lot:37.00532 Lon:35.36354	0.005	0.004	0.005	0.007	0.005	0.005	0.005	<b>0.005</b>
3	Lot:37.00763 Lon:35.36153	0.007	0.007	0.005	0.006	0.009	0.005	0.005	<b>0.006</b>
4	Lot:37.00846 Lon:35.35804	0.008	0.014	0.004	0.007	0.006	0.005	0.011	<b>0.008</b>
5	Lot:37.00746 Lon:35.35287	0.007	0.005	0.007	0.006	0.009	0.006	0.004	<b>0.006</b>
6	Lot:37.00744 Lon:35.34756	0.008	0.007	0.006	0.006	0.008	0.007	0.006	<b>0.007</b>
7	Lot:37.00811 Lon:35.34345	0.010	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.008	<b>0.008</b>
8	Lot:37.00930 Lon:35.33972	0.006	0.009	0.005	0.007	0.009	0.007	0.007	<b>0.007</b>
<b>Ortalama</b>		<b>0.007</b>	<b>0.008</b>	<b>0.005</b>	<b>0.007</b>	<b>0.008</b>	<b>0.006</b>	<b>0.006</b>	<b>0.007</b>

Tablo 3’den görüldüğü gibi pazartesi günü en büyük maksimum manyetik alan şiddetinin ( $H_{max}$ ) değeri 7. noktada (0.010 A/m) hesaplanırken en küçük değer 2. noktada (0.005 A/m) hesaplanmıştır. Salı günü en büyük  $H_{max}$  değeri 0.014 A/m olarak 4. noktada tespit edilirken en küçük değer 2. noktada 0.004 A/m olarak tespit edilmiştir. Çarşamba günü en küçük  $H_{max}$  değeri 0.004 A/m olarak 4. noktada tespit edilirken en büyük değer 7. noktada 0.008 A/m olarak tespit edilmiştir. Perşembe günü en büyük manyetik alan şiddeti 0.008 A/m olarak 7. noktada ölçülen veriler için hesaplanırken en küçük değerler 3., 5. ve 6. noktalarda ölçülen veriler için 0.006 A/m olarak hesaplanmıştır. Cuma günü en büyük  $H_{max}$  değeri 0.009 A/m olarak 3., 5. ve 8. noktalarda tespit edilirken en küçük değer 2. noktada 0.005 A/m olarak tespit edilmiştir. Cumartesi günü en büyük  $H_{max}$  değeri 0.007 A/m olarak 6., 7. ve 8. noktalarda ölçülen veriler için hesaplanırken en küçük değerler de 1-4. noktalarda ölçülen veriler için 0.005 A/m olarak hesaplanmıştır. Pazar günü en büyük  $H_{max}$  değeri 0.011 A/m olarak 4. noktada tespit edilirken en küçük değeri 4. noktada 0.004 A/m olarak tespit edilmiştir.



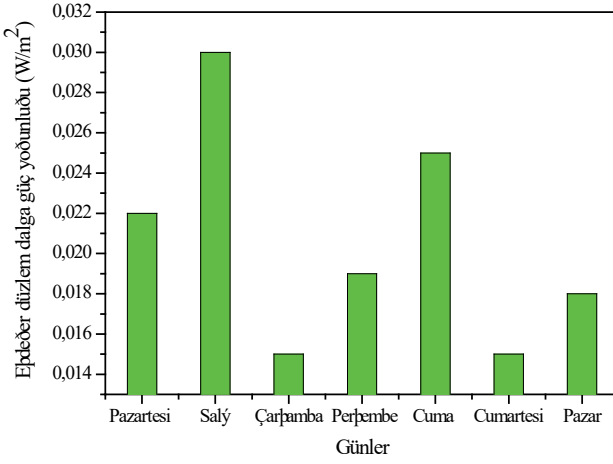
Şekil 4. Mustafa Kemal Paşa Bulvarında hesaplanan manyetik alan şiddetinin 8 noktanın ortalama değerlerinin günlere göre değişimi

Şekil 4 ve Tablo 3’ten de görüldüğü gibi manyetik alan şiddetinin 8 noktada yapılan ölçümlerin ortalamasının en büyük değeri Salı ve Cuma günleri için ölçülen verilerden hesaplanırken en küçük değeri ise Çarşamba günü için ölçülen verilerden hesaplanmıştır.

Tablo 4. Mustafa Kemal Paşa Bulvarında ölçülen eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu  
(ortalama  $\pm\sigma$ ,  $n=3$ )

Lokasyonlar	Konum	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
		04.03.2024	05.03.2024	06.03.2024	07.03.2024	08.03.2024	09.03.2024	10.03.2024	
		$S_{max}$ (W/m <sup>2</sup> )	$S_{max}$ (W/m <sup>2</sup> )	$S_{max}$ (W/m <sup>2</sup> )	$S_{max}$ (W/m <sup>2</sup> )	$S_{max}$ (W/m <sup>2</sup> )	$S_{max}$ (W/m <sup>2</sup> )	$S_{max}$ (W/m <sup>2</sup> )	$S_{ort}$ (W/m <sup>2</sup> )
1	Lot:37.00393 Lon:35.36626	0.025	0.031	0.015	0.019	0.026	0.012	0.009	<b>0.020</b>
2	Lot:37.00532 Lon:35.36354	0.009	0.009	0.009	0.019	0.009	0.011	0.009	<b>0.011</b>
3	Lot:37.00763 Lon:35.36153	0.019	0.022	0.010	0.016	0.033	0.010	0.009	<b>0.017</b>
4	Lot:37.00846 Lon:35.35804	0.025	0.082	0.007	0.020	0.018	0.012	0.049	<b>0.030</b>
5	Lot:37.00746 Lon:35.35287	0.020	0.011	0.018	0.017	0.031	0.017	0.007	<b>0.017</b>
6	Lot:37.00744 Lon:35.34756	0.024	0.019	0.018	0.017	0.025	0.021	0.016	<b>0.020</b>
7	Lot:37.00811 Lon:35.34345	0.041	0.033	0.028	0.024	0.023	0.018	0.025	<b>0.027</b>
8	Lot:37.00930 Lon:35.33972	0.016	0.032	0.011	0.020	0.032	0.018	0.020	<b>0.021</b>
<b>Ortalama</b>		<b>0.022</b>	<b>0.030</b>	<b>0.015</b>	<b>0.019</b>	<b>0.025</b>	<b>0.015</b>	<b>0.018</b>	<b>0.021</b>

Tablo 4'den görüldüğü gibi pazartesi günü en büyük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun maksimum değeri ( $S_{max}$ ) 7. noktada (0.041W/m<sup>2</sup>) hesaplanırken en küçük değer 2. noktada (0.009 W/m<sup>2</sup>) hesaplanmıştır. Salı günü en büyük  $S_{max}$  değeri 0.082 W/m<sup>2</sup> olarak 4. noktada tespit edilirken en küçük değer 2. noktada 0.009 W/m<sup>2</sup> olarak tespit edildi. Çarşamba günü en küçük  $S_{max}$  değeri 0.007 W/m<sup>2</sup> olarak 4. noktada tespit edilirken en büyük değer 7. noktada 0.028 W/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Perşembe günü en büyük  $S_{max}$  değeri 0.024 W/m<sup>2</sup> olarak 7. noktada ölçülen veriler için hesaplanırken en küçük değer 3. noktada ölçülen veriler için 0.016 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Cuma günü en büyük  $S_{max}$  değeri 0.033W/m<sup>2</sup> olarak 3. noktada tespit edilirken en küçük değer 2. noktada 0.009 W/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Cumartesi günü en büyük  $S_{max}$  değeri 0.021 W/m<sup>2</sup> olarak 6. noktada ölçülen veriler için hesaplanırken en küçük değer 2. noktada ölçülen veriler için 0.011 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Pazar günü en küçük  $S_{max}$  değeri 0.007 W/m<sup>2</sup> olarak 5. noktada tespit edilirken en büyük değer 4. noktada 0.049 W/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Mustafa Kemal Paşa Bulvarında hesaplanan eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun 8 noktanın ortalama değerlerinin günlere göre değişimi

Şekil 5 ve Tablo 4'ten de görüldüğü gibi eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun 8 noktanın ortalamasının en büyük değeri Salı günü için ölçülen verilerden hesaplanırken en küçük değeri ise Çarşamba ve Cumartesi günü için ölçülen verilerden hesaplanmıştır.

Tablo 2-4 ve Şekil 3-5'ten de görüldüğü gibi ölçülen değerler bazı noktalarda büyük bazı noktalarında ise küçük olarak tespit edilmiştir. Bunun nedeni ölçüm değerlerinin arttığı noktalarda baz istasyonlarına yakın olması, baz istasyonu sayısının artması, ölçümlerin yapıldığı anlarda cep telefonu ve benzeri cihazların daha yoğun kullanılması olabilir. Ölçüm değerlerinin diğer lokasyonlara göre küçük olmasının nedeni ise, o lokasyonlardaki baz istasyonlarının sayısının az olması veya baz istasyonlarının ölçüm lokasyonlarından uzakta olması, cep telefonu ve benzeri elektronik cihazların yoğunluğunun diğer lokasyonlara göre daha düşük olması olabilir.

Mustafa Kemal Paşa Bulvarında bir hafta boyunca 12:00-17:00 saatleri arasında yapılan elektrik alan şiddeti ölçümlerinin ortalaması alınarak eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun bir haftalık ortalama değeri hesaplandı. Hesaplanan bu değer ve denklem 6 kullanılarak radyasyon dozu (D) ve denklem 9 kullanılarak  $D_n$  izin verilen maksimum radyasyon dozu  $Wxh/m^2$  olarak hesaplandı. Hesaplanan bu değerler denklem 8'de kullanılarak radyasyon doz indeksi (RDI) 0.021 olarak bulundu.  $RDI < 1$  olması durumunda radyasyon maruziyetinin izin verilen seviyeden daha düşük düzeyde olduğu anlamına gelirken,  $RDI > 1$  olması durumunda ise kabul edilemeyecek kadar yüksek alan maruziyeti olduğu anlamına gelmektedir. Bu çalışmada  $RDI < 1$

olarak tespit edildiği için RF elektromanyetik alan maruziyetinin izin verilen seviyeden daha düşük düzeyde olduğu söylenebilir.

### **Sonuçlar ve Öneriler**

Bu çalışmada Narda NBM-550 geniş bant elektromanyetik alan ölçer cihazı ve EF-0691 kodlu probu kullanılarak Adana'nın Yüreğir ilçesi sınırları içerisinde bulunan Mustafa Kemal Paşa Bulvarının 3200 metrelik kısmında RF kökenli elektromanyetik alan kirlilik düzeyini tespit edebilmek için elektrik alan şiddeti ölçümleri yapıldı. Ölçümler 400 m aralıklarla 12:00-17:00 saatleri arasında her gün bir hafta boyunca yapıldı. Mustafa Kemal Paşa Bulvarında ölçülen elektrik alan şiddeti ile hesaplanan manyetik alan şiddeti ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun değerlerinin hepsi Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP), Türkiye Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) ve ARPANSA tarafından belirlenen sınır değerlerden küçük olarak tespit edildi (ICNIRP, 1998 ve 2009; BTK, 2011; ARPANSA, 2002). Ek olarak Mustafa Kemal Paşa Bulvarı üzerinde yaşayanlar için radyasyon doz indeksi (RDI) hesaplandı ve RDI <1 olduğu tespit edildi. Bu nedenle bulvar üzerinde yaşayanların RF elektromanyetik alan maruziyetlerinin izin verilen seviyelerden daha düşük düzeyde olduğu söylenebilir. Yaşam alanlarındaki elektromanyetik kirliliğin en önemli kaynaklarından biri cep telefonları ve baz istasyonlarıdır. Buna göre ölçülen E, H ve S değerleri (elektromanyetik kirlilik düzeyi) ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşların belirlediği sınır değerlerden küçük olsa da radyasyona maruz kalma şiddetinin yanı sıra maruz kalma süresi de önemlidir. Bu nedenle ilgili kurum veya kuruluşlar elektromanyetik kirliliğin azaltılmasına yönelik araştırmalar yapmalı, ayrıca toplumun elektromanyetik kirliliğe ilişkin farkındalığını artırıcı faaliyetlerde bulunmalıdır. Cep telefonları baz istasyonuna yaklaştıkça daha düşük güçte çalışır. Ancak cep telefonları baz istasyonundan uzaklaştıkça veya sinyal gücü zayıfladıkça; cep telefonları baz istasyonlarına bağlanmak için daha yüksek güçte çalışır. Bu durumda cep telefonu kullanıcıları daha fazla radyasyona maruz kalıyor. Bunun için cep telefonu ile konuşurken en yüksek bağlantı noktasının (çekim alanının) olduğu yerler tercih edilmelidir.

## Kaynaklar

- Abdel A., El-Khozondar H.J., Shabat M. and Elwasife K., 2010. Effect of electromagnetic field on body weight and blood indices in albino rats and the therapeutic action of Vitamin C or E. *Romanian J. Biophys.* 20 (3): 235-244.
- ARPNSA, 2002. Radiation Protection Standard, Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields, 3 kHz to 300 GHz, Radiation Protection Series Publication 3. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPNSA), 128. ISBN 0-642-79405-7.3.
- Bilgici B., Akar A., Avci B. and Tuncel O.K., 2013. Effect of 900 MHz radiofrequency radiation on oxidative stress in rat brain and serum. *Electromagn. Biol. Med.* 32 (1), 20-29.
- Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK), 2011. Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik, Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, 21 Nisan 2011 Perşembe Resmî Gazete Sayı : 27912.
- Christ A, Gosselin MC, Chistopoulou M., Kühn S. and Kuster N., 2010. Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users. *Phys. Med. Biol.* 55 (7), 1767-1783.
- Cardis E., Deltour I., Mann S., Moissonnier M., Taki M., Varsier N., Wake K., Wiart J., 2008. Distribution of RF energy emitted by mobile phones in anatomical structures of the brain. *Phys Med Biol* 53, 2771-2783.
- Calderón C., Castaño-Vinyals G., Maslanyj M., Wiart J., Lee A.K., Taki M., Wake K., Abert A., Badia F., Hadjem A., Kromhout H., de Llobet P., Varsier N., Conil E., Choi H.D., Sim M.R., Cardis E., 2022. Estimation of RF and ELF dose by anatomical location in the brain from wireless phones in the MOBI-Kids study, *Environment International* 163, 107189.
- Federal Communications Commission, 1996. FCC 96-326, Guidelines for Evaluating the Environmental, August 1 1996.
- Hardell L. and Sage C., 2008. Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. *Biomed. Pharmacother.*, 62, 104-109.
- Hocking B., Westerman R., 2001. Neurological abnormalities associated with CDMA exposure, *Occup Med* 51(6), 410-3.
- Hocking B, Westerman R., 2002. Neurological changes induced by a mobile phone, *Occup Med* 52(7), 413-5.
- Hocking B, Westerman R., 2003. Neurological effects of radiofrequency radiation, *Occup Med* 53(2), 123-7.
- IEEE. C95.1, 1999 Edition. IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz.

- ICNIRP, 2009. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz).
- ICNIRP, 1998. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz), *Health Physics* 74(4), 494-522.
- International Agency for Research on Cancer (IARC), 2000. International Association of Cancer Registries-Globocan 2000 Database Version.
- Johansson O., 2009. Disturbance of the immune system by electromagnetic fields- A potentially underlying cause for cellular damage and tissue repair reduction which could lead to disease and impairment. *Pathophysiology*, 16 (2-3), 157-177.
- Kojimahara N., Lee Y.H., Lee A.K., Bae S., Kwon H.J., Ha M., Sato Y., Taki M., Wiart J., Langer C.E., Cardis E., 2024. Impact of Radiofrequency Exposure From Mobile Phones on the Risk of Developing Brain Tumors in Korean and Japanese Adolescents: A MOBI-Kids Case-control Study, *J Epidemiol.* 34(4), 180-186.
- Khurana V.G., Teo C., Kundi M., Hardell L., Carlberg M., 2009. Cell phones and brain tumors: a review including the long-term epidemiologic data, *Surgical Neurology* 72, 205-215.
- Kheifets L., Repacholi M., Saunders R., Van Deventer. 2005. The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics* 116(2), e303-13.
- Leng L., 2016. The relationship between mobile phone use and risk of brain tumor: a systematic review and meta-analysis of trials in the last decade. *Chin Neurosurg J* 2, 38.
- Pourlis A.F., 2009. Reproductive and developmental effects of EMF in vertebrate animal models. *Pathophysiology* 16 (2-3), 179-189.
- Söğüt Ö., Ezer M., 2017. Measurement of Electromagnetic Pollution in Kindergartens Located in Onikişubat District Centre of Kahramanmaraş in Turkey, *Journal of Baku Engineering University - Physics* 1 (1), 100-112.
- Söğüt Ö., Küçükönder E., Şahin Ö., 2017. Measurement of Electromagnetic Pollution throughout Alparslan Türkeş and Hanefi Mahçiçek Boulevards in Kahramanmaraş Onikişubat District, *KSU. Journal of Engineering Sciences* 20(3), 84-95.
- Söğüt Ö., Eycil M., 2021. Measurement of Electromagnetic Pollution Level and Calculation of Radiation Dose Index throughout Malatya Street in Elbistan District of Kahramanmaraş, *Erzincan University Journal of Science and Technology* 14(1), 204-214.
- Söğüt Ö., Eycil M., 2021. Measurement of Electromagnetic Pollution Level and Calculation of Radiation Dose Index throughout Malatya Street in Elbistan District of Kahramanmaraş, *Erzincan University Journal of Science and Technology* 14(1), 204-214.
- Swerdlow A.J., Feychting M., Green A.C., Kheifets L., and Savit D.A., 2011. Mobile Phones, Brain Tumors, and the Interphone Study: Where Are We Now?, *Environmental Health Perspectives* 119, 1534-1538.

Schüz J., Pirie K., Reeves G.K., Floud S., Beral V., 2022. Cellular Telephone Use and the Risk of Brain Tumors: Update of the UK Million Women Study, *J Natl Cancer Inst.* 114(5), 704-711.

Wargo J., Taylor H.S., Alderman N., Wargo L., Bradley J.M., Addiss S., *Cell Phones, Technology, Exposures, Health Effects, Environment and Human Health, INC.*, 1191 Ridge Road, North Haven, CT 06473, 2012.

WHO, 2014. Electromagnetic fields and public health: Mobile phones. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/>

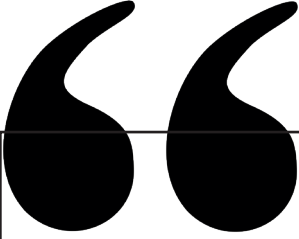
WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2002. Establishing A Dialogue On Risks From Electromagnetic Fields Radiation and Environmental Health, Department of Protection of the Human Environment, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO 2011. IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans, 31.05.2011. [http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf).

web 1: <https://www.icnirp.org/en/applications/mobile-phones/index.html>

web 2: <https://www.nufusune.com/yuregir-ilce-nufusu-adana>





## Bölüm 4

### **ANYONİK VE KATYONİK YÜZEY AKTİF MADDELERİN GÜVENLİ KULLANIMI**

*Seçkin ÇELİK<sup>1</sup>, Seda FANDAKLI<sup>2</sup>, Nurettin YAYLI<sup>3</sup>*

1 Seçkin ÇELİK, Doktora Öğrencisi, Üsküdar Üniversitesi. Sağlık Bilimleri Fakültesi. İş sağlığı ve Güvenliği Doktora Bölümü, İstanbul, ORCID İD: 0000-0001-5120-225X, seckincelik1974@hotmail.com

2 Seda FANDAKLI, Doç. Dr. Artvin Çoruh Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Artvin. ORCID İD: 0000-0002-8199-3336, sedaf\_84@hotmail.com

3 Nurettin YAYLI, Prof. Dr. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Eczacılık Meslek Bilimleri, Trabzon. ORCID İD: 0000-0003-4174-3014, yayli@ktu.edu.tr

## GİRİŞ

Günümüzde nüfus artışı ve teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte, çevre kirliliği de büyük bir sorun haline gelmiştir. İnsanoğlu tarafından üretilen ve kullanılan yüzlerce kimyasal madde, ekosistemimize ve doğal kaynaklarımıza yabancı olup, bu durum doğal dengeyi bozarak çevreye geri dönüşü olmayan zararlar vermektedir. Biyosferdeki su, hava ve toprağın birbirleriyle sürekli alışverişte olmasından dolayı, birinde oluşan kirlilik diğerlerini de olumsuz etkileyerek geniş çaplı bir çevresel sorun yaratmaktadır. Çevre kirliliğinin bu boyutlara ulaşmasında birçok faktör rol oynamaktadır. Sanayileşme, kentleşme, tarım faaliyetleri ve enerji üretimi gibi insan faaliyetleri, çevreye zararlı maddelerin yayılmasına neden olmaktadır. Bu maddeler arasında ağır metaller, pestisitler, plastikler ve diğer toksik kimyasallar bulunmaktadır (N. Thinakaran. vd, 2017). Özellikle su kaynaklarının kirlenmesi, içme suyu kaynaklarının tükenmesine ve ekosistemlerin zarar görmesine yol açmaktadır (Erkut, 2008).

Hava kirliliği, solunum yolu hastalıklarından iklim değişikliğine kadar geniş bir yelpazede olumsuz etkilere sahiptir. Sanayi emisyonları, taşıt egzoz gazları ve fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan sera gazları, atmosferde birikerek küresel ısınmaya ve asit yağmurlarına neden olmaktadır. Bu durum, bitki örtüsünün zarar görmesine, toprak erozyonuna ve su kaynaklarının kirlenmesine yol açar (Erkut, 2008).

Toprak kirliliği ise tarım ilaçları, sanayi atıkları ve evsel atıklar gibi çeşitli kaynaklardan kaynaklanmaktadır. Bu kirleticiler, toprağın verimliliğini düşürerek tarım ürünlerinin kalitesini ve miktarını olumsuz etkiler. Ayrıca, kirlenmiş topraklar, yeraltı su kaynaklarına ve dolayısıyla içme suyu kalitesine zarar verebilir (Erkut, 2008).

## 1. ANYONİK VE KATYONİK YÜZEY AKTİF MADDELER

Anyonik ve Katyonik özellikteki maddeler, dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan kimyasallar arasında yer alır ve sulu ortamda çözüldüğü zaman yüzey gerilimini azaltır. Uzun hidrokarbon zincire ve polar gruplara sahip olması sebebiyle su içinde kendiliğinden organize olabilmektedir. Uzun hidrokarbon bölümleri; maddenin hidrofobik kısmını oluşturarak suda çözünmeyi sağlamaktadır (Cho J E. Sim D. S. Kim Y. W. Lim, 2018). Hidrofilik kısmına göre katyonik, anyonik, amfoterik ve nanyonik maddeler olarak gruplandırılırlar. Başlıca anyonik maddelere sülfatlar, sülfonatlar, fosfatlar ve karboksilatlar örnek verilebilir (H A Painter, 1992). Şampuan ve deterjanlar köpürme, temizleme özelliğinden dolayı anyonik özelliktedir (Van Haute N & Goossens, 1983). Sodyum Lauret Sülfat ya da kısaca SLES sabuna benzer özelliği ile birçok kişisel bakım ürünlerinde yer alan anyonik deterjandır (Kosswig K., 2005). Temizlik ve hijyen ürünlerinde sıklıkla kullanılan bu maddeler, suyla birleştiğinde yağ ve kir gibi maddeleri çözerek temizliği ko-

laylaştıran bileşiklerdir (Cornwell P A., 2018). Bu bileşikler yüzey akışkanlığı, gerilimi ve fazlar arası elektriksel kabiliyetleri ile fiziksel etkilere sahiptirler. Islatma, deterjan özelliği, hidrotropi (çözündürme), dağılma ve yayılma, emülsiyon oluşturma ve köpüklenme özellikleri ile geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Özellikle kimya, gıda, kozmetik, ilaç ve temizlik ürünleri endüstrilerinde önemli rol oynarlar (Ece, 2005). Bilinen en eski katyonik maddeler sabunlardır. Eski Mısırlılar tarafından M.Ö. 2800 yıllarında hayvansal yağları ve bitki külleri ile pişirilerek elde edildiği bilinmektedir. Yün ve kumaşların yıkanmasında kullanılmıştır (URL.1, 2024).

Katyonik maddeler 1 mg/L gibi düşük düzeyde doğal sularda köpürme sağlamaz iken insanlarda da toksik etkiye bulunmaz (K Lawrence vd., 2004). Toksikite etkisi deterjanın türünden kaynaklanmaktadır. Noniyonik bileşiklerin toksikite etkisi daha az iken anyonik bileşiklerin etkisinin daha fazla olduğu görüldüğü belirlenmiştir (J Kaleta & M Elektorowicz., 2013). Katyonik maddelerin toksikite etkisi anyoniklerden daha fazladır (M J Scott & M N Jones., 2000) .

Anyonik ve katyonik maddeler ilk zamanlar istenilen özellikleri sağlasalar da bir süre sonra birçok yan etkileri beraberinde getirmektedir (E Martins M S Ferreira M S Almeida I F & Sousa., 2022). Halk arasında SLS olarak bilinen Sodyum Lauril Sülfat maddesi anyonik madde olup tahriş edici özelliğe sahiptir. SLS, diğer kimyasallar ile reaksiyona girdiğinde kansorejen özellik taşıyan nitrozamine dönüşmektedir (Van Haute N & Goossens, 1983). Kısmen hidrofilik/hidrofobik özelliklere sahip olan bu maddeler, yavaş ve kısmen biyolojik olarak parçalanma gösterirler.

Anyonik ve katyonik maddeler aerobik koşullarda ayrışma özelliğine sahip iken, arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarına tutunması ve anaerobik koşullara maruz kalması sebebi ile; bu çamur stabilizasyon ve ayrıştırma süreçleri esnasında etkin bir şekilde uzaklaşmaları mümkün olmamaktadır. Bu durumda, arıtma çamurlarının depolama ve tarımsal alanlara ve toprağa uygulanmaları sonrasında yüksek oranda katyonik ve anyonik maddeleri içermeleri mümkün olmaktadır (Malagón, 2009) .

Anyonik ve katyonik maddelerin parçalanabilme yeteneğinin düşük olması arıtım ünitelerinde birikiminin fazla olmasına sebep olmaktadır. Arıtma çamurlarında birikmesi ile tarımsal alanlarda kullanımını kısıtlamaktadır. Katyonik ve anyonik maddelerin konsantrasyonları evsel atık sularda 1-10 mg/L arasında bulunmaktadır. Üretim tesislerinde bu değer 300 mg/L'ye ulaşmaktadır (C. Zhang.vd, 1999). Evsel atık su arıtım tesislerinde, evsel atık sulardaki bu maddelerin sentezi 1-3 mg/L'ye kadar sağlanabilmektedir. Sentezleme sonucu çamur önemli miktarda katyonik ve anyonik özellikteki maddeleri içermeye başlar. Literatürde, katyonik ve anyonik maddelerin biyoparçalanabilirliği katyonik<noniyonik<anyonik biçiminde açıklanmıştır (M BautistaToledo. vd., 2014).

Anyonik ve katyonik özellikteki maddelerin kullanım ürünleri farklı şekilde ve yollarla alıcı ortamlara (su, hava, toprak) karışarak çevre kirliliğine neden olmaktadır. İnsanlar tarafından kullanılan pek çok kirleticinin son depolandığı yer topraktır. Kirletici maddelerin kimyasal, fiziksel ve biyolojik parçalanma ortamı olan toprak, bu maddelerin doğrudan veya dolaylı yollarından biriktiği ve etkileşime girdiği bir yerdir. Toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerine bağlı oluşan kirleticiler, değişen zamanlarda toprakta parçalanırlar. Toprağın, pH'sı, mikrobiyal kapasitesi ve mekaniği gibi özellikleri, kirleticilerin parçalanma hızını ve şekillerini belirler. Kirleticiler ya parçalanarak ya da yer altı sularına sızarak ortamdan uzaklaşırlar (Samuel Cantarero.vd., 2011).

Atık formunda bulunan bu maddelerin toprağa ve sulara ulaşmaları, bilhassa kanalizasyon sisteminin bulunmadığı kırsal bölgelerde sık karşılaşılan bir durumdur (Lars Carlsen.vd., 2002). Resim 1'de evsel ve endüstriyel atıkların doğaya karışması sonucu verdiği zararlar gösterilmiştir.



Resim1. Evsel ve Endüstriyel Atıkların Doğaya Karışması (URL.2, 2024).

Bu bölgelerde deterjan içeren evsel ve endüstriyel atık su, kanalizasyon sistemi olmadığı için doğrudan septik çukurlardan veya birikinti sularından toprağa sızmaktadır. Yer altı sularına ulaşan bu maddeler, açılan kuyulardan insanlara, hayvanlara ve bitkilere geçebilmektedir (Lars Carlsen.vd., 2002). Resim 2'de evsel ve endüstriyel atık suların akarsu ve denizlere verdiği zararlar gösterilmiştir.



Resim 2. Atık suların akarsu ve denizleri kirlenmesi (URL.2, 2024).

Doğaya karışan katyonik ve anyonik içeriğe sahip atık sular akarsu ve denizlere taşınarak delta ve kıyı sularını kirletirler. Bu sebeple atık su arıtımı çevre kirliliğinin önlenmesi bakımından önem taşımaktadır. Bu maddelerin çevreye toksik etkilerinin yanında sularda toksik doz seviyesinin altında bile bulunmaları biyolojik yaşam üzerinde sayılamayan olumsuz etkiye neden olabilmektedir (Lars Carlsen.vd., 2002).

Pestisit formülasyonlarında deterjan emülgatör olarak kullanılan anyonik ve katyonik maddeler, pestisit uygulamaları ile de toprağa karışırlar. Bu durum, tarım alanlarında toprağın ve su kaynaklarının kirlenmesine sebep olur. Bu maddeler, pestisitlerin etkinliğini artırmak için kullanılsa da çevresel etkileri göz önünde bulundurulduğunda dikkatli bir şekilde yönetilmeleri gerekmektedir (John Jensen.vd, 2007).

## **1.2. Anyonik ve Katyonik Yüzey Aktif Maddeler ile Çalışmalarda Risk Değerlendirmesi**

Anyonik ve Katyonik özellikleri taşıyan maddelerle yapılan çalışmalarda, çalışanların bu maddeler ile maruziyeti önlenmelidir. Önlemenin mümkün olmadığı durumda maruziyet en az düzeye indirilmelidir (ÇSGB.1, 2013). Yapılacak risk değerlendirmesinde ilgili kimyasalların işyerinde varlığı tespit edilmelidir. Risk Değerlendirme Yönetmeliği hükümlerine uygun şekilde risk analizi yapılmalıdır (ÇSGB.2, 2012). Kullanılan ya da ürün olarak ortaya çıkan maddelerin kaydı, değerlendirilmesi, izni ve kısıtlı kullanımını içeren Türkçe Güvenlik Bilgi Formları üretici firmadan temin edilmeli, çalışanlara bu formları içeren bilgiler ile eğitim verilmelidir (ÇSGB.1, 2013). Yetkilendirilmiş laboratuvarlar tarafından maruziyetin seviyesi, türü ve süresi ölçülmelidir (ÇSGB.3, 2023). Kimyasal maddenin kullanma şartları, miktarı sıklığı belirlenmelidir. Mesleki maruziyet sınır değerleri ve biyolojik sınır değerler tespit edilmelidir. Uygulanan önleyici çalışmaların etkisi ölçülmelidir. Daha önce yapılan sağlık tarama sonuçları ile risk değerlendirme yenileme aralıkları düzenlenmelidir. Birden fazla kimyasal madde kullanılan ortamlarda bu maddelerin etkileşimleri dikkate alınmalıdır. İşletmeye dahil etme, kurulum, bakım onarım işlemlerinden kaynaklanacak maruziyet durumunda kimyasal madde maruziyetinden kaynaklanabilecek olumsuz durumlara karşı önlemler alınmalıdır (ÇSGB.1, 2013).

Oksitleyici, kolay alevlenici, çok kolay alevlenici, zararlı, aşındırıcı, alerjik, tahriş etme özelliği, mutajen, kansorejen, patlayıcı, üreme ve çevre için zararlı özelliğe/ özelliklere sahip olan maddeler tehlikeli kimyasal madde grubundadır. Bu özellikleri içeren maddeler ile yeni bir faaliyete başlamadan önce mutlaka risk değerlendirmesi yapılmalıdır. Gereken önlemler alındıktan sonra faaliyete başlanmalıdır (ÇSGB.1, 2013).

### 1.3. Anyonik ve Katyonik Yüzeysel Aktif Maddelerle Yapılan Çalışmalarda Alınması Gereken Tedbirler

Kasyonik ve anyonik özellik taşıyan maddeleri kapsayan çalışmalarda çalışanların sağlığı ve güvenliği ile ilgili tespit edilen riskler aşağıdaki önlemler ile ortadan kaldırılır ya da en az seviyeye indirilir.

1. İş organizasyonu kapsamında uygun düzenlemeler yapılır.
2. En az sayıda çalışan ile tehlikeli kimyasal maddeleri içeren çalışmalar yürütülür.
3. İşyerinde kullanılacak kasyonik ve anyonik madde miktarı en az seviyede tutularak çalışanların maruz kalacakları madde oranı ve maruziyet süreleri en az düzeyde olmalıdır.
4. İşyerine ait bina ve ek birimlerin daima düzeni ve temizliği sağlanmalıdır.
5. Çalışanların özbakım ve kişisel temizliklerine ait yeterli ve uygun şartlar sağlanmalıdır.
6. Yerine koyma (ikame) yöntemi kullanılarak tehlikesiz ya da daha az tehlikeli anyonik ve kasyonik özellikteki ürünler tercih edilmelidir. Yapılan işin özelliğinden dolayı ikame yöntemi kullanılamıyorsa risk analizi sonucuna göre aşağıdaki tedbirler alınmalıdır:
  - 6a. Çalışan sağlık ve güvenliğini tehdit edecek bakım ve onarım işlemleri de dahil ilgili özellikteki kimyasalların bulundurulduğu çalışmalarda teknolojik imkanlar kullanılmalıdır. Uygun mühendislik ve proses kontrol sistemleri seçilerek malzeme ve ekipmanlar ile süreç yürütülmelidir.
  - 6b. Yeterli havalandırma sistemi ve uygun iş organizasyonu sağlanması ile risk kaynağında önlenmelidir. Risk kaynağında önlenmesi sonucu toplu koruma sağlanmış olacaktır.
  - 6c. Alınan önlemlerin yeterli olmadığı hallerde ilave olarak kişisel koruyucu tedbirler uygulanmalıdır.
7. Alınan önlemlerin sürekliliği ve etkisini sağlamak için yeterli denetim, kontrol ve sağlık gözetimi sağlanmalıdır.

İşyerinde çalışanların kimyasal maddeler ile maruziyetini saptamak için işveren sürekli ölçüm ve analiz yapar/ yaptırır. Koşullarda oluşabilecek herhangi bir değişiklikte ölçümler tekrarlanmalıdır. Elde edilen ölçüm sonuçları mesleki maruziyet sınır değerleri dikkate alınarak değerlendirilir. Mesleki maruziyet sınır değerlerinin aşıldığı her durumda koruyucu ve önleyici tedbirler alınmalıdır (ÇSGB.1, 2013).

Üretim dahil fiilen elinde bulunduran ve çevreye bırakılan ya da atılan madde veya materyaller atık adı altında değerlendirilir. Maddenin, atık oluşuma dönüşmesi, kaynağında azaltılması, tür ve özelliğine göre ayrıştırılması, yeniden kullanılması, biriktirilmesi, toplanması, depolanması, taşınması, enerji kazanımı sağlanarak geri dönüşüme dahil edilmesi, bertaraf edilmesi, bertaraf işlemleri sonrası takip, kontrol ve denetim faaliyetlerinin yürütülmesi gerekmektedir (URL.3, 2015). Katyonik ve anyonik özellikteki maddelerin atık ve atık işlerinde en uygun halde kullanılması, işlenmesi, depolanması, taşınması için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır (ÇSGB.1, 2013).

## **2.İÇERİĞİNDE ANYONİK VE KATYONİK YÜZEY AKTİF MADDELERİN BULUNDUĞU ATIKSULARIN TOPLAMA VE UZAKLAŞTIRMA İŞLEMLERİ (URL.5, 2017)**

Anyonik ve katyonik özellik taşıyan atık/ atıklarının bertarafının sağlanması ya da toksik etkilerinin en az düzeye indirilmesi için ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu sebeple kanalizasyon sistemlerinin planlanması, projelendirilmesi, ortaya konulması ve işletilmesi aşamasında;

a) Kurulacak sistemde çevre üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak ya da en az seviyeye düşürmek için tüm önlemler alınmalıdır.

b) Çevre, sosyal ve ekonomik yönden, sağlık ve güvenlik riskleri en aza indirilmelidir. Doğal kaynaklar korunmalıdır. Sistemin sürdürülebilir olması, bakım ve onarım işlemlerinin sağlanarak en uygun biçimde işletilmesi sağlanmalıdır.

c)Atıksu kanalı hidrolik yapısının su baskınlarını azaltacak düzeyde, işletmenin ihtiyaçlarının artışı durumunda beklentileri karşılayabileceği biçimde inşa edilmesi, yapıda arıza riski halinde olabilecek su baskınlarını en az seviyeye indirme veya ortadan kaldırılması için gereken tedbirler alınmalıdır.

d)Yeraltı ve yüzeysel sular korunmalıdır.

e) Kanalizasyon sistemine ait bakım ve onarım işlemleri, personel açısından sağlık ve güvenlik riski oluşturmadan yürütülmelidir.

f) Kanalizasyon sisteminin kötü kokuları, zehirleyici, aşındırıcı ve patlayıcı özellikteki gazları önleyecek, titreşim ve gürültüyü en az düzeye indirecek biçimde tasarlanarak inşa edilmeli, bakım ve onarımı sağlanmalıdır. İş sağlığı ve güvenliği riskleri belirlenerek önlemler alınmalıdır.

g) Kanalizasyon sisteminde kullanılan malzeme ve yapım metotları kaynak israfını azaltmalıdır. Bu ekipmanların tekrar kullanımı ve geri dönüşümü dikkate alınarak tercih edilmelidir.

h) Seçilen sistem, kullanacağı enerjiyi en az düzeyde sağlamalıdır.

ı) Kanalizasyon sistemi ve bileşenleri 35 senelik tasarım ömrünü tamamladıktan sonra da çevre üzerindeki olumsuz etkileri en az düzeyde olmalıdır.

i) Yapılan testler sonucu kanalizasyon sistemi ve birleşenleri sızdırmaz olmalıdır.

j) Atık suyun kanal içinde atık maddelerin birikimini önleyecek hızda akması ve tahliye edilmesi için ekonomik, güvenli ve çevresel açıdan uygun inşa edilmesi, bakım ve onarımının sağlanması gerekmektedir.

k) Bölge ve şehir planlaması uyumu kapsamında kanalizasyonların tasarım planlama ve projelendirme sürecinde kapasite kullanımının artmasına neden olabilecek faktörler belirlenmelidir.

l) Sistemlerin planlama aşamasında ayrı sistemler tercih edilmelidir. Sistemlerin kanal performansları periyodik olarak denetlenip ölçülerek iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır.

Atık su teknik altyapı çalışmalarının planlanması, tasarım ve projelendirilmesi ile ilgili teknik konular Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik kapsamında, tip yol enkesitleri EK-1’de, yapım ile ilgili teknik konular EK-2’de, yürütme ve bakım/onarım ile ilgili teknik konular EK-3’te açıklandığı şekilde yapılmalıdır. Yönetmelik ve ekinde yer almayan, açıklanmayan konulara öncelikle Türk Standartları ve Enstitüsü (TSE), eğer bilgi yetersiz ise Avrupa Birliği (EN) standartları ile tamamlanmalıdır.

### **3. ANYONİK VE KATYONİK YÜZEY AKTİF ÖZELLİĞİ TAŞIYAN MADDELERİN DAHİL OLDUĞU ATIKLARIN KANALİZASYON SİSTEMLERİNİN İNŞA EDİLMESİ (URL.5, 2017)**

Anyonik ve Katyonik özellik taşıyan maddelerin dahil olduğu atıkların ortamdaki uzaklaştırılmasında kullanılan kanalizasyon sistemleri tasarıma uygun inşa edilmelidir. Yeni sistemlerin inşa edilmesi ya da yenilenmesi için yapım esnasında; her türlü sağlık ve güvenlik önlemleri alınarak çalışan ve diğer kişilerin güvenliği sağlanmalıdır. Yapım esnasında alt yapı sistemlerinin yıpranmaması için uygun sıralama ve zamanlama seçilmelidir. Mevcut debiler yönetilerek sistemde rehabilitasyon işlemleri gerçekleştirilmelidir. Yeni sistemler tasarımında boru hatları standartlara uygun yapılmalıdır. Var olan sistemin yenilenmesinde boru hatları ile ilgili montaj kılavuzları dikkate alınmalıdır. Her iki durumda;

1. Sızdırmazlık
2. Akış performansı
3. Boru hattının şekli
4. Uygun dolgu ve yataklama
5. Gömme yolu ile topraktan boru hattına gelen yükün ağırlığı dikkate alınmalıdır.



Toprağa yönelik diğer kazma işlemleri ve kanalizasyon çalışmaları uygulamalarında boruların sağlamlığından emin olunmalıdır. Önceliğinde test çalışmaları yapılarak tasarımın inşaat için uygunluğundan emin olunmalıdır. Muayene bacaları vb. yardımcı yapıların boru hatları ile birleşiminin doğru yapıldığından emin olmak için;

1. Geometri,
2. Akış performansı,
3. Sızdırmazlık,
4. Uygun örtü malzeme ve kalınlığı, hususları önemsenmelidir.

### 3.1. Muayene Çukurları

Kazı çalışmalarına başlamadan önce, öngörülen güzergahın tespiti üzerine yapı denetim çalışanın talimatı ile muayene çukurları açılır. Planlanan güzergâhta değişiklik yapıp yapılmadığına karar verilir. 20 Metre ara ile güzergâh aksına dik ölçüm ile muayene çukurları açılır. Açılan muayene çukurları ebatları Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1: Açılan Muayene Çukurları Ebatları

EN	Hendek Genişliği
BOY	Hendek genişliği + 1,00 m,
DERİNLİK	Hendek genişliği + 0,50 m.

Boru çukurları kazılırken, borular döşenirken ya da doldurulurken tedbirler alınmalıdır. Kazı alanına giriş bariyerler ile kapatılmalıdır. Gece en az 100 metre mesafeden görülecek şekilde ışıklı işaretler kullanılarak yeri belirginleştirilmelidir. Karayollarındaki kazılarda ışıklı işaretler 500 metre uzaktan görülmelidir. Emniyetli geçitler kurularak bu bölgelerdeki yayaların kazıdan zarar görmemesi için tedbirler alınmalıdır.

### 3.2. Kanalizasyon Sistemi Kurulumu

Kanalizasyon sistemi kurulumu sürecinde;

1. Yeraltı tesisleri, kanalizasyon yapımına engel durumlar, dinamitle kayaların patlatılması, kanalizasyon yapımı iş sırası, yolların kapatılması, yol-kaldırım kaplama malzemelerine ait teknik detaylara,

2. Sistemin kurulumu esnasında ekipmanların taşınması ve depolanması, depolama işleri, boşaltma ve yükleme, hendek dolgu ve çalışma uzaklıkları, hendek eğimleri ve şev açıları, borular için açılan hendeklerin güvenliği ile ilgili hususlara,

3. Hendek taban çapları, boru başı hendekler, boru yatakları, bağlantı ve montajlar, baca kapakları conta ve merdivenler, basınç testleriyle ilgili teknik durumlara,

4. İşletmeye alınan ve inşaatı tamamlanan boru hatlarının sistemde kullanım şeklini yansıtır, belirtilen koordinat ile uyumuna,

5. Projede bütün parsel ve muayene bacalarının tahliye noktalarının, vantuz, dere geçiş ile sifon yapılarının, terfi merkezine giriş ve çıkışlarının, terfi hatlarında her 100 metrede bulunan kazık noktaları ve yer noktaları ile ilgili detaylara dikkat edilmelidir.

Bina temeline yakın kurulumu olan boru hattında; binanın boruya olası etkisine dikkat edilmelidir. Bina temellerinin zarar görüp zayıflamaması için tedbirler alınmalıdır.

### **3.3. Boruların Yerleşimi**

Kullanılan borular TS 821 EN 1916 standartları kapsamına uygun olmalıdır. Betonarme ve beton borulardan başka tür borular da tercih edildiğinde yeraltı suyun varlığı ve kanalizasyon suyunun kimyasal içerik ve özellikleri dikkate alınmalıdır. Bu durum ekonomik ve teknik analizler yapılarak kurumun onayı alınmalıdır.

Kazı toprağı yapı ve içerik itibarı ile dolguya elverişli kabul edilirse, yataklamaya ihtiyaç duymadan borular doğrudan kanal yatağına yerleştirilir. Kazı toprağı dolgu için uygun değil ise, kanal derinliği artırılarak elek üstü iri çakıl, jeotekstil, betonarme içerik ya da bu malzemelerin karışımları ile zemin iyileştirilir. Yataklama işlemi yapılır. Açılan kanalda su bulunuyorsa, su tamamen alandan uzaklaştırılarak mevzuata uygun yataklama yapılır.

### **3.4. Boruların Kapatılması ve Sıkıştırılması**

Dolgu işlemlerinde borular yerleştirilip birleştirme işlemi sonrası borunun her iki kenarına 30 cm yüksekliğinde dolgu malzemesi dökülür. Kompaktör yardımıyla % 95 güç sağlanıncaya kadar sıkıştırılır. Kompaktörün rahat çalışması için boru ve kanal duvarı arasında yan dolgu kapsamında boşluk bırakılır. Yan dolgu 30 cm'de bir sıkıştırılma işlemi yapılır. Bu işlem boru hattı üstünü en az 30 cm geçinceye dek devam edilir. Dolgu işlemi boru üzerini 30cm geçtikten sonra tamamlanır. Sıkıştırma derecesi minimum statik hesaplamalara uygun şekilde % 92-95 derece arasında yapılır. Boru üzeri en az 30 cm dolgu maddesi ile kapatıldıktan sonra bir üst malzeme ile yol altı kaplama gerçekleştirilir. Bu malzeme yol kaplamasına uygun olmalıdır. Sıkıştırma işlemi tamamlanarak işlem tamamlanır. Üst dolgu malzemesi boru hattının, içeriğinin kanala dökülmesi esnasında yer değiştirmemesi için az miktarda dökülür ve sıkıştırma işlemi yapılır. Üst dolgu sıkıştırma, boru döşendikten ve üst dolgu yüksekliği boru üzerinden en az 1 m'yi geçtikten sonra

yapılabilir. Bu mesafe sağlanmadan ağır vasıtalar, iş makineleri ve sıkıştırma araçları boru üzerinden geçmemelidir. Sıkıştırma işlemi hafif silindir ya da kompaktör yardımı ile yapılmalıdır.

### 3.5. Kanal Dolgu Malzemesi

Kanalizasyon kanal dolgu malzemesi en fazla %20 nem, dane çapı en fazla 11 mm olabilir. Donmuş malzemelerin ve boruya zarar verme potansiyelinde keskin köşeli sivri uçlu taşlar dolgu malzemesi olarak kullanılmamalıdır.

## 4. ATIK SU ARITIMI

Türkiye’de son zamanlarda sanayi ve ekonomik alanda uygulanan öncelikli politikalar nedeniyle atık suların çevreye verdiği zararlar ve bu zararların önlenmesine yönelik faaliyetler bir süre ertelenmiştir. Ancak Avrupa Birliği (AB) katılım sürecinde aktifleştirilen yasal süreç dahilindeki düzenlemeler ve çalışmalar ile bu konu ile ilgili mühim adımlar atılmıştır. Evsel, tarımsal ve endüstriyel uygulamalar sonucu birçok stratejik planlar ve programlar gerçekleştirilmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de geçmiş yıllarda uygulanmış olan endüstri ve iktisat öncelikli politikalar sebebiyle, bu faaliyetlerin çevresel tesirleri ve bunların önlenmesi ile alakalı emek harcamalar uzun vakit ikinci planda tutulmuştur. Ancak son yıllarda AB katılım sürecinde meydana gelen yasal düzenlemeler ve uygulamalar ile mevzu ile alakalı mühim adımlar atılmış ve bütün faaliyetlerde çevresel risklerin değerlendirilmesi öncelik kazanmıştır. Evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler cevabında ortaya çıkabilecek su kirliliğinin önlenmesi ile alakalı olarak fazlaca sayıda stratejik plan ve program gerçekleştirilmiş ve ortaya konan hedefler doğrultusunda su kirliliğinin önlenmesi yolunda mühim adımlar atılmıştır. (URL.4, 2004).2011 Yılında Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı vasıtasıyla yayımlanan Türkiye Çevre Durum Raporu’nda sanayileşme, evsel ve tarımsal faaliyetler, denetimsiz ve düzensiz kentleşmenin olması, doğal kaynakların aşırı kullanımı su kirliliğinin sebepleri arasında açıklanmıştır. Kentsel atık suların kısmen ya da arıtılmadan yüzey sulara dahil edilmesi, kanalizasyon sistemlerinden ve açıktaki katı atık yığınlardan kaynaklanan sızıntıların tekrar yeraltı sularına karışmaları, sulama kanallarında ve toprakta bulunan tarım ilacı ve kimyasal gübre kalıntılarının yüzeyel sulara karışması, doğal göl ve baraj göllerinde çökelti birikimine yol açan ormansızlaşma ve yanlış tarım uygulamaları tatlı su kaynaklarının kirlenmesini hızlandırmıştır. Su kirliliğinin önlenmesi, su kaynaklarının korunması amacıyla gerekli yaptırımların belirlendiği mevzuatlara bağlı uygulamalar sürdürülmektedir (URL.6, 2023). Bu çalışmalar kapsamında nüfusun ve atık su debilerinin yoğun olduğu yerlerde atık su arıtma tesisleri kurulmuştur. Bu tesislerde uzun havalandırılmalı aktif çamur, aktif çamur, ardışık kesitli

reaktör, stabilizasyon havuzu, damlatmalı filtre, membran sistemleri arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Doğal arıtma yöntemleri kapsamında; atık suyu buharlaştırma, atıksuyu yeraltına sızdırma havuzları, atık suyu direk olarak eğimli araziye bırakma yöntemi, havuzlama yöntemiyle atık suyun stabilite edilerek zararsız halde muhafaza edilmesi, yapay sulak alanlarda atık suya ait arıtma yöntemleri kullanılmaktadır (URL.2, 2024).

Zararlı kimyasal maddeler kapsamında yer alan katyonik ve anyonik özellikteki maddelerin uygun şekilde formüle edilerek kullanım miktarlarının sınırlandırılması, işyeri ve evlerde kullanılan kimyasalların ürün etiketlerinin ve Güvenlik Bilgi Formlarının değerlendirilerek önlemler alınması birey ve çevre dostu bakımından önemini artırmaktadır. Anyonik ve Katyonik madde kullanımındaki hedef en az miktarda katkıyı sağlayan maddeyi kullanarak istenilen etkinin elde edilmesi olmalıdır (Lu G & Moore D J., 2012).

## KAYNAKLAR

- C. Zhang, K T Valsaraj, W D Constant & D Roy. (1999). Aerobic biodegradation kinetics of four anionic and nonionic surfactants at sub- and supra-critical micelle concentrations (CMCs). *Water Research*, 33(1), 115- 124. <https://doi.org/10.1016/S0043-1>.
- Cho J E, Sim D. S, Kim Y. W, Lim, J. J. (2018). Selective Syntheses and Properties of Anionic Surfactants Derived from Isosorbide. DOI:10.1002/jsde.12182.
- Cornwell P A. (2018). A review of shampoo surfactant technology: consumer benefits, raw materials and recent developments. *International journal of cosmetic science*, 40(1), 16-30.
- ÇSGB.1. Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik. 12 Ağustos 2013 Tarihli, 28733 Sayılı Resmi Gazete. (Erişim Tarihi: 22.08.2024)
- ÇSGB.2. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. 29/12/2012 Tarihli ve 28512 Sayılı Resmî Gazete . (Erişim Tarihi: 19.08.2024)
- ÇSGB.3. İş Hijyeni Ölçüm, Test ve Analizleri Hakkında Yönetmelik. 27/1/2023 Tarihli ve 32086 Sayılı Resmî Gazete. (Erişim Tarihi: 20.08.2024)
- E Martins M S Ferreira M S Almeida I F & Sousa. (2022). Occurrence of Allergens in Cosmetics for Sensitive Skin. *Cosmetics*. 9(2), 1–13.
- Ece, M. (2005). Yüzey Aktif Maddelerin Kimyasal Oksidasyon Sürecinde Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta.
- Erkut, E. (2008). Aktif karbon adsorpsiyonu ile boyarmadde giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 123, Eskişehir.
- H A Painter. (1992). Anionic surfactants, *Handb. Environ. Chem.* 3, 1–88.
- J Kaleta & M Elektorowicz. (2013). Elektorowicz The removal of anionic surfactants from water in coagulation process, *Environmental Technology (United Kingdom)*, 34(5- 8), 999–1005,. <https://doi.org/10.1080/09593330.2012.733415>.
- John Jensen, Stephen R Smith, Paul Henning Krogh, Don J Versteeg.(2007) European risk assessment of LAS in agricultural soil revisited: Species sensitivity distribution and risk estimates. *Chemosphere* 69(6):880-92.
- K. Lawrence, L.K. Wang, Y.T. Yung-Tse Hung, H. Howard, H.H Lo, and C. Constantine Yapijakis,(2004) *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*. Marcel Dekker Publishing, New York.
- Kosswig K. (2005). Surfactants in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH, 35, 431- 505.
- Lars Carlsen, Mai-Britt Metzton & Jeanette Kjelsmark. (2002). Linear alkylbenzene sulfonates (LAS) in the terrestrial environment *National Environmental Research*

Institute, Department of Environmental Chemistry, DK-4000 Roskilde, Denmark Received .

Lu G & Moore D J. (2012). Study of surfactant-skin interactions by skin impedance measurements.

International journal of cosmetic science. 34(1), 74–80.

M BautistaToledo. J Rivera-Utrilla J. D MéndezDíaz M. Sánchez-Polo & F Carrasco Marín. (2014). Removal of the surfactant sodium dodecylbenzenesulfonate from water by processes based on adsorption/bioadsorption and biodegradation. Journal of Colloid an.

M J Scott & M N Jones. (2000). The biodegradation of surfactants in the environment. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes, 1508(1-2), 235-251, . [https://doi.org/10.1016/S0304-4157\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4157(00)00013-7).

Malagón, S. C. (2009). Analysis of Linear Alkylbenzene Sulfonate in Waste Water and Sludge by High Performance Liquid Chromatography: An Exercise of Validation. of Surfactants and Detergents 12(1):21-DOI:10.1007/s11743-008-1100-8.

N. Thinakaran. Isotherm. S.E. Subramani. (2017). Kinetic and thermodynamic studies on the adsorption behaviour of textile dyes onto chitosan. Volume 106. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.11.024>.

Samuel Cantarero. Alberto Zafra-Gómez. Oscar Ballesteros. Alberto Navalón. Marco S Reis. Pedro M

Saraiva. José L Vilchez, (2011). Environmental monitoring study of linear alkylbenzene sulfonates and insoluble soap in Spanish sewage sludge samples. PMID: 21526451.

URL.1. (2024). <https://www.secilleorganic.com> › blog › sabunun-tarihci. (Erişim Tarihi: 19.08.2024)

URL.2. (2024). <http://websitem.karatekin.edu.tr> (Erişim Tarihi; 20.07.2024)

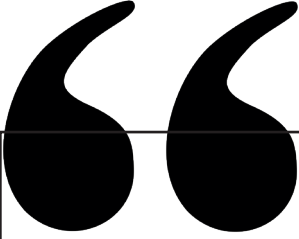
URL.3. (2015). Atık Yönetimi Yönetmeliği. 2 Nisan 2015 Tarihli, 29314 Sayılı Resmi Gazete. (Erişim Tarihi: 19.08.2024)

URL.4. (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. 31.12.2004 Tarihli, 25687 Sayılı Resmî Gazete. (Erişim Tarihi: 29.08.2024)

URL.5. (2017). Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik 6 Ocak 2017 Tarihli, 29940 Sayılı Resmi Gazete. (Erişim Tarihi: 09.08.2024)

URL.6. (2023). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. Atıksu Arıtımı Eylem Planı (2017–2023). (Erişim Tarihi: 19.07.2024)

Van Haute N & Goossens, A. (1983). Shampoo dermatitis due to cocobetaine and sodium lauryl ether sulphate. Contact Dermatitis, 9(2), 169-169.



## *Bölüm 5*

### **DERİN ÖĞRENME İLE FOTOVOLTAİK PANEL ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

*Mahmut YILDIRIM<sup>1</sup>*

*Erol TERZİ<sup>2</sup>*

*Ahmet TOY<sup>3</sup>*

1 Akkuyu Nükleer A.Ş.

yldrmahmut05@gmail.com

ORCID ID: 0009-0005-7575-2180

2 Prof. Dt. Ondokuz Mayıs Üniversitesi

eroltrz@omu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-2309-827X

3 Öğr. Gör. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi

ahmet.toy@omu.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-2647-7259

## 1. GİRİŞ

Fotovoltaik(FV) paneller, güneş enerjisinden elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaik panellerin yüzeylerinde biriken toz, kuş pisliği, kar gibi maddelerin oluşturduğu fiziksel ve elektriksel hasarlar enerji üretiminin verimliliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu yüzden hasarların hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve bakım maliyetlerinin düşürülmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada fotovoltaik panel yüzeylerinde biriken yabancı maddelerin ve görünür yüzey hasarlarının enerji verimliliğine etkisinin derin öğrenme yöntemleri kullanılarak tespiti amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda biriken yabancı maddeleri ve oluşan hasarları tespit etmek için derin öğrenme tabanlı görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Veri seti, çeşitli koşullar altında çekilmiş fotovoltaik panel yüzey görüntülerinden oluşmaktadır. Bu görüntüler, yüzeydeki yabancı maddeleri, fiziksel ve elektriksel hasarları içermektedir. Veri seti, etiketlenmiş görüntülerden oluşmakta ve eğitim ve test aşamalarında kullanılmak üzere ayrılmıştır. Derin öğrenme modeli olarak, görüntü işleme için evrimsel sinir ağı kullanılmıştır. Modelin eğitim sırasında erken durdurma yöntemi kullanılarak modelin aşırı öğrenmeden en az şekilde etkilenmesi sağlanmıştır. Eğitilen model, test veri seti üzerinde yüksek doğruluk oranları elde ederek, yüzey farklılıklarını başarılı bir şekilde tespit etmiştir. Ayrıca modellerin doğruluk metriği incelenerek modelin güvenilirliği doğrulanmıştır.

Elektriğin keşfinden sonra enerji, tüm insanlığın en önemli temel ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Günümüzde nüfusun, sanayileşmenin ve teknolojik ürünlere olan talebin artması, enerji ihtiyacı giderek arttırmaktadır. Bu artan talebi karşılamak için, ülkelerin enerji kaynaklarına olan ihtiyacı da büyümektedir. Ancak, enerji üretimi ve tüketimi, çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik endişelerini de beraberinde getirmektedir. Her ülkenin enerji ihtiyacı, ekonomik büyüme, endüstriyel üretim, ulaşım ve evsel kullanım gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Gelişmiş ülkeler genellikle daha yüksek enerji tüketimine sahipken, gelişmekte olan ülkeler de enerji taleplerini karşılamak için sürekli bir ihtiyaç içindedir. Bu durum, küresel enerji piyasalarında dengesizliklere ve enerji kaynaklarının adaletsiz dağılımına neden olmaktadır. Geleneksel enerji kaynakları, fosil yakıtlar gibi çevresel kirliliğe ve iklim değişikliğine katkıda bulunurken, yenilenebilir enerji kaynakları, temiz ve sürdürülebilir bir gelecek için umut vaatmektedir. Güneş, rüzgar, hidroelektrik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtların aksine sınırsızdır ve çevreye zarar vermezler. Bu nedenle bir çok ülke, enerji portföylerini yenilenebilir kaynaklara yönlendirerek, temiz enerji üretimi ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı amaçlamaktadır (Doğan, 2019).



Kullanımı giderek artan fotovoltaik panellerin, panel verimliliğine etki eden faktörlerin etkisinin araştırılması bu bağlamda panel yüzeylerinde biriken yabancı madde ve hasarların ve fotovoltaik panel verimliliği tahminin yapay zeka destekli modeller ile tespiti her geçen gün daha önem kazanmaktadır. Bu nedenle bu konuda birçok çalışma yapılmıştır.

Saberian ve ark. (2014), fotovoltaik panellerdeki yabancı madde ve hasar tespiti için yapay sinir ağlarını (YSA) kullanarak yapılan bir modelde, iki sinir ağı yapısı kullanılmıştır. Bunlardan biri genel regresyon sinir ağı diğeri ise ileri beslemeli geri yayılım sinir ağıdır. Yapılan modelleme sonucunda ileri beslemeli geri yayılım sinir ağı modelinin, genel regresyon sinir ağı modeline göre daha iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir

Zhu ve ark. (2016), fotovoltaik panel verimliliğini ele aldıkları çalışmalarında fotovoltaik gücünün sabit olmayan sebeplerden dolayı dalgacık ayrıştırma ve yapay sinir ağlarının avantajları birleştirerek yeni bir yöntem sunmuştur. Ayrıca bir fotovoltaik panelin güç çıkışı yabancı maddelerden dolayı güneş enerji santrallerinde, fotovoltaik enerji çıkışının çok ölçekli ayrıştırmasını gerçekleştirmek için dalgacık analizi yöntemi kullanmıştır. Yapay sinir ağlarıyla da tahmin modelleri oluşturularak tahmin sonuçları oluşturulmuştur.

Ziane ve ark. (2021), Adrar çölünde yaptıkları bir çalışmada, tozlanmanın fotovoltaik sistem istasyonunun performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ayrıca panel yüzeyine etki eden meteorolojik değişkenleri kullanarak performans tahmini yapmışlardır. Çalışma sonucunda ışınım ve hava sıcaklığının önemli etkisi olduğu ifade etmişlerdir.

Afyon Kocatepe Üniversitesi'nde bulunan güneş enerji sisteminin üretilen gücü tahmin etmek için yapay sinir ağı modeli kurulmuştur. Bu model kurulurken bir çok veri toplanarak çok boyutlu doğrusal tahmin filtreleri modellenmesi oluşturulmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında kurulan modelin başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Akarslan ve Hocaoglu, 2018).

Harran Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, farklı yapay zeka yöntemleri kullanılarak istasyonlardan alınan verilerdeki kayıpların tahmin edilmesi amaçlanmıştır. En yakın komşu yöntemi ile yapılan çalışma en yüksek başarıya ulaşmıştır (Sağaltıcı ve ark., 2018).

Bu çalışmada literatürdeki yapılan araştırmalardan farklı olarak, fotovoltaik paneller üzerinde biriken yabancı maddelerin ve oluşabilecek fiziksel ve elektriksel hasarların, fotovoltaik sistemlerdeki verimi nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Araştırma için kullanılan veri seti Kahramanmaraş'ta bulunan fotovoltaik panellerden ve veri bilimi platformu olan Kaggle üzerinden elde edilmiştir. Farklı yapay sinir ağı modelleri kullanılarak en iyi doğruluk değerini veren modelin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

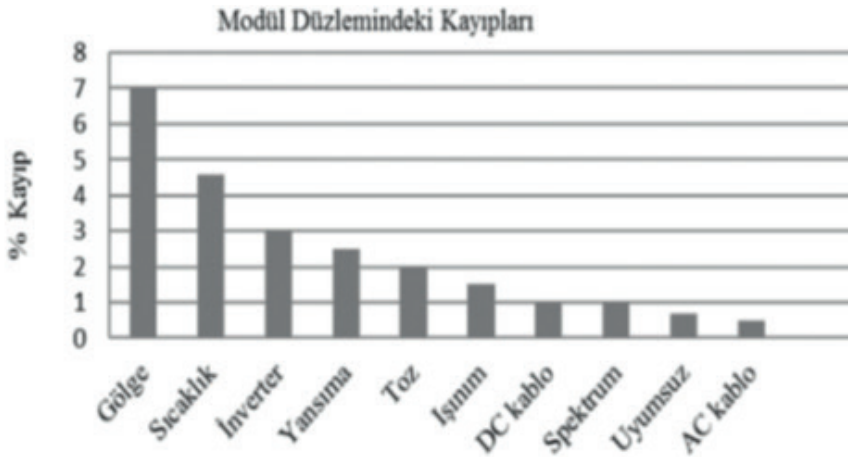
### 2.1. Fotovoltaik Enerji ve Güneş Panelleri

Güneş çekirdeğinde sürekli olarak gerçekleşen füzyon reaksiyonu esnasında hidrojen gazı, helyuma dönüşmektedir ve bu dönüşüm ile ışınlar meydana gelmektedir. Güneşten yayılan bu ışınlar da güneş panelleri vasıtasıyla ısıya veya elektriğe dönüştürülmektedir (Kılıç, 2015). Alexandre Edmond Becquerel 1839 yılında güneş ışınlarından elektrik akımının üretilebileceğini keşfetmiştir (Atakan, 2020). Becquerel fotovoltaik olayı iletken bir sıvıdaki elektrotun ışık yayması ile keşfedilmiştir. Russell Ohl'da 1941 yılında günün teknolojisiyle ilk güneş paneli hücresini üretmiştir. Daha sonra 1954 yılında ticari güneş paneli sunulmuştur (U.S. Department of Energy, 2020). Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan güneş modülleri, güneş hücrelerinin birleştirilmesi ile sağlanmaktadır.

FV dönüşüm temelde iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak akım taşıyıcıları olan yük çiftleri oluşturulur daha sonra bir elektron alanı ile bu yük çiftleri birbirinde ayrılırlar. Silisyum elementi FV sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Silisyum elementinin yanısıra yarı iletken özellikli olan diğer galyum arsenit, kadmiyum sülfür ve kadmiyum tellür gibi maddeler de kullanılmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022).

#### 2.1.1. Fotovoltaik Sistem Verimliliğini Etkileyen Faktörler

Fotovoltaik sistem verimliliğini etkileyen faktörlerin çoğu enerji üretiminde kayıplara yol açmaktadır. Bu faktörler iksimsel etkiler, çevresel etkiler, yapısal etkiler ve kurulum sırasındaki kayıplar olarak dört bölümde incelenebilir. Aşağıdaki şekilde verimi etkileyen kayıplar gösterilmektedir (Deniz, 2013).



Şekil 2.1. Fotovoltaik Sistemlerde Kayıplar

Toz, kuş pisliği, fiziksel ve elektriksel hasar gibi çevresel etkilerden dolayı fotovoltaik panellerde performans kayıpları meydana gelmektedir. Tozlanma kaynaklı kayıplar incelendiğinde özellikle az yağış alan bölgelerde değerler %15'e kadar çıktığı görülmektedir (Piliouguine vd. 2008). Bu yüzden fotovoltaik panellerde çevresel etkilerin tespit edilip, panellerin periyodik olarak temizlenmesi ve bakım onarımının yapılması çok önemlidir.

Fotovoltaik sistemlerin kirlilik ve arıza tespiti yöntemleri geleneksel yaklaşımlar ve yapay zeka destekli yaklaşımlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Geleneksel yaklaşımda, çalışma akımı, çalışma voltajı, üretilen güç gibi çeşitli göstergeler analiz edilerek tespitler yapılmaktadır. Yapay zeka destekli yöntemler de ise tespitler, Gauss süreç regresyon tekniği(GPR), evrimsel sinir ağı(CNN) gibi makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmaları kullanılarak yapılmaktadır (Tang ve ark., 2020). Günümüzde, makine öğrenimi ve derin öğrenme tabanlı panel yüzellerindeki kirlilik ve hasar tespiti konulu araştırmalar hızla artmaktadır (Berghout ve ark., 2021).

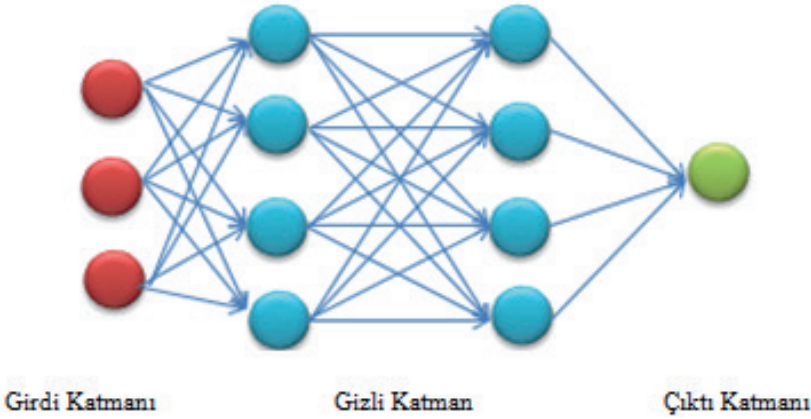
## 2.2. Derin Öğrenme

Yapay zekanın bir çok alt başlıkları vardır. Bu alt başlıklardan biri de derin öğrenmedir. Derin öğrenme aslında bir makine öğrenimi yöntemidir. Derin öğrenme modellerini diğer makine öğrenimi modellerinden ayıran en önemli fark, özellik çıkarma işlemini kendi içinde yapmasıdır. Bu yüzden derin öğrenme modelleri makine öğrenme modellerine göre daha çok veri hacmi beklemektedir ve makine öğrenimi modellerine göre daha karmaşık olduğu için model çözümleri daha fazla zaman almaktadır.

Derin öğrenme de kendi içinde alt dallara ayrılmaktadır. Bunlardan bazıları yapay sinir ağları, evrimsel sinir ağları, öz yineleme sinir ağları ve uzak kısa süreli bellektir. Derin öğrenme modelleme yapılacak sinir ağlarının bir çok katmandan oluşmasından dolayı derin olarak ifade edilmektedir.

### 2.2.1. Yapay Sinir Ağındaki Katmanlar

Katmanlar bir sinir ağının temel taşlarıdır. Katmanlar ham veriyi kullanışlı hale dönüştürerek problemin çözümünde anlamlı bilgilerin çıkmasına katkıda bulunmaktadır. Beklenen sonuçların alınabilmesi için katmanlar üzerinde değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Yapay sinir ağlarındaki bu katmanlar; giriş katmanı, gizli katman ve sınıflandırma veya tahminleme(çıkıtı) katmanıdır. Bir yapay sinir ağında yapılan temel işlem, modelin en iyi skoru vereceği ağırlıkları ve bias(yanlılık) değerini bulmaktır.



Şekil 2.2. Yapay Sinir Ağı Katmanları

Giriş katmanı, sinir ağına verinin girildiği katmandır. Bu katmanda giriş verileri üzerinde herhangi bir işlem yapılmaz. Girilmiş olan değerler gizli katmana aktarılır. Gizli katman, giriş ile çıkış arasındaki bağlantıyı sağlayan katman veya katmanlardır. Yani gizli katman öğrenme işleminin yapıldığı optimum ağırlıkların bulunduğu katmandır. Çıkış katmanı ise sonuçların belirlendiği katmandır (Kwak, 2016).

Evrişimli sinir ağları temel olarak görüntü sınıflandırmak, nesne tanımak, girdi görüntüsünü alıp görüntüdeki çeşitli görünüşleri birbirinden ayırmak için kullanılan derin öğrenme ağ çeşitidir. Evrişimli kelimesinin anlamı, görüntüyü basitten karmaşığa doğru analiz etmesi anlamındadır. Bu da eğitim aşamasında öğrenilmesi gereken parametre sayısını azaltmaktadır. Evrişimli sinir ağlarında görüntüden anlam çıkarmak için özellik çıkarımı veya özellik mühendisliği yapılan katmanlar vardır. Bu yüzden yapay sinir ağlarındaki katmanlara ek olarak evrişimli sinir ağlarında, evrişim katmanı, havuzlama katmanı, tam bağlantı katmanı, normalizasyon katmanı gibi katmanlar bulunmaktadır.

Evrişim katmanı, görsellerden özellik çıkarımının yapıldığı katmandır. Görüntüleri filtreler aracılığıyla tarayarak, görüntülerden kenar, köşe gibi çeşitli özelliklerin çıkarıldığı yani modelin resmin ne olduğunu öğrendiği katmandır. Kullanılan filtreler genellikle 3x3 veya 5x5 bir matris şeklindedir (İnik ve Ülker, 2017). Her filtre, belirli desenleri tanımak üzere önceden eğitilmiştir. Bazı filtreler kenarları yakalamak için kullanılırken, bazı filtreler dairesel yapıları algılamak için kullanılır. Yani her filtre farklı özellikleri tanımak için kullanılır. Evrişim işlemi, filtrelerin görüntü üzerinde belirli bir pencere boyunca kaydırılmasıyla gerçekleşir. Her bir konumda, filtre görüntünün o bölgesine uygulanır ve sonuç, evrişim katmanının çıkışı olarak adlandırılır. Bu çıkış, filtrelerin belirli özellikleri algıladığı bir özellik haritasıdır.

Evrişim katmanında genellikle bir aktivasyon fonksiyonu (aktivasyon katmanı) ve bir havuzlama katmanı kullanılır. Bu süreç, evrişimli sinir ağının her bir evrişim katmanında tekrarlanır ve ardından tam bağlantı katmanı ile yapay sinir ağını bağlanır ve sonuç olarak bir sınıflandırma veya regresyon çıktısı üretilir. Aktivasyon katmanı, ReLU, sigmoid gibi aktivasyon fonksiyonlarının kullanıldığı katmandır. Aktivasyon fonksiyonları, yapay sinir ağlarına doğrusal olmayan gerçek hayat özelliklerini öğretmek için kullanılır. Eğer aktivasyon katmanı olmazsa giriş ile çıkış arasındaki bilgi basit doğrusal fonksiyon olur. Bu yüzden aktivasyon fonksiyonu kullanılmayan bir yapay sinir ağı sınırlı öğrenme kabiliyetine sahip olmaktadır. Eğer doğrusallık olmazsa çeşitlilik artacak ve yapay sinir ağının öğrenme yeteneği artacaktır. Bu yüzden genellikle evrişim katmanlarından hemen sonra aktivasyon katmanı kullanılır (Metlek ve Kayaalp, 2021).

Literatüre baktığımızda bir çok farklı aktivasyon fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; basamak fonksiyonu, doğrusal fonksiyon, sigmoid fonksiyonu, hiperbolik tanjant fonksiyonu, ReLU (Rectified Linear Unit) fonksiyonu, sızıntı ReLU fonksiyonu, Softmax fonksiyonu ve Swish fonksiyonudur. Her fonksiyonun kendi içinde avantajları ve dezavantajları bulunsada en çok tercih edilenleri sigmoid, hiperbolik tanjant, ReLU, sızıntı ReLU ve Softmax fonksiyonlarıdır (Krizhevsky ve ark., 2017).

Aktivasyon Fonksiyonu		Aralık
Doğrusal Fonksiyon	$f(x) = x$	$(-\infty, \infty)$
Basamak Fonksiyonu	$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{için } x < 0 \\ 1 & \text{için } x \geq 0 \end{cases}$	$\{0, 1\}$
Sigmoid Fonksiyonu	$f(x) = \sigma(x) = 1/(1 + e^{-x})$	$(0, 1)$
Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu	$f(x) = \tanh(x) = (e^x - e^{-x})/(e^x + e^{-x})$	$(-1, 1)$
ReLU	$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{için } x < 0 \\ x & \text{için } x \geq 0 \end{cases}$	$[0, \infty)$
Sızıntı ReLU	$f(x) = \begin{cases} 0.01 & \text{için } x < 0 \\ x & \text{için } x \geq 0 \end{cases}$	$(-\infty, \infty)$
Swish Fonksiyonu	$f(x) = 2x\sigma(\beta x) = \begin{cases} \beta = 0 & \text{için } f(x) = x \\ \beta \rightarrow \infty & \text{için } f(x) = 2\max(0, x) \end{cases}$	$(-\infty, \infty)$

Şekil 2.3. Aktivasyon Fonksiyonları

Sigmoid fonksiyonu sinir ağlarında yaygın olarak kullanılan bir aktivasyon fonksiyonudur. Bu fonksiyon, giriş değerlerini 0 ile 1 arasında bir çıkış değerine dönüştürür. Bu nedenle özellikle ikili sınıflandırma problemlerinde

çıkış katmanında tercih edilir. Sigmoid fonksiyonun özelliklerinden biri de, türevinin, çıktının kendisiyle ve giriş değerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilmesidir. Bu özellik, ağın optimum ağırlıklarının öğrenmesi için gerekli olan geri yayılım algoritmasında kullanılır. Sigmoid fonksiyonun dezavantajı, fonksiyonun uçlarına doğru  $y$  değerleri  $x$ 'teki değişikliklere çok az tepki vermesidir. Yani giriş değeri çok büyük veya çok küçük olduğunda, türevi çok küçük hatta sıfır olabilir, bu da ağın eğitimi sırasında gradyan kaybolması probleminin neden olabilir.

Hiperbolik tanjant fonksiyonu, sigmoid fonksiyonuna çok benzemektedir. Sigmoid fonksiyonu gibi bir giriş değerini alır fakat çıkış değeri olarak  $-1$  ile  $+1$  arasında değer üretir. Hiperbolik tanjant fonksiyonu sigmoid fonksiyonunun göre türevi daha dik olduğundan, daha geniş bir aralıkta yayılarak daha çok değer alabilmektedir. Bununla birlikte hiperbolik tanjant fonksiyonunda sigmoid fonksiyonu gibi uç noktalarda gradyan kaybolması problemi devam etmektedir.

ReLU fonksiyonu, 0 ile sonsuz aralığında değerler alır. Çok büyük sinir ağlarında sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları neredeyse tüm nöronları aynı anda aktive eder. Bu yüzden bu sinir ağlarında yoğun işlem gerekmektedir. Bu işlem yükünü hafifletmek için bazen ağdaki bazı nöronların aktive halde bazı nöronları ise sönmüş şekilde isteyebiliriz. Bunu ReLU fonksiyonu ile yapabiliriz. ReLU fonksiyonunun en büyük avantajı, diğer fonksiyonlara göre daha hızlı hesaplama yapabilmesidir. Ayrıca, geri yayılım algoritmasında daha az hesaplama maliyeti gerektirir, bu da sinir ağlarının daha hızlı eğitilmesine yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, ReLU fonksiyonun en büyük dezavantajı, giriş değeri negatif olduğunda türevinin sıfır olmasıdır. Bu durum, giriş değeri negatif olduğunda ağırlık güncellemelerinin durmasına neden olabilir bu da gradyan kaybına sebep olabilir. Bu nöronlar, eğitim sırasında hiçbir bilgiyi iletmezler ve dolayısıyla modelin performansını olumsuz yönde etkilerler. Bu nedenle ReLU fonksiyonu genellikle çok katmanlı sinir ağlarının gizli katmanında kullanılmaktadır.

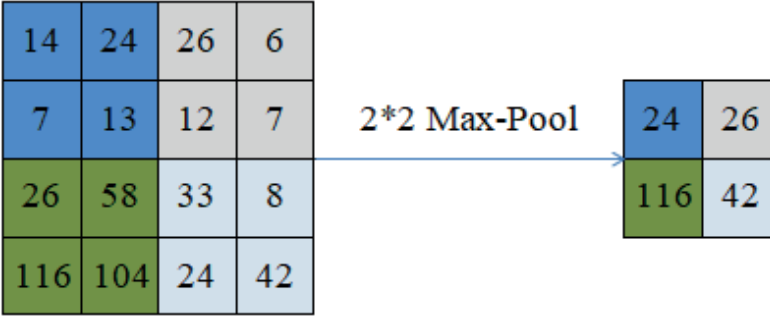
Sızıntı ReLU fonksiyonu, negatif düzlemde sızıntı yani değer oluşturan fonksiyondur. Klasik ReLU fonksiyonundaki gradyan kaybı problemini yok etmek için ortaya atılmış bir fonksiyondur. Bu sızıntı değeri  $0.01$ 'dir. Sızıntı ReLU fonksiyonunun tanım aralığı eksi sonsuza kadar devam etmektedir. Bu da sıfıra yakın değerleri sıfır olarak algılamayacağından dolayı ReLU'deki gradyan kaybı problemini çözülmüş olur. Sızıntı ReLU fonksiyonunun dezavantajlarından biri sızıntı katsayısının  $el$  ile belirlenmesidir ve bu değer doğru seçilmesi önemlidir. Ayrıca sızıntı ReLU fonksiyonu, negatif girişler için bir eğim sağlamasına rağmen, bazı durumlarda diğer aktivasyon fonksiyonlarına göre yavaş öğrenme hızına sahip olabilir.

Softmax fonksiyonu, çoklu sınıflandırma problemlerinde sınıflar arasında olasılıkları hesaplamak için kullanılan bir aktivasyon fonksiyonudur. Softmax fonksiyonu, her bir sınıf için bir olasılık dağılımı üretir, böylece toplam olasılıkların 1'e eşit olması sağlanır. Softmax fonksiyonu, özellikle çok sınıflandırma problemlerinde kullanıldığı için genellikle sinir ağının çıktı katmanında kullanılmaktadır.

Swish fonksiyonu, avantajlarından biri negatif girişler için daha az sıfır çıktısı ürettiği için gradyan kaybı problemini azaltmaktadır. Swish fonksiyonunun bir diğer avantajı ise, eğitim sırasında daha hızlı ve daha iyi sonuçlar vermesidir. Fakat bu avantajı her durumda geçerli olmamaktadır.

Modellenen yapay sinir ağının gereksinimine göre aktivasyon fonksiyonunun seçilmesi gerekmektedir. Bunun için ağın kolay ve hızlı olması önemli bir kritik olarak ele alınabilir. Bu nedenle ReLU fonksiyonunun öncelikli bir seçim olması doğru olabilir fakat, gradyan kaybı problemini göze almak gerekmektedir. Gradyan kaybı probleminin ilk çözümü sızıntı ReLU fonksiyonu gelebilir. Sigmoid ve Softmax fonksiyonları ise genellikle çıktı katmanında sınıflandırma problemlerinde kullanılmaktadır.

Havuzlama katmanı, görüntünün özelliklerini kaybetmeden boyutunun azaltılmasının sağlandığı katmandır. Bu katmanda herhangi bir öğrenme işlemi gerçekleşmez. Görüntünün boyutunu küçülterek, hesaplama maliyetini, aşırı öğrenmeyi azaltırken, translasyonel invaryansı sağlar (Zeiler ve Fergus, 2013).



Şekil 2.4. Havuzlama Katmanı

Havuzlama katmanı, genellikle önceki evrişim katmanının çıktısını alır ve belirli bölgeyi özetleyerek bir ölçü olarak boyutu küçültür. Bu ölçü genellikle maksimum havuzlama(max pooling) veya ortalama havuzlama(average pooling) gibi işlemlerle yapılır (Satti ve ark., 2020). Maksimum havuzlama, belirli bir bölgedeki en büyük özelliği seçerek özetler. Örneğin 2x2 bir maksimum havuzlama uygulandığında, her 2x2 piksellik bölgeden en büyük piksel seçilir ve çıktı oluşturulur. Ortalama havuzlama da ise, belirli bir bölgedeki

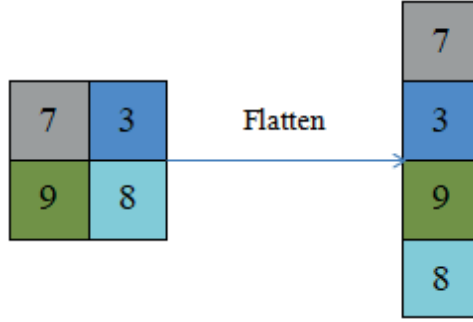
piksellerin ortalamasını alarak özetler. Aynı şekilde 2x2 havuzlama uygulandığında, her 2x2 piksellik bölgedeki piksellerin ortalaması alınır ve çıktı oluşturulur. Havuzlama katmanı, ağın boyutunu azaltırken önemli özelliklerin korunmasına yardımcı olur. Ayrıca, aşırı öğrenmeyi azaltarak ağın genelleme yeteneğini artırır. Bu nedenle, havuzlama katmanları genellikle evrişimli sinir ağlarının ardışık evrişim katmanları arasında kullanılır.

Tam normalleştirme katmanı, ağın her bir eğitim minibatch'i için girişleri normalize eder, bu da ağın daha hızlı ve daha kararlı eğitilmesine yardımcı olur. Tam normalleştirme katmanı, bir minibatch içindeki her bir özelliğin ortalamasını ve standart sapmasını hesaplar. Daha sonra, her bir özelliği bu ortalamadan çıkarıp standart sapmaya böler. Bu işlem, her özelliğin ortalamasının 0 ve standart sapmasının 1 olmasını sağlar (Kwak, 2016). Tam normalleştirme, ağında daha hızlı eğitilmesini sağlar. Çünkü normalleştirme, aktivasyon dağılımlarının daha kararlı olmasını sağlar. Ayrıca, ağın daha derin olmasına ve daha büyük öğrenme hızlarına izin verir. Bununla birlikte, ağın eğitim ve tahmin süreçlerinde ek hesaplama maliyeti getirebilir.

Sönümlenme(dropout) katmanı, aşırı öğrenmeyi azaltmak için kullanılan bir regularizasyon katmanıdır ve sinir ağlarının daha geliştirilmiş modeller oluşturulmasına yardımcı olur. Sönümlenme, eğitim sırasında rastgele bir şekilde belirli bir orandaki nöronları devre dışı bırakarak çalışır. Bu nöronlar, ağın belirli bir iterasyonunda sadece iletim yapmazlar, dolayısıyla ağın yapısı değişir. Böylece, ağın farklı bir alt kümeye dayalı olarak eğitilmesi ve genelleme yeteneğinin artması sağlanır. Sönümlenme katmanı aşırı öğrenmeyi azaltır, çünkü ağın belirli bir özelliğe aşırı bağımlı hale gelmesini engeller. Bu şekilde, tüm ağın özellikleri daha dengeli bir şekilde öğrenilir. Ayrıca, farklı öğrenme yollarının oluşturulması, modelin daha geliştirilmiş bir temsil oluşturulmasına yardımcı olur. Sönümlenme katmanı, özellikle derin sinir ağlarında ve genellikle tam bağlantı katmanlarında kullanılır, ancak diğer katman türlerinde de uygulanabilir. Eğitim sırasında kullanıldıktan sonra, genellikle tahmin sürecinde devre dışı bırakılır ve tüm nöronlar kullanılır. Bu doğrulama ve test sırasında tutarlı sonuçlar elde etmek için önemlidir.

Tam bağlantı ve flatten katmanı, matris boyutunda olan bilginin yapay sinir ağının anlayabileceği tek boyutlu diziye çevrildiği katmandır. Evrişimli sinir ağlarında evrişim katmanında çıkarılan özellikler tam bağlantı katmanına aktarılır ve bu katmanda çıkarılan özellikleri sınıflandırma ve regresyon gibi sonuçlar üretmek için kullanılır. Bununla birlikte, tam bağlantı katmanlarının sayısı ve boyutu, modelin karmaşıklığına ve eğitim süresine etki edebilir. Çok büyük veya çok derin tam bağlantı katmanlar, aşırı öğrenme riskini arttırabilir bu nedenle modelin genelleme yeteneği düşebilir. Bu sebeple, modelin mimarisini ayarlamak ve uygun katman boyutunu seçmek önemlidir.





Şekil 2.5. Flatten Katmanı

### 2.2.2. Yapay Sinir Ağında Öğrenme Süreci

Yapay sinir ağlarında öğrenme süreci, genellikle geri yayılım algoritması adı verilen bir optimizasyon sürecini içerir. Öğrenme süreci, ağın ağırlıklarını ve bias değerlerini, belirli bir hedefi en iyi şekilde gerçekleştirecek şekilde güncellemeyi amaçlar. Öğrenme süreci genellikle ağın başlangıç ağırlıklarının rastgele seçilmesiyle başlar. Ağırlıklar genellikle random küçük bir sayı aralığından seçilir. Daha sonra ileri yayılım aşamasında eğitim verisi ağa gönderilir ve ardışık katmanlarda hesaplanan çıktılar üretilir. Bu adımda, her bir katmandaki girişler, ağırlıklar ve bias değerleri kullanılarak çıktılar üretilir. İleri yayılım sonucunda elde edilen çıktılar, gerçek değerler ile karşılaştırılarak hata(kayıp) fonksiyonu kullanılarak bir hata hesabı yapılır. Hata, model tahmininin gerçek değerden olan uzaklığını gösterir. Eğer hata oranı yeterli kadar düşük değilse, geri yayılım algoritması kullanılarak oluşan hata ağın içinde geriye doğru yayılır. Geri yayılım adımında, hata fonksiyonununun ağın her bir ağırlık ve bias değerine göre kısmi türevleri hesaplanır. Geri yayılım sonucunda elde edilen türevler ile bir optimizasyon algoritması kullanılarak ağın ağırlıkları ve bias değerleri güncellenir. Bu güncelleme yapılırken kullanılan optimizasyon fonksiyonu genellikle gradyan inişi algoritmasıdır. Bu adımlar, eğitim verisi üzerinde ağın ağırlıklarını ve bias değerlerini güncellemek için dögüsel olarak tekrarlanır. Yeterli hata değeri yakalandığında bu dögü sonlandırılır ve nihai sonuca ulaşılmış olur.

#### 2.2.2.1. Evrişimli Sinir Ağı Mimarileri

Çalışmada VGG16, VGG19, ResNet50, ResNet101, DenseNet121, EfficientNetB0, MobileNetV3 olmak üzere 7 farklı evrişimli sinir ağı mimarisi kullanılmıştır. VGG16 ve VGG19, Oxford Üniversitesi'ndeki Visual Geometry Group tarafından geliştirilmiştir. Derinlik ve basit yapı prensipleri ele alınarak geliştirilen bu mimaride, özellikle küçük 3x3 evrişim filtrelerinin istiflenmesi görülmektedir (Shadeed ve ark., 2020). Giriş katmanı olarak genellikle 224x224 boyutunda RGB görüntüler kullanılır ve bu görüntüler, uy-

gun şekilde yeniden boyutlandırılarak normalize edilir. Evrişim katmanında 3x3 filtreler kullanılarak görüntü üzerinden özellikler çıkarılır. Daha sonra ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılır. Evrişim katmanlarının her bloğunun sonunda 2x2 boyutunda maksimum havuzlama katmanı bulunur. Son evrişim ve havuzlama katmanının ardından düzleştirilmiş bir vektör tamamen bağlantılı katmanlarla beslenir. VGG mimarisinin derin yapısı karmaşık işlemleri kolay bir şekilde yapabilmektedir. Fakat bu derinlik hesaplama maliyeti ve eğitim süresi artışına neden olmaktadır.

ResNet, 2015 yılında Kaiming He ve meslektaşları tarafından önerilmiştir. ResNet, derin ağların daha verimli şekilde eğitilmesini amaçlamaktadır (He ve ark., 2016). ResNet'teki yenilik 'residual block' olarak adlandırılan kalıntı bloklarının kullanılmasıdır. Bu bloklar, her bir katman çıktısı ile girdiyi atlayan bir bağlantı içerdiğinden, derin sinir ağlarının daha kolay ve hızlı eğitilmesini sağlar. Kalıntı blokları, genellikle iki veya daha fazla evrişim katmanının birleşimidir. Bu bloklarda giriş, doğrudan çıkışa eklenmektedir. Dolayısıyla öğrenilecek olan dönüşüm, ağırlıklı katmanlar tarafından sağlanan özelliklere ek girdinin kendisini de içerir. Bu durumda, geriye doğru yayılım esnasında hata sinyallerinin daha iyi taşınmasını sağlar.

DenseNet, 2017 yılında Gao Huang ve ekibi tarafından geliştirilmiştir. Bu mimaride, her katmanın çıktısı, kendisinden sonraki tüm katmanları girdi olarak almasını sağlayarak bilgi akışı ve gradyan yayılımını önemli ölçüde iyileştirir. Mimarinin temel yapı taşı yoğun blok katmanlarıdır. Bir yoğun blok içinde, her katman önceki tüm katmanların çıktısını girdi olarak alır. Yoğun katmanlar arasında geçiş katmanları bulunur. Bu katmanlar ise, özellik haritasının boyutunu azaltmak ve modelin karmaşıklığını kontrol etmek için kullanılır. Geçiş katmanları genellikle 1x1 evrişim katmanı ve ardından 2x2 ortalama havuzlama katmanından oluşur.

EfficientNet, 2019 yılında Google AI tarafından tanıtılmıştır. Bu mimari verimliliği arttırmak için optimize edilen evrişimli sinir ağıdır. Ayrıca model ölçeklendirmesi için yeni bir yöntem sunarak daha yüksek doğruluk elde edip daha az hesaplamanın yapılması amaçlanmaktadır. Mimaride temel olarak üç tür ölçeklendirme yaklaşımını birleştirir. Genişlik ölçeklendirmesiyle, ağı daha fazla kanal ekleyerek her katmandaki filtrelerin sayısını, derin ölçeklendirme ile ağı derinliğini ve çözünürlük ölçeklendirmesiyle de giriş görüntüsünün çözünürlüğünü arttırarak daha ayrıntılı bilgi elde edilmesini sağlar (Tan ve Le, 2019).

MobileNet, Google tarafından 2017 yılında tanıtılmıştır. Özellikle mobil ve gömülü cihazlarda kullanılmak üzere optimize edilmiş bir ağıdır ve düşük geçikme süresi ve düşük hesaplama maliyetiyle yüksek performans sunmayı hedeflemektedir. MobileNet, derin noktadan noktaya evrişim adı verilen teknikle hesaplama maliyetini ve model parametrelerini azaltır (Howard, 2017). MobileNet mimarisi temel olarak iki bileşenden oluşan derin noktadan

noktaya evrişim kullanır. Derinlemesine evrişim ile her bir giriş kanalı için ayrı ayrı evrişim kullanılırken, noktasal evrişim ile 1x1 evrişim kullanılarak derinlik boyutunda kanal birleştirme gerçekleştirilir.

### 3. BULGULAR

Bu çalışmada, kullanılan veri seti Kahramanmaraş'ta bulunan fotovoltaik panellerden ve veri bilimi platformu olan Kaggle üzerinden elde edilmiştir. Veri setinde temiz, kuş pisliği, toz, fiziksel hasar, elektriksel hasar ve kar içeren 885 tane görsel bulunmaktadır. Bunların 708 tanesi eğitim için kalan 177 tanesi ise test için kullanılmıştır. Farklı yapay sinir ağı modelleri kullanılarak en iyi doğruluk değerini veren modeli tespit etmek amaçlanmıştır. Bu amaçla, VGG16, VGG19, ResNet50, ResNet101, DenseNet121, EfficientNetB0 ve MobileNet olmak üzere 7 farklı evrişimsel sinir ağı mimarisi kullanılmıştır. Çalışma Google Colab üzerinde gerçekleştirilerek, kodlamalar için Python dili ile Keras kütüphaneleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriye ait görüntüler 224x224 boyutuna indirildi ve Mini Batch boyutu 32 olarak alındı. Kullanılan ağlar, 'ImageNet' görüntüleri üzerinde eğitilen evrişimsel sinir ağlarıdır. Öğrenme aktarımı kullanılarak eğitim süreci gerçekleştirilmiştir. Eğitim sürecinde çıkış katmanında sınıflandırıcı olarak Softmax fonksiyonu, optimizasyon olarak Adam Optimizasyon, loss fonksiyonu olarak ise seyrek kategorik çapraz entropi kullanılmıştır. Eğitim süreci her CNN için 10 çağ boyunca sürdürülmüş olup, kullanılan ağ mimarilerinin performansları doğruluk metriği kullanılarak değerlendirilmiştir. Kullanılan her bir evrişimli sinir ağı mimarisi için bulunan değerler, eğitim ve test sürecindeki kayıp değerinin değişimi ve kullanılan tüm mimariler için özet bir tablo aşağıdaki belirtilmiştir. Aşırı öğrenmeyi engellemek için de erken durdurma yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3.1'de veri setindeki örnek görüntüler gösterilmiştir.



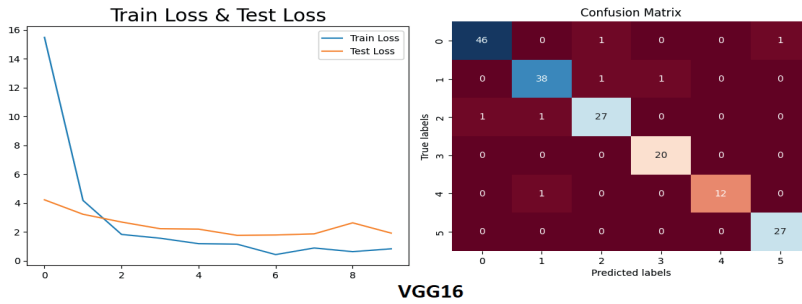
Şekil 3.1. Veri Setindeki Örnek Görüntüler

Kullanılan tüm CNN mimarilerini birbirleriyle karşılaştırma için CNN mimarilerinden elde edilen doğruluk değerleri, kayıp değerleri, eğitim süreleri ve parametre sayıları tablo 3.1'de verilmiştir.

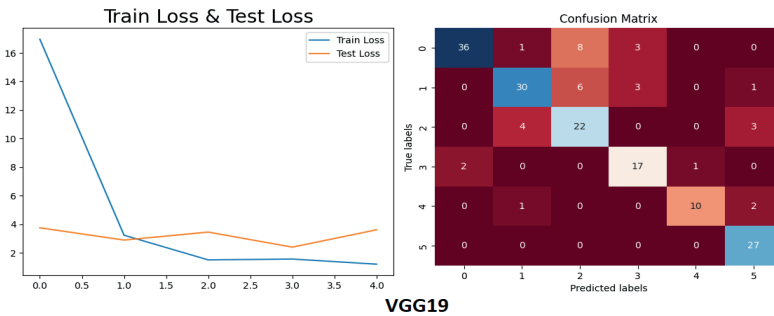
**Tablo 3.1.** Kullanılan CNN Mimarilerinin Karşılaştırılması

Model	Loss	Doğruluk	Eğitim Süresi	Parametre Sayısı
VGG16	1.8570	0.96045	1800 saniye	14714688
VGG19	3.7546	0.80226	1201 saniye	20024384
ResNet50	1.1732	0.93220	543 saniye	23587712
ResNet101	0.8580	0.94350	1236 saniye	42658176
DenseNet121	1.3106	0.92090	571 saniye	7037504
EfficientNetB0	0.5561	0.94915	340 saniye	4049571
MobileNetV3	0.1989	0.94350	81 saniye	939120

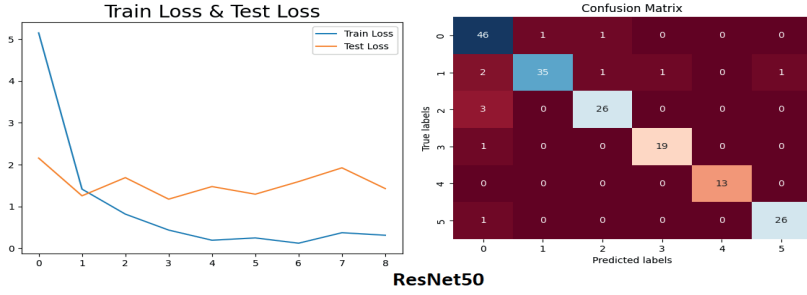
Tablo 4.12deki sonuçlara göre en yüksek doğruluk değerini 0.96045 ile VGG16 mimarisi verirken, en düşük doğruluk değerini ise 0.80226 ile VGG19 mimarisi vermiştir. CNN Mimarilerinin yanısıra, model performanslarının değerlendirilmesi için karışıklık matrislerinden (confusion matrix) ele alınmıştır. Karışıklık matrislerine ait sonuçlar Şekil 3.2-8'e verilmiştir.



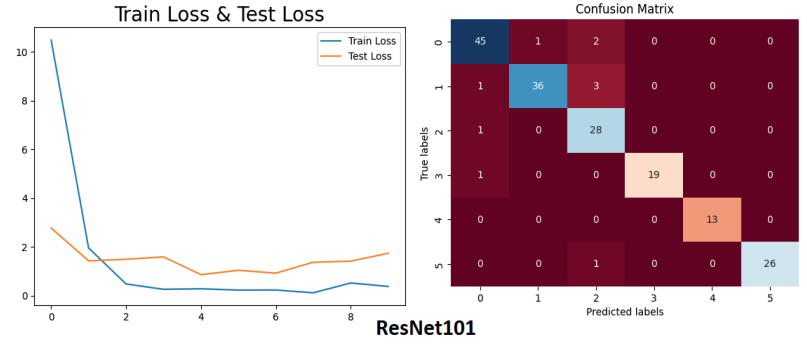
**Şekil 3.2.** VGG16 Mimarisinin Sonuçları



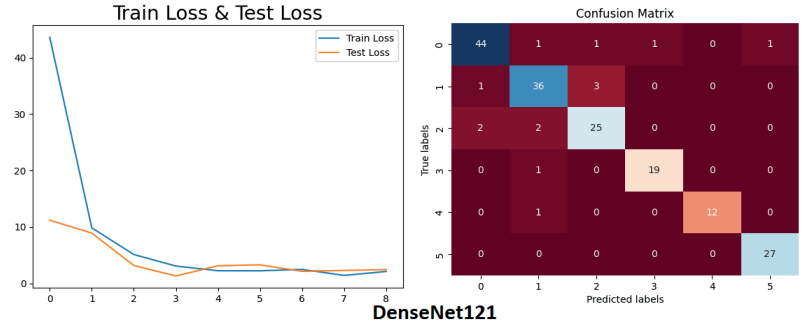
**Şekil 3.3.** VGG19 Mimarisinin Sonuçları



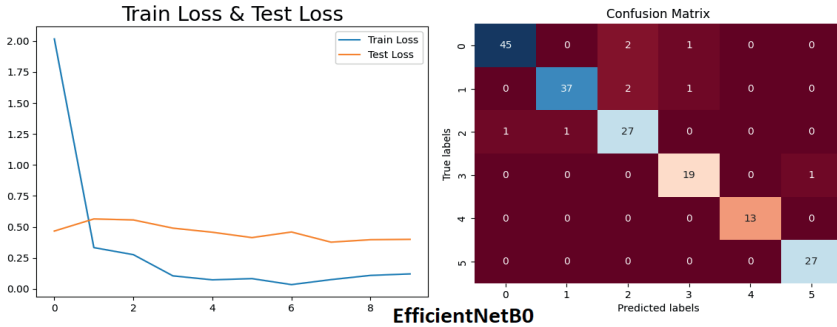
Şekil 3.4. ResNet50 Mimarisinin Sonuçları



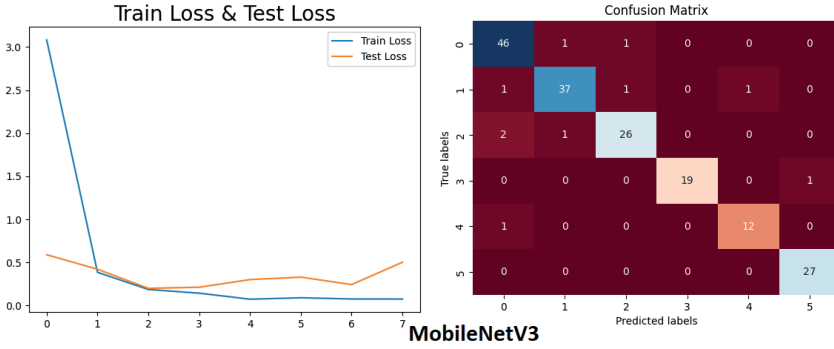
Şekil 3.5. ResNet101 Mimarisinin Sonuçları



Şekil 3.6. DenseNet121 Mimarisinin Sonuçları



Şekil 3.7. EfficientNetBo Mimarisinin Sonuçları



Şekil 3.8. MobileNetV3 Mimarisinin Sonuçları

Şekillerdeki karışıklık matrisindeki 0 ifadesi karlı yüzeyi panelini, 1 ifadesi tozlu yüzey panelini, 2 ifadesi elektriksel hasarlı yüzey panelini, 3 ifadesi temiz yüzey panelini, 4 ifadesi kuş pisliği içeren yüzey panelini, 5 ifadesi ise fiziksel hasar içeren yüzey panelini göstermektedir.

VGG16, VGG19, ResNet50, ResNet101, DenseNet121, EfficientNetB0 ve MobileNetV3 CNN mimarileri kullanılan veri seti üzerinde sırası ile %96.045, %80.226, %93.220, %94.350, %92.090, %94.915, %94.350 sınıflandırma doğruluğu elde etmişlerdir. Bununla birlikte, VGG16, DenseNet ve CNN mimarilerinin en çok tozlu yüzey panel türünü yanlış sınıflandırdığı, VGG19, ResNet101 ve EfficientNet mimarilerinin en çok elektriksel hasar içeren yüzey türünü yanlış sınıflandırdığı, ResNet50 ve MobileNet mimarilerinin ise en çok karlı yüzey türünü yanlış sınıflandırdığı gözlemlenmiştir.

VGG16, ResNet50, ResNet101, EfficientNet ve DenseNet CNN mimarileri kuş pisliği yüzeyleri içeren panellere ait görüntülerin tamamını doğru sınıflandırdığı gözlemlenmiştir. Resnet101 mimarisi ayrıca temiz yüzey panellerini ve fiziksel hasar içeren panellerin görüntülerinin tamamını doğru sınıflandırmıştır. MobileNet mimarisi ise sadece temiz yüzey panel görüntülerinin hepsini doğru sınıflandırırken, VGG19 mimarisi hiç bir görüntüyü tam olarak doğru sınıflandıramamıştır. Kuş pisliği yüzeyleri içeren panellere ait görüntülerin tamamı, kullanılan ağların çoğunda doğru sınıflandırılması, böyle panellerin diğer panellere göre daha fazla ayırt edici özelliklerinin bulunmasından kaynaklanmaktadır.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, fotovoltaik panel yüzeylerindeki biriken maddelerin ve oluşabilecek hasarların derin öğrenme teknikleri kullanılarak tespit edilmesi üzerine odaklanılmıştır. Yüzeydeki biriken maddelerin ve hasarların tespiti, fotovoltaik enerji sistemlerinin verimliliğini arttırmak ve bakım maliyetlerini düşürmek açısından büyük önem taşımaktadır. Gelişmiş görüntü işleme yöntemleri ve derin öğrenme algoritmalarının bir araya getiril-

mesi, bu tür sistemlerin daha hassas ve doğru bir şekilde izlenmesine olanak tanımaktadır.

Çalışma kapsamında, fotovoltaik enerji panellerinden elde edilen görüntü verileri ile Kaggle üzerinden elde edilen veriler kullanılarak yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti üzerinde farklı derin öğrenme modelleri eğitilmiştir. Özellikle, evrimsel sinir ağı gibi güçlü görüntü işleme yeteneklerine sahip derin öğrenme mimarileri tercih edilmiştir. Eğitim sürecinde erken durdurma yöntemi ile aşırı öğrenme problemi minimize edilmiştir.

Yapılan çalışmalar, derin öğrenme modellerinin fotovoltaik panel yüzeylerindeki maddelerin ve hasarların tespitini yüksek doğruluk oranları ile tespit edilebildiğini ve bunun verimliliğe ne kadar etkisi olduğunu başarılı bir şekilde göstermektedir. Özellikle temiz yüzeylerin ve kuş pisliği içeren yüzeylerin başarılı bir şekilde sınıflandırıldığı gözlemlenmiştir. Verimlilik, karlı yüzeyli panellerde %75-80, tozlu yüzeylerde %85-90, elektriksel ve fiziksel hasarlı yüzeylerde %50-60, kuş pisliği içeren yüzeylerde ise %80-85 arasında değişmektedir. Ayrıca, eğitim ve test sürelerinin optimize edilmesi, gerçek zamanlı tespit uygulamaları için derin öğrenme modellerinin uygunluğunu kanıtlamıştır.

Bu çalışmanın sonuçları, fotovoltaik enerji sektörü için önemli katkılar sunmaktadır. Derin öğrenme tabanlı tespitlerinin uygulanması, fotovoltaik enerji santrallerinin operasyonel verimliliğini artıracak, bakım ve onarım süreçlerini daha verimli hale getirecek ve genel enerji üretim maliyetini düşürecektir. Gelecekteki çalışmalar, daha büyük ve çeşitlendirilmiş veri setleri kullanarak model doğruluğunu ve genelleme yeteneğini daha da arttırmayı hedefleyebilir. Ayrıca, farklı derin öğrenme mimarileri ve hibrit yaklaşımlar, modellerin performansını daha da iyileştirebilir.

Sonuç olarak bu çalışma, derin öğrenme tekniklerinin fotovoltaik yüzeylerinde bireken maddeleri ve hasarları tespiti konusundaki etkinliğini koyarak bunun enerji verimliliğine ne kadar etkisi olduğunu kanıtlamıştır ve bu alanda gelecekte yapılacak araştırmalar için sağlam temel oluşturmuştur. Fotovoltaik enerjinin sürdürülebilir ve verimli bir şekilde kullanılması adına, bu tür teknolojik ilerlemeler büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKÇA

- Akarşlan, E., & Hocaoglu, F. O. (2018, March). Electricity demand forecasting of a micro grid using ANN. In *2018 9th International Renewable Energy Congress (IREC)* (pp. 1-5). IEEE.
- Atakan, Y., (2020). Güneş ışığını elektriğe çevirmeyi kimler, nasıl akıl edip başardılar?, HBT, 205.
- Berghout, T, Benbouzid, M., Ma, X., Djurović, S., Mouss, L. H. (2021). Machine Learning for Photovoltaic Systems Condition Monitoring: A Review, IECON 2021 – 47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 1-5, <https://doi.org/10.1109/IECON48115.2021.9589423>.
- Deniz, E., (2013). Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar. III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri. 21-24.
- Doğan, M., (2019). Güneş Enerjisi Santrallerinin İncelenmesi ve Verimlilik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- He, K., Zhang, X., Ren, S. and Sun, J. “Deep residual learning for image recognition,” Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., vol. 2016-December, pp. 770–778, 2016, doi: 10.1109/CVPR.2016.90.
- Howard, A. G. et al., “MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications,” 2017
- İnik Ö. and Ülker E. (2017). Deep Learning and Deep Learning Models Used in Image Analysis, Journal, Vol. 6 No. 3, pp. 85–104.
- Kılıç F.Ç., “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri”, Mühendis ve Makina, c. 56, sy 671, ss. 28-40, Eki. 2015.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Hinton, G.E. (2017). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks, Commun. ACM, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Vol. 60 No. 6, pp. 84–90.
- Kwak, N. (2016). Introduction to Convolutional Neural Networks, Introduction to Convolutional Neural Networks.
- Metlek, S. and Kayaalp, K. (2021). Detection of bee diseases with a hybrid deep learning method, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol. 36 No. 3, pp. 1715–1731.
- Piliougine, M., Carretero, J., Sidrach-de-Cardona, M., Montiel, D., & Sánchez-Friera, P. (2008, September). Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses. In *Proceedings of 23rd european solar energy conference* (Vol. 2008, p. 2698e2700).
- Saberian, A., Hizam, H., Radzi, M. A. M., Ab Kadir, M. Z. A., & Mirzaei, M. (2014). Modelling and prediction of photovoltaic power output using artificial neural



- networks. *International journal of Photoenergy*, 2014(1), 469701.
- Sağaltıcı, D., Alay, F. D., Efil, C., & İlhan, N. (2018). Veri Madenciliği Yöntemleri İle Meteorolojik Verilerden Kayıp Güneş Işınım Değerlerinin Tahmini. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(2), 49-53.
- Satti, P., Sharma, N. and Garg, B. (2020). Min-max average pooling based filter for impulse noise removal, *IEEE Signal Processing Letters*, IEEE, Vol. 27, pp. 1475–1479.
- Shadeed, G. A., Tawfeeq, M. A. and Mahmoud, S. M., “Automatic medical images segmentation based on deep learning networks,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 870, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/870/1/012117.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Güneş - Enerji İşleri Genel Müdürlüğü”, Güneş, 2022. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerjikaynaklar-gunes>
- Tan, M. and Le, Q. V. “EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks,” 36th Int. Conf. Mach. Learn. ICML 2019, vol. 2019-June, pp. 10691–10700, 2019.
- Tang, W., Yang, Q., Xiong, K., Yan, W. (2020). Deep learning based automatic defect identification of photovoltaic module using electroluminescence images, *Solar Energy*, 201, 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.049>
- U.S. Department of Energy, “The History of Solar”, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2020.
- Zeiler, M. D. and R. Fergus (2014). “Visualizing and Understanding Convolutional Networks.” *Computer Vision - Eccv 2014*, Pt I 8689: 818-833.
- Zhu, W., Deng, Y., Wang, Y., Shen, S., & Gulfam, R. (2016). High-performance photovoltaic-thermoelectric hybrid power generation system with optimized thermal management. *Energy*, 100, 91-101.
- Ziane, A., Necaibia, A., Sahouane, N., Dabou, R., Mostefaoui, M., Bouraiou, A., ... & Blal, M. (2021). Photovoltaic output power performance assessment and forecasting: Impact of meteorological variables. *Solar energy*, 220, 745-757.





## *Bölüm 6*

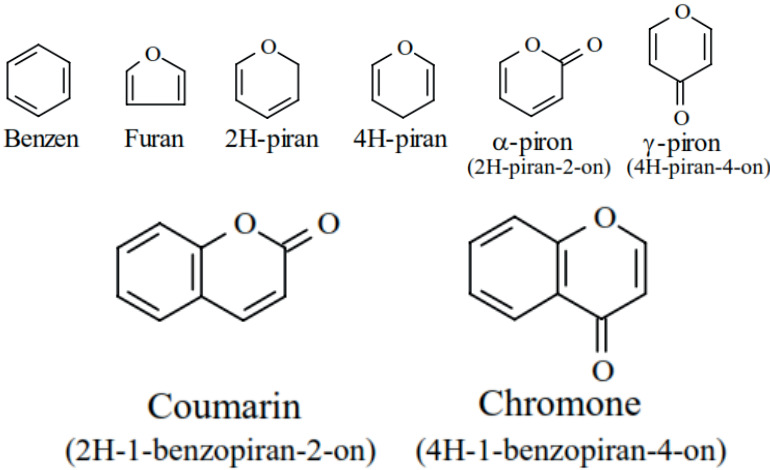
### **KUMARİNLER VE SENTEZ YÖNTEMLERİ**

*Esra Kılavuz*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Esra Kılavuz <https://orcid.org/0000-0001-9324-5346>

Bu kitap bölümü 7-OKSİ-3-(4-NİTROFENİL)-2H-KROMEN-2-ON SÜBSTİTÜE FTALOSİYANİN BİLEŞİKLERİNİN SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Piron halkasının benzen halkası ile kondenzasyonu sonucunda oluşan benzopiranlar, heterosiklik bileşikler sınıfına ait iki temel gruba ayrılır (Fausto, Quinteiro ve Breda, 2001, ss. 289). Şekil 1.1'de görüldüğü gibi ilk grup benzo- $\alpha$ -piron bileşikler, yani 2H-1-benzopiran-2-on olarak da bilinen kumarinlerdir. İkinci grup ise benzo- $\gamma$ -piron bileşikler, yani 4H-1-benzopiran-4-on olarak tanımlanan kromonlardır (Zhou, Jia, Gao, Han, Li, Sheng, 2010, s. 125). Bu iki grup arasındaki temel fark, benzopiran halkasındaki karbonil grubunun konumundan kaynaklanır. Kumarinlerde karbonil grubu  $\alpha$ -pozisyonda yer alırken, kromonlarda bu grup  $\gamma$ -pozisyonadadır (Fausto, Quinteiro ve Breda, 2001, s. 289; Zhou ve vd., 2010, s. 125; Maggi ve Barboni, 2011, s. 1216). Her iki bileşik türü de organik kimyada önemli yere sahip olup, çeşitli biyolojik aktivitelere ve endüstriyel uygulamalara katkıda bulunurlar. (Maggi ve Barboni, 2011, s. 1217; Parvez, Meshram, 2010, s. 4374).



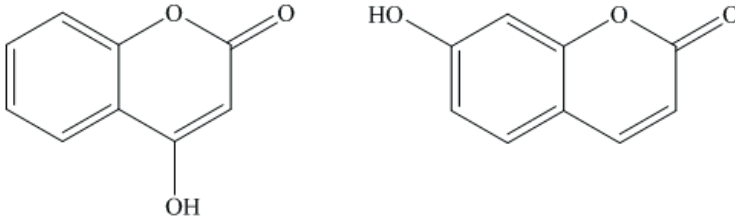
Şekil 1.1. Kumarin ve kromon bileşiklerinin temel yapı birimleri

Kumarin, 1820 yılında Vogel tarafından tonka baklası olarak bilinen ve Güney Amerika'da yetişen *Dipteryx odorata* (*coumarouna odorata*) ağacının tohumlarından izole edilen aromatik bir organik bileşiktir. Bu bileşik, ilk kez bu bitkiden izole edildiği için bitkinin cins ismine atıfla "coumarin" adı verilmiştir. Literatürde "coumarin" olarak geçen bu bileşik, Türkçe kaynaklarda "kumarin" olarak adlandırılmakta ve bu ad yaygın olarak kullanılmaktadır. (Kennedy, Thornes, 1997, s. 16; Başaran, 2007, s. 1).

Kumarinler, çeşitli bitki ailelerinde ve uçucu yağlarda doğal olarak bulunan ikincil metabolitlerdir. Kozmetik ve gıda ürünlerinde koku verici olarak kullanılırlar.  $\alpha$ -piron halkasının benzen halkasıyla birleşmesiyle oluşan doğal fenolik bileşik sınıfının temel bileşiğidir. Taze bitkilerin kofullarında, enzima-

tik hidroliz yoluyla 6-kumarinik asit glikozidleri şeklinde üretilirler (Kennedy, Thornes, 1997, s. 16; Bağdır, 2006, s. 17). Bu bileşik, vanilya kokusuna benzer tatlı bir koku ve acı bir tada sahiptir ve birçok bitkide doğal olarak bulunur. Kumarin, kozmetik ve gıda ürünlerinde koku verici olarak kullanılmasının yanı sıra, yırtıcı hayvanlara karşı kimyasal bir savunma görevi görebilir ve K vitamini sentezini inhibe ederek kan pıhtılaşmasını engelleyen warfarin gibi ilaçların yapımında kullanılır. Kumarin ve türevleri, çeşitli biyolojik aktivitelere sahip olup, anti bakteriyel, anti HIV, anti karsinojen, antikoagulan gibi özellikler gösterirler (Kostava, MAnolov, Momekov, Konstantinov, Karaivanova., 2005, s. 1249; Xue ve An, 2012, s. 92). Ayrıca, kumarin türevleri olan eskületin ve fraksetin gibi bileşikler, bazı bitkilerin çiçeklerinde serbest veya glikozidleri halinde bulunur ve bu bileşiklerin antioksidan özellikleri de bilinmektedir.

Kumarin bileşiğinin kimyasal yapısı, Strecker (1867) ve Fitting (1870) tarafından ortaya konulmuştur (Yang, Kinoshita, Tanida, Sayama, Morita, Watanabe, 2009, s. 291). Günümüzde tonka baklası haricinde, yaklaşık 600 farklı bitki türünden kumarin türevleri elde edilmiştir (Hamdi, Bouabdallah, Romero, Benhassen, 2010, s. 1263). Örneğin, bazı bitkilerin çiçeklerinde serbest veya glikozid formunda bulunan doğal bileşikler arasında eskületin (6,7-dihidroksikumarin) ve fraksetin (7,8-dihidroksi-6-metoksikumarin) yer alır. Ayrıca, Şekil 1.2'de görüldüğü gibi piron halkası üzerinde fenil grubu içeren 3 ve/veya 4-fenil kumarin türevlerinin de bitkilerde sentezlendiği ve bu bileşiklerin antioksidan özellikler taşıdığı bilinmektedir (Hamdi ve vd., 2010, s. 1263; Yu ve vd., 2010, s. 43).



**Şekil 1.2.** 4-Hidroksi kumarin ve 7-hidroksi kumarin bileşiklerinin kimyasal yapısı

1954 yılına kadar gıda tatlandırıcıları arasında yer alan sentetik kumarinler, hepatotoksisite (karaciğer zehirlenmesi) riski nedeniyle yasaklanmıştır. Avrupada, gıda ürünlerindeki kumarin seviyesi için belirlenen maksimum miktar 5-50 mg/kg arasında değişmektedir. Ayrıca, kumarinin kabul edilebilir günlük alım dozu (TDI), kişinin vücut ağırlığına göre günde 0,1 mg/kg olarak saptanmıştır (Yu ve vd., 2010, s. 44; Bilgin ve Atmaca, 2011, s. 327). Kumarin bileşikleri, yabancı melisa türlerinde de bulunmuştur (Fausto, Quinteiro ve Breda, 2001, s. 290; Kostava, ve vd., 2005, s. 1250). Ormanlık alanlarda yetişen bu geniş yapraklı çok yıllık bitki, İtalya'da iki farklı alt tür olarak karşımıza

çıkar: *Melissophyllum L.*, ağırlıklı olarak kuzeybatı ve merkezi İtalya'da; P.W. Ball tarafından tanımlanan (Guss) P.W. Ball ise güney İtalya ve adalarda bulunur (Bilgin ve Atmaca, 2011, s. 327; Çakıcı, Esenpınar, Bulut, 2008, s. 3627). İtalya'nın merkezinde "Erpa Lupa", "Erba Limona" veya "Cedrina" gibi yerel isimlerle anılan bu bitki, geleneksel olarak uykusuzluk ve göz iltihabına karşı antispazmodik etkileri nedeniyle kullanılmaktadır. Yerli halk tarafından hâlâ boğaz ağrısı, sindirim sorunları ve öksürük tedavisinde tercih edilmektedir. Sırbistan'da ise, sinirsel anksiyete (uykusuzluk) tedavisinde sakinleştirici olarak kullanıldığı bilinmektedir (Parvez, Meshram, 2010, s.4371).

### **Kumarinlerin Kullanım Alanları**

Kumarinler ve türevleri hem doğal hem de doğala özdeş ilaçlarda bulunan ve geniş bir biyolojik etki yelpazesi sunan organik heterohalkalı bileşiklerin kritik bir sınıfını oluşturur (Topal, Demirel, Toğrul, Turgut ve Hoşgören, 2001, s. 285).

Bu bileşiklerin, görünür ışık spektrumunda etkileyici floresans özellikleri, yüksek stok kaymaları, üstün fotoluminesans kuantum verimliliği ve mükemmel çözünürlükleri sayesinde, geniş kapsamlı bilimsel çalışmalara ilham kaynağı oldukları ve değerli ticari organik materyaller olarak kullanıldıkları bilinmektedir (Yu ve vd., 2010, s. 44; Bilgin ve Atmaca, 2011, s. 327 Çakıcı ve vd.2008, s. 3627).

Doğal olarak bulunan ve laboratuvar ortamında sentezlenen kumarin bileşikleri, kimya, biyoloji, tıp ve fizik gibi çeşitli bilim dallarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle biyoloji ve tıp alanlarında, kumarinlerin anti-inflamatuar, antiviral, anti-HIV, antifungal, sitotoksik, antibakteriyel, antikoagulan, antikanser, anthelmintik, antiproliferatif ve antioksidan gibi çok sayıda terapötik özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Bu özellikler, kumarinlerin sağlık bilimlerinde önemli bir yere sahip olmasını sağlamaktadır (Bilgin ve Atmaca, 2011, s. 328).

Kumarinler, tarımda böcek ilaçlarının aktif bileşeni olarak kullanılmakla birlikte, gıda ve kozmetik sektörlerinde de katkı maddesi olarak yer almaktadır. Fizik alanında ise, kumarinlerin kullanımı daha da çeşitlenmektedir; optik parlaticılar, lazer dye'ları (boyaları), lineer olmayan optik kromoforlar, floresan beyazlatıcılar ve floresan araştırmalarında önemli bir rol oynamaktadırlar. Ayrıca, OLED teknolojisi, polimer bilimi, optik kayıt sistemleri ve güneş enerjisi kolektörleri gibi alanlarda da kumarin bazlı bileşikler etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu geniş kullanım yelpazesi, kumarinlerin çok yönlü ve değerli kimyasal bileşikler olduğunu göstermektedir (Basanagouda, Shivashanlar, Kulkarni, Rasal ve Patel, 2010, s. 1151; Bilgin, Atmaca, Özekinci, Taşdemir ve Ketani, 2011, s.325).

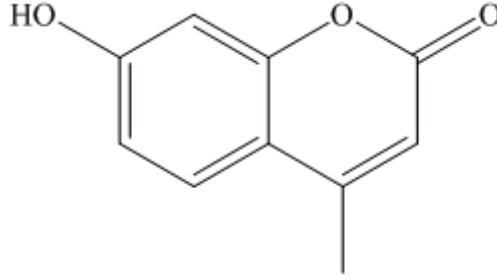
Bazı kumarin bileşikleri ve bunların türevleri, araşidonik asit metabolizmasında lipooksigenaz (LOX) ve siklooksigenaz (COX) enzimleri için kullanım alanı bulmaktadır. Bu bileşiklerin, Reaktif Oksijen Türleri'nin (ROS) ortadan kaldırılmasında ve serbest radikal hasarına karşı süreçlerde etkili olduğu da bilinen bir gerçektir. Özellikle, bu tür bileşiklerin antioksidan özellikleri sayesinde, oksidatif strese ilişkili hasarların önlenmesinde potansiyel bir rol oynayabileceği düşünülmektedir (Sethna, Shah, 1944, s.5; Hamdi ve vd., 2010, s.1262).

Kumarin boya ları, özellikle 3 pozisyonunda elektron verici gruplar içeren 3-sübstitüe-7-N,N-dietilkumarin türleri, etkileyici floresan özelliklere sahiptir (Şekil 1.3). Bu yapısal özellik, boya ların floresan verimliliğini artırır ve bilimsel literatürde (Basanagouda ve vd., 2010, s. 1152; Sethna ve vd., 1944, s. 12) belirtildiği üzere, çeşitli uygulamalarda kullanımlarını genişletir. Bu boya lar, biyolojik işaretleyicilerden güvenlik işaretlemelerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır ve araştırmacılar için değerli araçlardır.



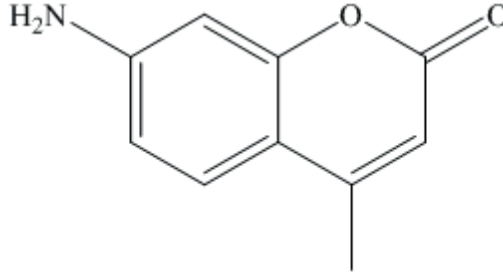
**Şekil 1.3.** 3-Sübstitüe-7-N,N-dietilaminkumarin kimyasal yapısı

7-Hidroksi-4-metil kumarin bileşikleri (Şekilde 1.4), floresan parlaticılar ve etkili lazer boya ları olarak kullanımının yanı sıra, enzimatik aktivitenin florometrik ölçümünde standart bir referans olarak da önem taşımaktadır. Ayrıca, insektisitlerin ve furanokumarin türevlerinin sentezinde temel birer reaktan olarak tercih edilmektedirler. Bu çok yönlü bileşikler hem endüstriyel hem de araştırma alanlarında geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır (Çamur, 2005).



**Şekil 1.4.** 7-Hidroksi-4-metil kumarinin kimyasal yapısı

7-amino-4-metil kumarinler (Şekil 1.5), hem lazer boyları hem de biyoaktif bileşiklerin sentezinde kullanılan önemli ara ürünlerdir. Bu bileşikler, özellikle (Bilgin ve vd., 2011, s. 327) numaralı kaynakta belirtildiği üzere, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptirler.



**Şekil 1.5.** 7-Amino-4-metil kumarinin kimyasal yapısı

Kumarinler, buruk ve acı bir tada sahip, hoş kokulu bileşiklerdir ve vanilin veya vanilya ile karıştırıldığında dengeli bir lezzet profili oluştururlar. Tonka fasulyesi kaynaklı bu bileşikler, yapay vanilya aromasının geliştirilmesinde katkı maddesi olarak kullanılır. Hem parfümeride aroma katkısı olarak hem de gıda sektöründe tatlandırıcı ve lezzet artırıcı olarak çeşitli sentetik ve doğal kumarin türleri tercih edilir. Bazı gazlı içeceklerde ve vanilya-tereyağı aroması vermek amacıyla çeşitli unlu mamullerde kumarin kullanımı yaygındır. Ayrıca, kötü kokuları giderme özelliği sayesinde tuvalet temizleyicilerinde ve kauçuk, plastik, boya gibi malzemelerdeki istenmeyen kokuları nötralize etme özelliği nedeniyle bu sektörlerde de kullanılır. Kumarinler, lavanta ve leylak gibi bitkilerin sentetik parfüm etkilerini taklit edebildiğinden, sabun formülasyonlarında da sıklıkla yer alır (Parvez ve vd., 2010, s. 4371).

### **Kumarinlerin Sentez Yöntemleri**

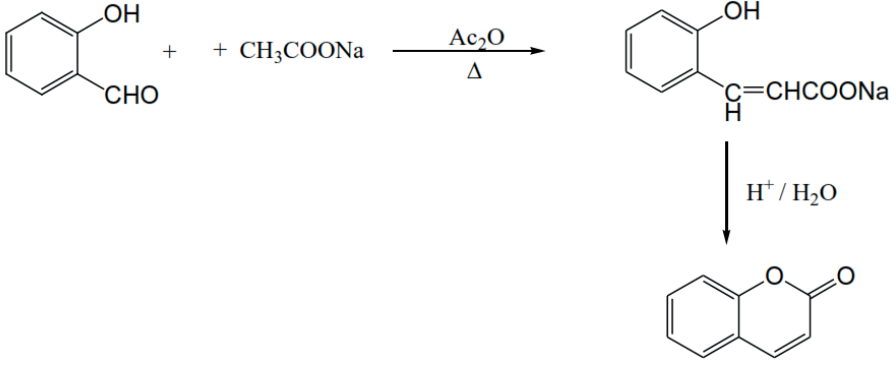
Kumarinlerin doğada bulunması ve biyolojik aktiviteleri, çeşitli sentez yöntemlerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Kumarin sentezinin tarihçesi,



19. yüzyılın ortalarında William Perkin tarafından keşfedilen ve onun adıyla anılan ünlü sentez yöntemiyle başlar. Perkin'in bu önemli buluşundan 15 yıl sonra, von Pechmann kumarin sentezi için alternatif bir metod geliştirmiştir. Bu yöntemler, organik kimya alanında önemli ilerlemelere yol açmıştır (Sethna vd., 1944, s. 17).

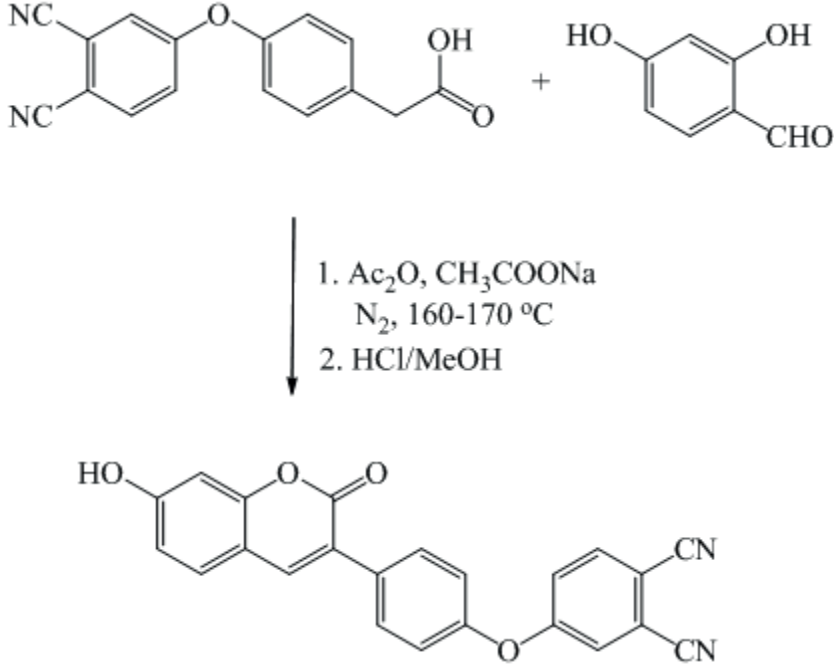
### Perkin Reaksiyonu

Bu klasik yöntem, pek çok organik kimya ders kitabında yer almaktadır. 1868 yılında Perkin, asetik anhidrit ve susuz sodyum asetat kullanarak salisilaldehitin ısıtılmasıyla kumarin sentezini ilk kez başarıyla gerçekleştirdi. Bu önemli buluş, organik kimya alanında yeni bir dönemin başlangıcı olarak kabul edilir ve bu yöntem, organik bileşiklerin sentezlenmesinde halen kullanılmaktadır. Şekil 1.6'da Perkin Reaksiyonunun temel adımları gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Perkin Reaksiyonu ile kumarin eldesi

Kumarin, Perkin reaksiyonu kullanılarak sentezlenebilir. Bu işlem, benzaldehyt ve fenil asetik asit türevlerinin asetik anhidrit ve sodyum asetatın bulunduğu bir ortamda, inert koşullar altında 160-170 derece Celsius sıcaklıkta karıştırılması ve ısıtılmasıyla gerçekleştirilir. Şekil 1.7'de gösterilen bu yöntem, organik kimya alanında önemli bir reaksiyon olup, çeşitli kimyasal bileşiklerin üretiminde kullanılmaktadır (Eicher, Hauptmann, 2003, 234).



**Şekil 1.7.** Perkin Reaksiyonu ile 3-sübstitüe-7-hidroksi kumarin eldesi

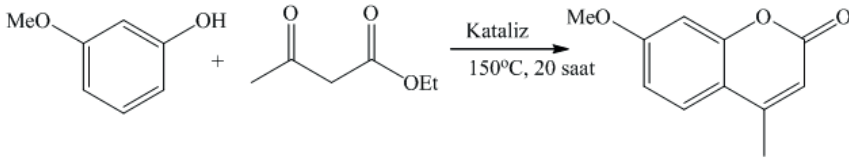
Perkin reaksiyonu, kumarin sentezi için kullanılan ilk yöntemlerden biri olmasına rağmen, düşük verimliliği, yüksek işlem sıcaklıkları ve uzun reaksiyon süreleri nedeniyle tercih edilme sıklığı azalmıştır (Çamur,2005). Ancak, son yapılan araştırmalarda iyot katalizörü kullanımının, bu reaksiyonun verimini önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, Perkin reaksiyonunun potansiyelini artırarak, kumarin sentezindeki uygulanabilirliğini iyileştirmiştir (Esenpınar, 2005).

### Pechmann Kumarin Sentez Reaksiyonu

1883 yılında, Pechmann,  $\beta$ -keto esterler ve fenol türevlerinin kondenzasyonu yoluyla kumarin sentezini ilk kez gerçekleştirdi. Reaksiyon koşullarındaki değişiklikler, kumarin üretiminin yanı sıra kromonların da sentezlenmesine olanak tanımaktadır. Geleneksel Pechmann reaksiyonu, yoğun sülfürik asit, fosfor pentaoksit, trifloroasetik asit veya alüminyum klorür gibi maddelerin varlığında yürütülür<sup>23</sup>. Ayrıca, iyonik sıvılar, kil ve mikrodalgı ışınları kullanılarak gerçekleştirilen birçok farklı sentez yöntemi bulunmaktadır. Pechmann reaksiyonu, çeşitli sübstitüe fenoller ve  $\beta$ -keto esterler kullanarak farklı sübstitüe kumarinlerin elde edilmesine imkan veren çok yönlü bir yöntemdir (Manhas, Ganguly, Mukherjee, Jain, Bose, 2006, s.2423).

Kumarin bileşikleri, asit katalizli Pechmann reaksiyonu kullanılarak sentezlenebilir. Bu yöntem, özellikle elektron verici grupları meta pozisyonunda bulunan aktif m-süstitüe fenoller ve  $\beta$ -ketoesterler veya doymamış karboksilik asitler kullanılarak gerçekleştirilir. Literatürde belirtildiği üzere (Manhas ve vd., 2006, s. 2423), bu yöntem, 4-süstitüe kumarin bileşiklerinin üretimi için yaygın olarak tercih edilen bir tekniktir (Selvakumar, Chidambaram, Singh ve vd. 2007, s.778).

Sentez işlemi, fenolik bir yapıya sahip olan 3-metoksi fenol ile etil asetoasetatın, aktif bir katalizör varlığında ve inert bir atmosferde 20 saat süresince 150 °C sıcaklıkta karıştırılması sonucunda gerçekleştirilmiş ve bu reaksiyon ile 4-metil-7-metoksi kumarin elde edilmiştir. Bu metodoloji, Esenpınar, (2005) tarafından Şekil 1.8'de gösterildiği gibi özetlenmiştir.



**Şekil 1.8.** Pechmann reaksiyonuyla 4-metil-7-metoksi kumarin eldesi

Reaksiyon verimliliğini artırmak amacıyla kullanılan asit, aşındırıcı nitelikte olup, gereğinden fazla miktarda kullanılmaktadır. Bu durum, reaksiyon sürecinin uzamasına ve istenmeyen yan ürünlerin meydana gelmesine yol açmaktadır. Bu faktörler, Pechmann kumarin sentezi yönteminin dezavantajları olarak bilinmektedir. Ancak, yakın dönemde yapılan araştırmalar, mikrodalgalar ışınlama, iyonik çözücülerin kullanımı ve ultrason destekli sentez yöntemlerinin bu dezavantajları minimuma indirdiğini göstermiştir (Esenpınar, 2005; Watson, Christiansen, 1998, s. 6087).

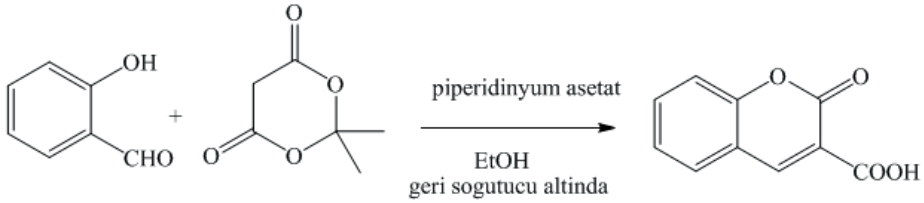
### **Knoevenagel Kondenzasyonu ve Micheal Reaksiyonu ile Kumarin Sentezi**

Perkin sentezi ile üretilemeyen kumarin türevlerinin sentezi için kullanılan alternatif bir yöntem, 3-(p-Aminofenil) kumarin bileşiğinin, salisilaldehit ve p-nitrofenilasetonitril in NaOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub> varlığında reaksiyona sokularak imino-kumarin ara ürünü elde edilmesi ve bu ara ürünün hidroliz ve katalitik indirgeme işlemleri sonucunda 3-(p-nitrofenil) kumarin bileşiğine dönüştürülmesidir. Bu süreç, Knoevenagel kondenzasyonu olarak bilinen bir reaksiyon mekanizması ile gerçekleştirilir (Watson, Christiansen, 1998, s. 6087; Song, Wang, Lam, 2003, s.1756).

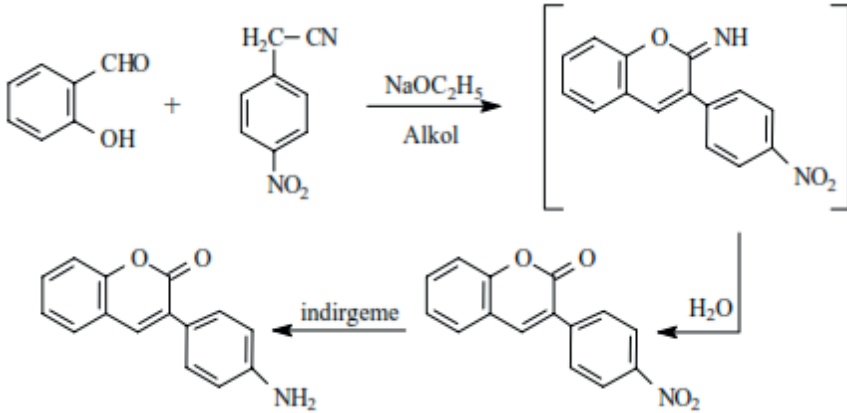
Knoevenagel reaksiyonu, 1898 yılında malonik asit ve o-hidroksibenzaldehitin kondenzasyonu ile kumarin sentez mekanizmasının açıklanmasıyla tanıtılmıştır. Bu yöntem, 3-süstitüe kumarin türevlerinin kolayca üretilme-

sini sağlar.20 1988'de Armstrong ve ekibi, 2-metoksibenzaldehit ve Meldrum asidinin DMF'de kondensasyonunu takiben H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile halkalaşma reaksiyonu gerçekleştirerek 3-karboksilik asit kumarin sentezini iki adımda tamamlamıştır. Daha sonraki çalışmalarda, Meldrum asidi kullanılarak kumarin sentezi tek adımda başarıyla gerçekleştirilmiştir (Song ve vd., 2003, s1756). Bu “one-pot” sentez işlemlerinde, sodyum hidroksit, lityum tuzları, kil, organik bazlar, piperidinyum asetat ve piridin gibi çeşitli katalizörler kullanılmaktadır (Luo, Tian, Chen ve Huang, 2007, s. 108). Bu yöntemler, kumarin ve türevlerinin sentezinde önemli bir yere sahiptir ve organik kimya alanında geniş uygulama alanları bulmuştur (Meas, Riveiro, Shayo, Davio, Debenedetti, Kimpe, 2008, 4439).

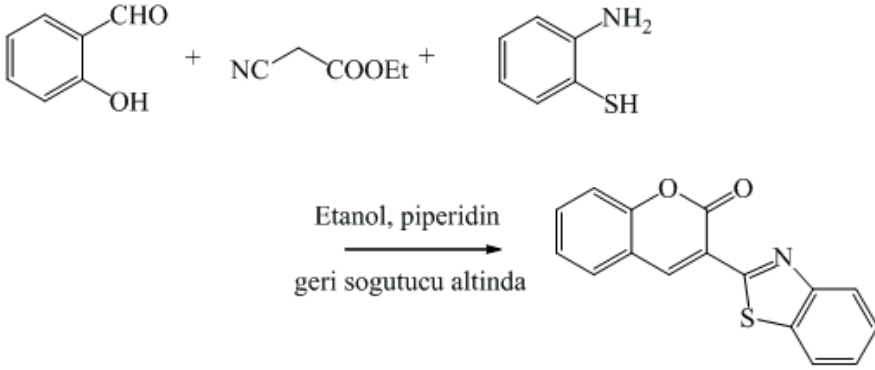
Şekil 1.9'da gösterildiği gibi, 2-Hidroksi benzaldehit ile Meldrum asidinin eşit mol oranları, katalitik miktarlarda piperidinyum asetat kullanılarak oda sıcaklığında reaksiyona girdiğinde ve sonrasında etanol içinde kaynama noktasına kadar ısıtıldığında, yüksek verimlilik ve saflıkta kumarin türevleri elde edilebilmektedir (Song ve vd., 2003, s1756).



Şekil 1.9. 3-Karboksilikasit kumarinin Meldrum asidiyle eldesi

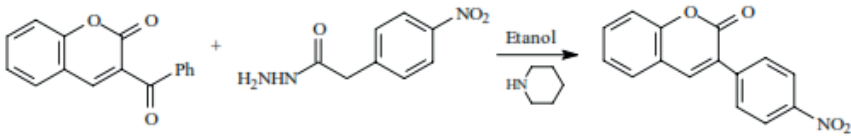


Şekil 1.10. Knoevenagel Kondenzasyonu ile kumarin eldesi



Şekil 1.11. Tek adımlı Knoevenagel Kondenzasyonu

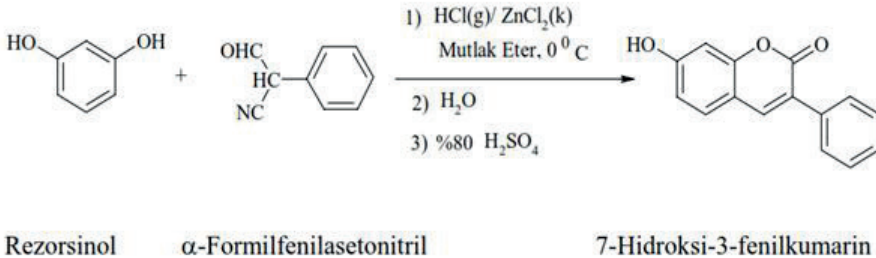
3-(p-Nitrofenil) kumarin bileşiği, etanol ortamında NaOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub> yerine K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> kullanılarak benzer bir reaksiyonla sentezlenebilir. Ayrıca, 3-açılku-  
 marin bileşikleri, Michael reaksiyonu koşulları altında fenilasetik asit hidra-  
 zidi ile etkileşime girerek de elde edilebilir (Upadhyay, Kumar, 2009, s. 236).



Şekil 1.12. Micheal reaksiyonu ile kumarin eldesi

### Houben-Hoesch Kumarin Sentezi

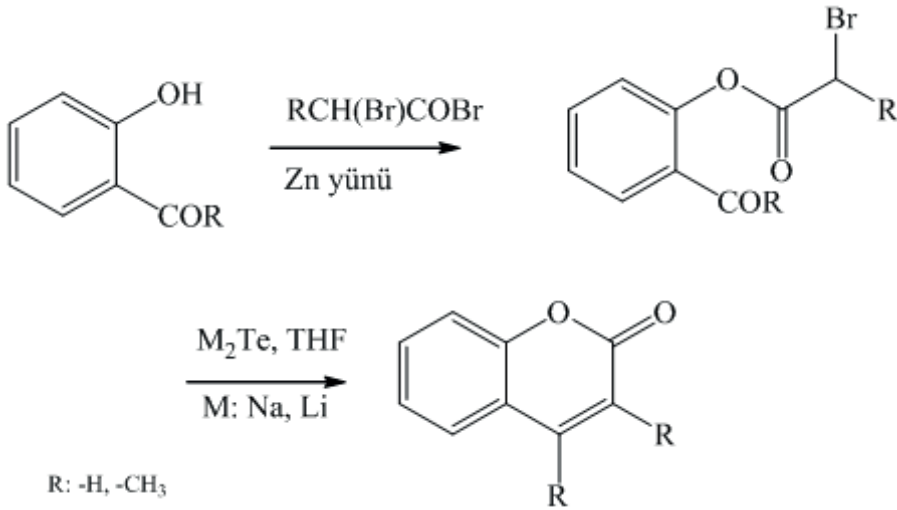
$\alpha$ -Formilfenilasetonitril, rezorsinol, hidroklorik asit ve çinko klorür kullanı-  
 larak bir reaksiyon gerçekleştirildiğinde, 7-hidroksi-3-fenil kumarin oluşur. Bu  
 süreç, belirtilen kimyasalların varlığında bir kondensasyon reaksiyonu sonucunda  
 meydana gelmektedir. Bu reaksiyon, organik kimya alanında önemli bir dönüşü-  
 mü temsil etmekte ve bu tür kimyasal süreçler, çeşitli farmasötik ve biyoaktif bile-  
 şiklerin sentezinde kritik rol oynamaktadır. (Watson, Christiansen, 1998, s. 6087).



Şekil 1.13. Houben Hoesch Kumarin Eldesi

### Reformatsky Reaksiyonu ile Kumarin Sentezi

Reformatsky reaksiyonu, adını aldığı kimyager tarafından 1887'de keşfedilen klasik bir organik sentez reaksiyonudur. Bu reaksiyon genellikle, çinkonun varlığında aldehit veya ketonlar ile etil  $\alpha$ -haloasetatların tepkimeye girmesi sonucu  $\beta$ -hidroksi esterlerin oluşumunu kapsar (Ocampo, Dolbier, 2004, s. 9327). Geleneksel Reformatsky reaksiyonunda, çinko metalinin yerini alarak daha verimli sonuçlar elde etmek için samaryum, indiyum, rodyum (katalitik miktarlarda), di-etil çinko, krom, titanosen ve ultrasonik dalgalar gibi farklı katalizörler ve reaktifler kullanılmaktadır (Ocampo, Dolbier, 2004, s. 9327; Dittmer, Li, ve Avilov, 2005, s. 4683).



Şekil 1.14. Reformatsky reaksiyonu ile 3,4-sübstitüe kumarin eldesi

Reformatsky reaksiyonunun avantajları arasında agrasif ortamların kullanılmaması ve ara ürün oluşmaması sayılabilir (Ocampo, Dolbier, 2004, s. 9327).

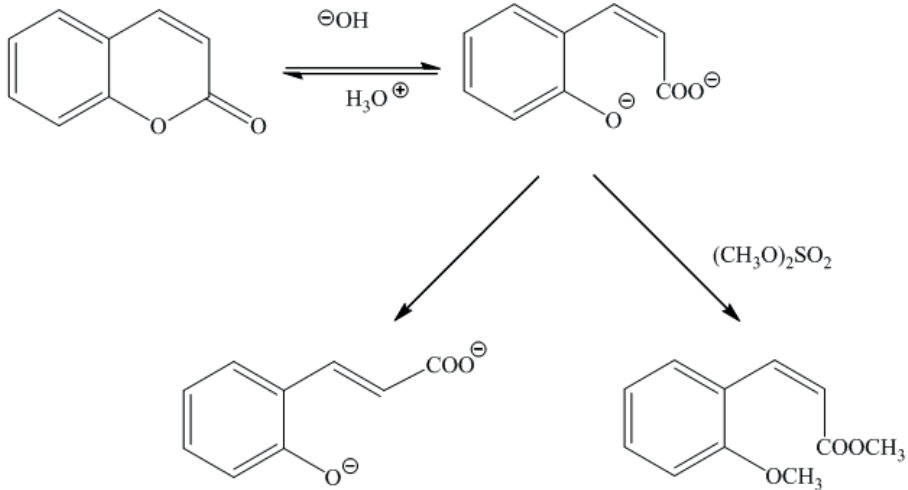
### Kumarinlere Uygulanan Reaksiyonlar

Kumarin bileşiklerine olan ilgi, bu maddelerin geniş kullanım alanlarından kaynaklanmaktadır. Kumarinlerin modifikasyonu, başlangıç maddelerinin değiştirilmesi veya mevcut kumarinlere çeşitli reaksiyonlar uygulanarak gerçekleştirilir. Bu reaksiyonlar hem kumarin çekirdeğine hem de çekirdeğe bağlı fonksiyonel gruplara uygulanabilir. Kumarin çekirdeğine uygulanan reaksiyonlar genellikle halkanın açılması, C-3 ve C-4 karbonlarını birbirine bağlayan pi-bağa katılma ve karbon disülfid (CS<sub>2</sub>) ile ditiyokumarin sentezi gibi işlemlerle sınırlıdır (O'Kennedy ve Thornes, 1997). Öte yandan, kumarin

çekirdeğine bağlı sübstitüe gruplara uygulanabilecek reaksiyonların çeşitliliği daha fazladır. Örneğin, iskelete bağlı metil grupları okside edilebilir, alifatik bromlama yapılabilir; hidroksil grupları alkilasyon veya nükleofilik katılma reaksiyonlarına tabi tutulabilir; ayrıca 6,7 ve 7,8 pozisyonlarındaki hidroksiller kullanılarak taç eterler sentezlenebilir (Pedersen, 1967, s. 7017).

### Kumarin İskeletindeki Lakton Halkasının Açılması

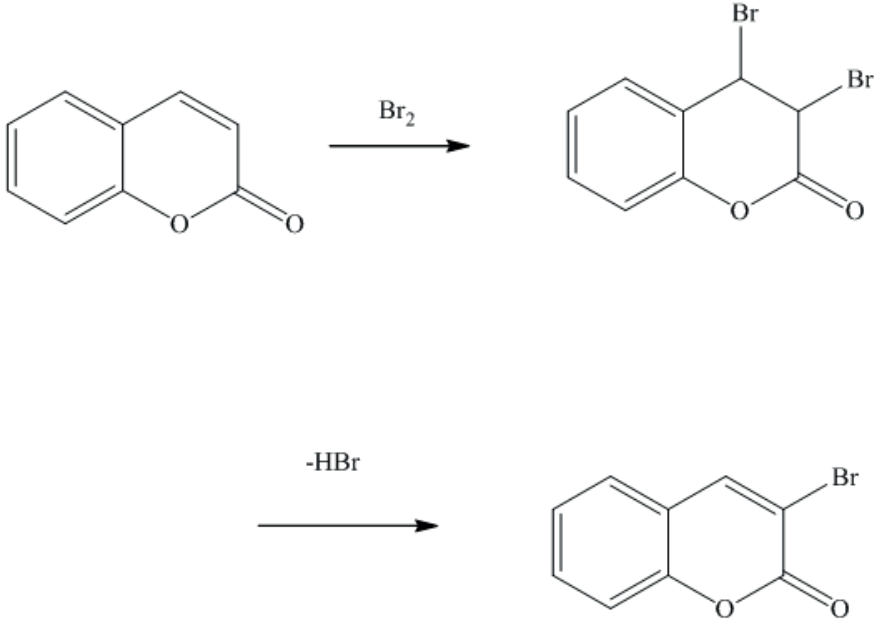
Kumarin, hidroksi iyonlarının etkisiyle işlem gördüğünde, lakton halkasının açılması sonucu (Z)-o-sinamik asit (kumarinik asit) oluşur. Bu reaksiyon sonucunda meydana gelen diiyon, dimetil sülfat kullanılarak metillenir ve daha stabil olan (Z)-metoksi estere dönüşür. Daha sonra asit ile yapılan işlemle, kumarinik asit tekrar kapanır ve kumarin yapısını alır (Abdel-Kader, 2003).



Şekil II.15. Kumarin iskeletindeki lakton halkasının açılması ve metillenmesi reaksiyonu

### Kumarin Halkasının Bromlanması

Kumarin halkasının C-3/C-4 pozisyonlarına brom katılması bu bileşikler için karakteristik reaksiyonlardır. Brom, kumarinle reaksiyona girerek 3,4-dibromokumarini oluşturur. HBr'nin eliminasyonu ile 3-bromo kumarin elde edilir (Meas, ve vd. 2008, 4439).



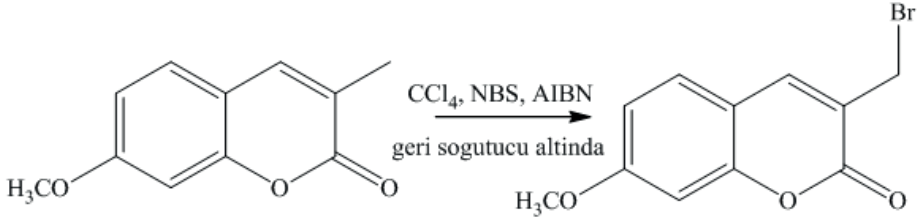
Şekil 1.16. Kumarin iskeletinin bromlanma reaksiyonu

### Alifatik Bromlama

Alifatik bromlamanın gerçekleştirilmesi sırasında moleküler brom kullanımı, toksisite ve aşındırma gibi önemli sorunlara yol açabilir. Bu tür sorunları önlemek amacıyla, Zeigler 1942'de N-bromosakkarin kullanarak  $\text{CCl}_4$  ortamında benzilik bromlama yöntemini geliştirmiştir.  $\text{CCl}_4$ , bromlama reaksiyonlarında oldukça etkili bir çözücü olmasına rağmen, çevresel zararları nedeniyle alternatif metodlar araştırılmış ve geliştirilmiştir. 1977'de Offermann ve Vogtel, klorsuz çözücüler olan metil asetat ve metil format ile NBS kullanarak benzilik bromlama işlemi yapmışlardır (Kokare, Sangshetti, Shinde, 2007, s. 1309).. Klorsuz çözücüler üzerine yapılan çalışmalar neticesinde,  $\text{Br}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{hv}$ ,  $\text{NaBrO}_3\text{-NaHSO}_3/\text{EtOAc-H}_2\text{O}$ , bromid/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , NBS/ $\text{MeOAc}$  ve  $\text{H}_2\text{O-HBr}/\text{Su}$  gibi brominyum kaynaklı ajanlar kullanılarak benzilik bromlama gerçekleştirilmiştir. Günümüzde, polimerik TBBDA, PBBS ve PBPS gibi ajanlar da bromlama işlemlerinde tercih edilmektedir (Fang, Whitaker ve Weslowski, 2001, s.2993).

Kumarin yapısındaki alifatik karbonlara NBS ve eser miktarda AIBN ile  $\text{CCl}_4$  içinde uygun şartlardaki reaksiyonundan alifatik bromlanmış kumarin türevleri elde etmek mümkündür.





**Şekil 1.17.** NBS ve  $\text{CCl}_4$  ile 7-metoksi-3-metil kumarinin benzilik bromlanması reaksiyonu

## Kumarinlerin Spektral Özellikleri

### UV- Visible Spektroskopisi

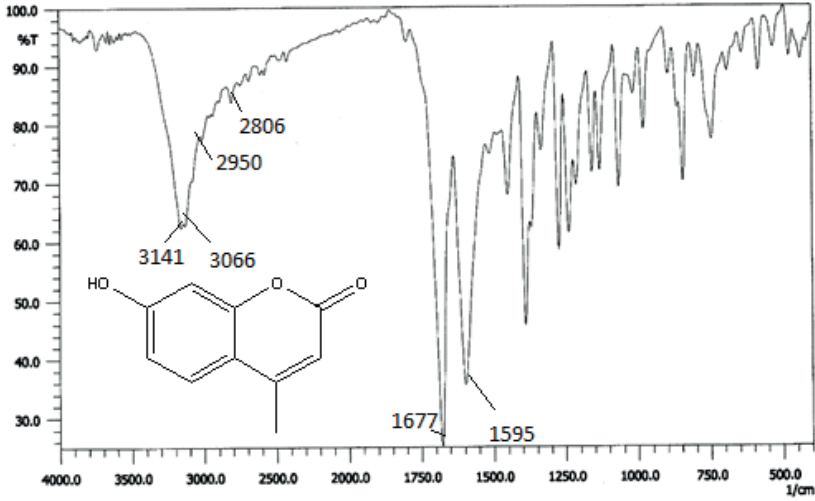
Kumarin bileşikleri, UV-Vis spektrumunda kuvvetli floresan özellikleri gösterdikleri için boyalar, lazer pigmentleri ve non-lineer optik kromoforlar gibi alanlarda tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra, hücre büyümesini destekleyici, kansere karşı koruyucu ve kan pıhtılaşmasını önleyici gibi çeşitli biyolojik etkilere de sahiptirler. (Masreni, Rama, ve Bafna, 1974; Nielsen, 1971). Bu biyolojik ve kimyasal özellikler, kumarin moleküllerinin elektronik yapısından kaynaklanmaktadır. Kumarinlerin UV-Vis spektrofotometrisindeki emilim maksimumları, genellikle 270 ile 310 nm arasında yer alır ve bu değerler, kumarin çekirdeğine eklenen süstitüent grupların türüne göre değişiklik gösterir (Chakraborty ve Chakraborty, 1961)

Kumarin yapısına eklenen süstitüentlerin konumları ve nitelikleri, maksimum emilim noktasını etkileyebilir. Özellikle, 3 ve 7 pozisyonlarında bulunan metoksi ve amin gibi elektron verici gruplar, kırmızıya kayma ile floresans ve emiliminin güçlenmesine yol açar. Diğer yandan, 6 ve 8 pozisyonlarında yer alan süstitüentlerin ters bir etkisi gözlemlenir. Kumarin bileşiklerinde, temel ve uyarılmış durumlar için  $\pi$ -elektron yoğunluğu üzerine yapılan çalışmalar, karbonil oksijen ile halkadaki yük yoğunluğunun arttığına işaret etmektedir. 7 pozisyonunda fonksiyonlandırılmış kumarinlerde benzen halkasında artan yük yoğunluğu gözlenirken, piron halkasındaki karbonil oksijene etki edilmediği belirtilmiştir. Bu bulgular, kumarin türevlerinin optik özelliklerinin anlaşılmasında önemli bir rol oynamaktadır. (Chatterjee, Baneji, ve Basa, 31972)

### FT-IR Spektroskopisi

Kumarin bileşiklerinin IR spektrumları incelendiğinde (Şekil 1.20), lakton halkasına özgü karbonil grubunun ( $\text{C}=\text{O}$ ) bandı 1700-1750  $\text{cm}^{-1}$  aralığında belirgin bir şekilde görülür. Ayrıca, 3000  $\text{cm}^{-1}$  civarında daha düşük dalga boylarında metil ve metilen gruplarına ( $\text{C}-\text{H}$ ) ait bantlar ve 1600-1660  $\text{cm}^{-1}$  aralığında çift bağları ( $\text{C}=\text{C}$ ) gösteren bantlar tespit edilir. Kumarin yapısındaki aromatik halkaların karakteristik bantları ise 1400-1500  $\text{cm}^{-1}$  aralığında yer alır. Özellikle, 1700-1750  $\text{cm}^{-1}$  aralığında ortaya çıkan ( $\text{C}=\text{O}$ ) bandı, ku-

marinlerin ayırt edici bir özelliği olarak kabul edilir (Nielsen ve Lennich, 1964 Değerli vd., 1984; Chatterjee vd., 1972).



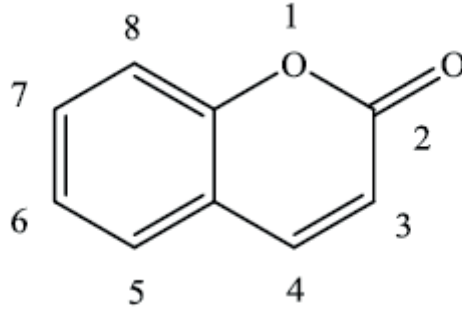
Şekil 1.20. 7-Hidroksi-4-metil kumarin'e ait FT-IR spektrumu

Şekil 1.24'te verilen 7-hidroksi-4-metil kumarine ait FT-IR spektrumunda 1677 cm<sup>-1</sup> de (C=O) karbonil gerilmesi, 1595 cm<sup>-1</sup> de (C=C) çift bağ gerilmesi, 2806 ile 2950 cm<sup>-1</sup> arasındaki geniş aralıkta alifatik (C-H)'lara ait, gözlenirken 3066 cm<sup>-1</sup> 'de aromatik (CH) eğilmeleri görülmektedir. 7-Pozisyonundaki -OH bandı 3141 cm<sup>-1</sup>'de görülmektedir (Yunsheng ve Lin 2012, s.92).

### Nükleer Magnetik Rezonans Spektroskopisi

Kumarin bileşiklerinin biyolojik işlevlerinin, moleküler yapılarıyla doğrudan ilişkili olduğunun anlaşılması, bu yapıların katı faz NMR ve teorik yöntemler kullanılarak detaylı bir şekilde incelenmesini önemli hale getirmiştir. Şimdiye dek, bu bileşiklerin yapısal analizlerinde proton (<sup>1</sup>H) ve karbon-13 (<sup>13</sup>C) nükleer manyetik rezonans (NMR) teknikleri tercih edilmiştir. Bu yöntemler, kumarinlerin moleküler yapısının aydınlatılmasında kritik rol oynamaktadır.

#### a) <sup>1</sup>H Nükleer Magnetik Rezonans Spektroskopisi

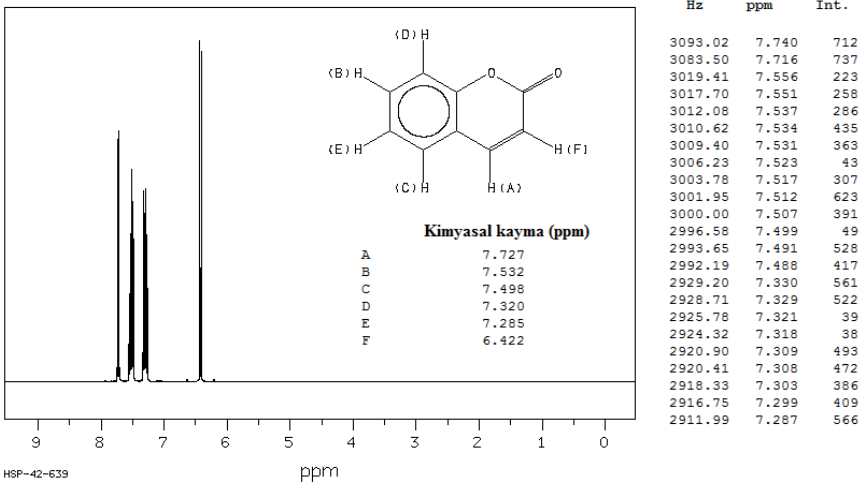


**Şekil 1.21.** 1H NMR spektroskopisi için 2H-1-benzopiron-2-on'un karbon atomlarının numaralandırılması

2H-1-Benzopiron-2-on'un 1H NMR spektrumuna ait kimyasal kayma değerleri Tablo 1.1'de verilmiştir. Kumarin halkasına bağlananelektron çekici veya elektron itici fonksiyonel grupların varlığına bağlı olarak kimyasal kayma değerleri yüksek alana (düşük frekans) ya da düşük alana (yüksek frekans) kaymaktadır.

**Tablo 1.1.** 2H-1-benzopiron-2-on'a ait 1H NMR spektrumu kimyasal kayma Değerleri

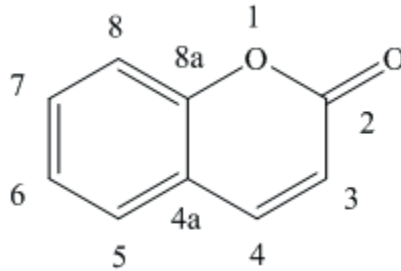
Hidrojen No	3	4	5	6	7	8
1H NMR ( $\delta$ ppm)	6,43	7,80	7,36	7,22	7,45	7,28



**Şekil 1.22.** 2H-1-benzopiron-2-on'a ait 1H NMR spektrumu

Sentez ve izolasyon yöntemleriyle üretilen kumarin bileşiklerinin büyük bir kısmında, çeşitli sübtitüe gruplarının bulunduğu gözlemlenmektedir. Özellikle C-3 veya C-4 pozisyonlarında yer alan sübtitüentler, H-3 ve H-4 protonlarının NMR spektrumunda sırasıyla yaklaşık 6,1-6,4 ppm ve 7,5-8,3 ppm değerlerinde pik oluşturmaya sebep olmaktadır (Tablo 1.2). C-4 konumuna bir metil grubunun eklenmesi, H-3 protonunun yaklaşık 6,15 ppm'de rezonans göstermesine yol açarken; aynı pozisyonda fenil grubu bulunması durumunda, H-3 protonunun pikinin yaklaşık 6,0 ppm'e kaydığı görülür. Eğer C-4'te bir metoksi grubu mevcutsa, H-3 protonunun pikinin daha düşük frekansa, yani 5,55 ppm'de kaydığı gözlemlenir. C-3'te bir alkil grubu varlığında ve C-5'te herhangi bir fonksiyonel grup bulunmadığında, H-4 protonunun pikinin yaklaşık 7,65 ppm'de oluştuğu; C-5'te oksijen içeren bir sübtitüent varlığında ise, bu protonun pikinin düşük alana kayarak 7,95 ppm'de görüldüğü belirlenmiştir. C-3'te fenil grubu bulunduğu ve C-5'te sübtitüent olmadığında, H-4 protonunun pikinin yüksek alana kayarak yaklaşık 7,5 ppm'de rezonans gösterdiği tespit edilmiştir. Doğal olarak bulunan kumarinlerin çoğunda ise, genellikle C-7 pozisyonunda hidroksil veya oksijen atomu içeren grupların varlığı saptanmıştır (Tablo 1.2). Bu sübtitüentler elektron dağılımına neden olduğu için H-3'ün yük yoğunluğunu arttırarak bu protona ait pikin normalden  $\approx 0,17$  ppm daha yüksek alana kaymasına sebep olur (Boğa, 200512, Kothar ve Shinde, 2006).

#### b) $^{13}\text{C}$ Nükleer Magnetik Rezonans Spektroskopisi



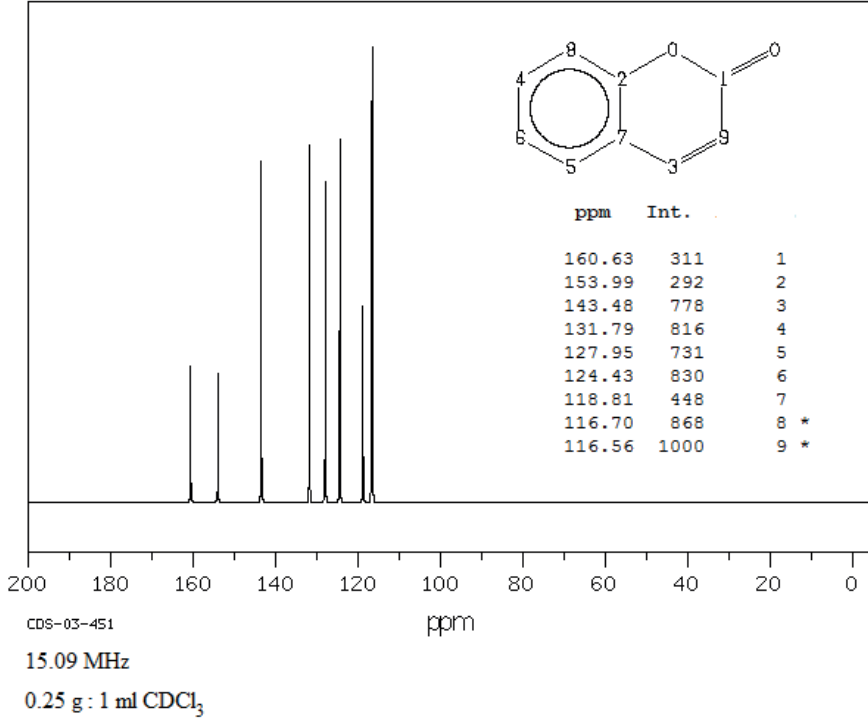
**Şekil 1.23.** *Kumarin  $^{13}\text{C}$  NMR spektroskopisi karbon numaralandırılması*

2H-1-Benzopiron-2-on (Kumarin) bileşiğinin  $^{13}\text{C}$ -NMR spektroskopisi sonuçları, Tablo II.2'de sunulmuştur. İzolasyon veya sentez yoluyla elde edilen kumarin türevleri, çeşitli fonksiyonel gruplar taşıyabilirler. Bu gruplar, karbon atomlarının rezonans frekanslarını etkileyerek, kimyasal kayma değerlerini artırabilir veya azaltabilir. Örneğin, kumarin çekirdeğinde benzen halkasına eklenmiş metoksi veya hidroksi gibi gruplar, ilgili karbon atomlarının kimyasal kayma değerlerini yaklaşık 30 ppm düşürür. Ayrıca, sübtitüent grupların birbirlerine olan konumları da karbon atomlarının rezonans frekanslarını değiştirir. Mesela, sübtitüentler orto veya para pozisyonlarında olduğunda, ilgili

karbon pikleri, normalde beklenen kimyasal kayma değerlerinden sırasıyla 13 ppm ve 8 ppm daha yüksek değerlerde görülür (Becalski, Lau, Lewis, Seaman, 2004, s.10).

**Tablo 1.2.** 2H-1-benzopiron-2-on'a ait 13C-NMR spektroskopisi kimyasal kayma

Karbon No	C-2	C-3	C-4	C-4a	C-5	C-6	C-7	C-8
13C NMR ( $\delta$ ppm)	160,4	116,4	143,4	118,7	127,9	124,3	131,7	116,5

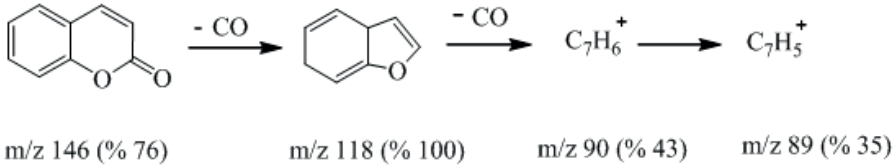


**Şekil 1.24.** 2H-1-benzopiron-2-on'a ait 13C NMR spektrumu

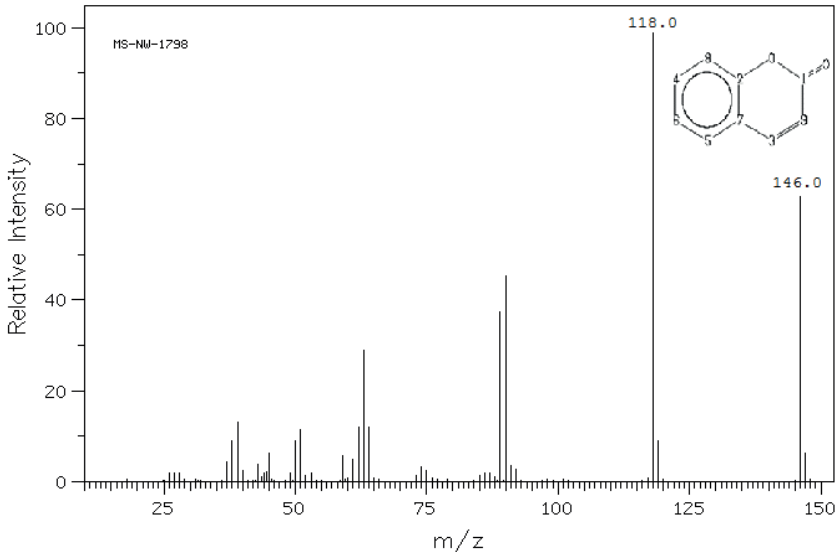
### Kütle Spektroskopisi

Kumarin bileşiklerinin yapısal analizinde, geçmişte 1H-NMR ve 13C-NMR teknikleri yaygın olarak tercih edilirken, günümüzde sentetik kumarinlerin yapısal tespitinde kütle spektrometresi de sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Kütle spektrometresi alanındaki ilerlemelerle birlikte, başlangıçta Elektron İyonizasyon Kütle Spektrometresi (EI-MS) yaygın bir yöntem olarak kullanılırken, son zamanlarda Elektron Sprey İyonizasyon Kütle Spektrometresi (ESI-MS) teknolojisi daha fazla ön plana çıkmıştır (Barnes ve Occolowtz, 196)

Bu metodolojide, moleküller yüksek enerjili elektronlarla bombardımana tutulduğunda parçalanır ve bu parçalanma sonucu oluşan ürünler, molekülün yapısının belirlenmesinde kullanılır. Özellikle kütle spektroskopisi, kumarin türevlerinin moleküler ağırlıklarını ve bu moleküllerin parçalanma ürünlerini saptamak için tercih edilen bir tekniktir. Yüksek enerjili elektronlarla bombardımana maruz bırakılan kumarin bileşiği (2H-1-benzopiran-2-on) için yapılan kütle spektroskopisi analizinde, ilk olarak moleküler iyonun ( $M^+$ ,  $m/z$  146 %76) pikini görmekteyiz. 30Ardından, piron halkasından bir molekül CO ayrılması sonucu oluşan ve benzofuran yapısına sahip ikinci bir pik tespit edilir. Bu süreç, CO molekülünün ayrılmasını takiben hidrojen atomlarının sırayla ayrılmasıyla devam eder. Kumarin molekülünün piron halkasının parçalanması sonucu oluşan fragmentler, yüksek enerjili elektron bombardımanı altında Şekil 1.25'te gösterilen belirli pikler olarak kaydedilir. (Budzikiewicz, Djerassi ve Williams, 1964)



Şekil 1.25. Kumarinlerin iyonlaşma kütleleri



Şekil II.26. 2H-1-benzopiran-2-on'a ait kütle spektrumu

## KAYNAKLAR

- Abdel-Kader, M.S. (2003). New ester and furocoumarins from the roots of pituranthos Tortuosus, *Journal of Chemical Education*, 14 (1), 48-51.
- Bağdır, B. (2006). Yeni Ftalosiyanın Sentezi ve Karakterizasyonu”, Yüksek lisans Tez, Yıldız Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Barnes, C.S. and Occolowtz, J.L. (1964). *Aust. J. Chem.*, 17, 975
- Basanagouda, M. Shivashanlar, K.; Kulkarni, M.K.; Rasal, V.P.; Patel, H.; Mutha, S.S.; Mohite, A.A. (2010). Synthesis and Antimicrobial Studies on Novel Sulfonamides Containing 4-azidomethyl Coumarin”, *European Journal of Medicinal Chemistry*, 45, 1151-1157.
- Başaran İ. (2007). Yeni Coumarin Crown eterlerin Sentezi ve Kompleksleşme Sabitle-  
rinin Saptanması, Doktora Tezi, Balıkesir Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Balı-  
kesir, Türkiye, 1-3. 99.
- Becalski, Adam. Lau, Benjamin; Lewis, David; Seaman, Stephen. (2004). Semicarba-  
zide Formation in Azodicarbonamide-Treated Flour: A Model Study. *J. Agric.*  
*Food Chem.* 52 (18), 5730.
- Bekaroğlu, Ö. (1996). Phthalocyanines Containing Macrocycles , *Applied Organome-  
tallic Chemistry*, 10, 605-622.
- Budzikiewicz H., Djerassi C. and Williams D.H. (1964), *Interpretation of Mass Spectra  
of Organic Compounds*, Holden-Day Inc. 271.
- Bilgin, H.M.; Atmaca, M.; Obay, B.D.; Özekinci, S.; Taşdemir, E.; Ketani, A. (2011).  
Protective Effects of Coumarin and Coumarin Derivatives Against Carbontet-  
rachloride-Induced Acute Hepatotoxicity in Rats”, *Experimental and Toxicolo-  
gic Pathology*, 63 (4), 325-330.
- Boğa, M., 2005. Kumarin Türevi Yeni 14:4 Taç Eter Bileşiklerinin Sentezi ve Yapıları-  
nın Aydınlatılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Braun, A. ve Tcherniac, J. (1907). Uber die Produkte der Einwirkung von Acetanhyd-  
rid auf Phthalamid”, *Ber. Deutsch. Chem. Ges.*, 40, 2709-2714.
- Chakraborty, D.P., Chakraborty, S.K. (1961). *Trans. Bose Res. Inst., Calcutta*, 27,15.
- Chatterjee, A. Baneji, J. Basa, S.C. (1972). *Tetrahedron*, 28,5175.
- Çakıcı, H.; Esenpınar, A.A.; Bulut, M. (2008). Synthesis and Characterization of Novel  
Phthalocyanines Bearing Quaternizable Coumarin, *Polyhedron*, (27), 3625-  
3630.
- Çamur, M.: (2005). Bazı 4-hidroksifenilasetikasit Türevli Ftalosiyanın Metal Kompleks-  
lerinin Sentezi ve Yapılarının Spektroskopik Yöntemlerle Aydınlatılması, Yüksek  
Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Dittmer, D.C.; Li, Q.; Avilov, D.V.: (2005). Synthesis of Coumarins, 4-Hydroxycouma-  
rins, and 4-Hydroxyquinolinones by Tellurium-Triggedged Cyclizations, *J. Org.*  
*Chem.*, (70), 4682-4686.

- Eicher, T.; Hauptmann, S. (2003). Six-membered Heterocycles, The Chemistry of Heterocycles, 2nd Edition., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 222- 256.
- Esenpınar, A.A. (2005). Mono Hidroksi-2H-1-benzopiran-2-on Türevi Ftalosiyanın Bileşiklerinin Sentezi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- Fang, J.; Whitaker, C.; Weslowski, B., 2001, Synthesis and Photodimerization in self-assembled Monolayers of 7-(8-trimethoxysilyloctyloxy) coumarin, *J. Mater. Chem.*, 11, 2992-2995
- Fausto, R.; Quinteiro, G.; Breda, S. (2001). Vibrational Spectroscopy and Initio MO Study of The Molecular Structure and Vibrational Spectra of  $\alpha$  and  $\gamma$  Pyrones, *Journal of Molecular Structure*, 589, 287-303.
- Hamdi, N.; Bouabdallah, F.; Romerosa, A.; Benhassen, R. (2010). Expedious Synthesis for  $\alpha$ ,  $\beta$ -unsaturated Coumarin Derivatives Using Boran Chelates: A Novel Class of Potential Antibacterial and Antioxidant Agents”, *Comptes Rendus Chimie*, 13 (10), 1261-1268
- Kokare, N.D.; Sangshetti, J.N.; Shinde, D.B. (2007). Oxalic Acid Catalyzed Solvent-free One-pot Synthesis of Coumarins”, *Chinese Chemical Letters*, 18, 1309–1312.
- Kostava, I.; MAnolov, I.; Momekov, G.; Konstantinov, T.T.S.; Karaivanova, M. (2005). Cytotoxic Activity of New Cerium (III) Complexes of Bis-coumarins, *European Journal of Medicinal Chemistry*, 40, 1246–1254.
- Luo, Q., Tian, H., Chen, B. ve Huang, W. (2007). Effective Non-Destructive Readout of Photochromic Bisthiényleneephthalocyanine Hybrid, *Dyes and Pigments*, 73, 118-120.
- Maggi F., Barboni L. (2011). HPLC quantification of coumarin in bastard balm (*Melittis melissophyllum* L., Lamiaceae), *Fitoterapia* 82, 1215–1221.
- Manhas, M.S.; Ganguly, S.N.; Mukherjee, S.; Jain, A.K.; Bose, A.K. (2006). Microwave Initiated Reactions: Pechmann Coumarin Synthesis, Biginelli Reaction, and Acylation, *Tetrahedron Letters*, 47, 2423–2425.
- Masreni, K.V., Rama, H.S. and Bafna, S.L. (1974) *J. Apple. Chem. Biotechnical*, 24,331
- Meas, D.; Riveiro, M.E.; Shayo, C.; Davio, C.; Debenedetti, S.; Kimpe, N.D. (2008). Total Synthesis of Naturally Occurring 5,6,7- and 5,7,8-trioxygenated Coumarins, *Tetrahedron*, 64, 4438-4443.
- Nielsen, B.E. Lennich, J. (1964), *Acta Chem. Scand.*, 18, 932.
- Nielsen, B.E. (1971), *DAN. Tidski Farm, Chem. Abstr.*, 74, 20314
- O’Kennedy, R.; Thornes, R.D. (1997). *Coumarins Biology, Applications and Made of Action*, John Wiley & Sons Ltd., England, 1-336.
- Ocampo, R.; Dolbier, W.R.; Jr. (2004). The Reformatsky Reaction in Organic Synthesis. *Recent Advances*, *Tetrahedron*, 60, 9325–9374.
- Parvez A., Meshram J. (2010). Pharmacophores modeling in terms of prediction of theoretical physico-chemical properties and verification by experimental cor-



relations of novel coumarin derivatives produced via Betti's protocol, *European Journal of Medical Chemistry*, 45, 4370-4378

- Pedersen, C.S. (1967), *Cyclic Polyethers ve Their Complexes With Metal Salts*, *J. Am. Chem. Soc.*, 89, 7017-7036.
- Selvakumar, S.; Chidambaram, M.; Singh, A.P. (2007). Benzylsulfonic Acid Functionalized Mesoporous Zr-TMS Catalysts: An Efficient and Recyclable Catalyst for The Preparation of Coumarin Derivatives by Pechmann Condensation Reaction, *Catalysis Communications*, 8, 777-783.
- Sethna, S.M.; Shah, N.M. (1944). *The Chemistry of Coumarins*, *Chem. Rev*, 36 (1), 1-54.
- Song, A.; Wang, X.; Lam, K.S. (2003). A Convenient Synthesis of Coumarin-3- Carboxylic Acids Via Knoevenagel Condensation of Meldrum's Acid with Ortho-hydroxyaryl Aldehydes or Ketones, *Tetrahedron Letters*, 44, 1755-1758.
- Topal, G., Demirel, N., Toğrul, M., Turgut, Y. ve Hoşgören, H. (2001). Facile Synthesis of Mono and Dibenzo N,N' Disubstituted Diaza 18-Crown-6 Derivatives, *J. Heterocyclic Chem.* 38, 281-284.
- Upadhyay, P.K.; Kumar, P. (2009). A Novel Synthesis of Coumarins Employing Triphenyl (a-carboxymethylene) Phosphorane Imidazolide as a C-2 Synthone, *Tetrahedron Letters*, 50, 236-238.
- Watson, B.T.; Christiansen, G.E. (1998). Solid Phase Synthesis of Substituted Coumarin 3-Carboxylic Acids via the Knoevenagel Condensation, *Tetrahedron Letters*, 39, 6087-6090.
- Yang, Z.; Kinoshita, T.; Tanida, A.; Sayama, H.; Morita, A.; Watanabe, N. (2009). Analysis of Coumarin and Its Glycosidically Bound Precursor in Japanese Green Tea Having Sweet-herbaceous Odour, *Food Chemistry*, 114, 289-294.
- Yu, T.; Zhang, P.; Zhao, Y.; Zhang, H.; Meng, J.; Fan, D.; Chen, L.; Qui, Y. (2010). Synthesis, Crystal Structure and Photo- and Electro-luminescence of The Coumarin Derivatives with Benzotriazole Moiety, *Organic Electronics*, 11, 41-49.
- Yunsheng Xue, Lin An. (2012). Structure and electronic spectral property of coumarin-chalcone hybrids: A comparative study using conventional and long-range corrected hybrid functionals, *Computational and Theoretical Chemistry*, 981, 90-99.
- Zhou, S.; Jia, J.; Gao, J.R.; Han, L.; Li, Y.; Sheng, W. (2010). The One-pot Synthesis and Fluorimetric Study of 3-(2'-benzothiazolyl) coumarins, *Dyes and Pigments*, 86, 123-128.





## *Bölüm 7*

### **AĞIR METAL TUZ KATALİZLİ AROMATİK NİTROLAMA REAKSİYONLARI**

*Melek GÖKMEN KARAKAYA<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi; Uşak Üniversitesi Banaz Meslek Yüksekokulu Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü. melek.karakaya@usak.edu.tr ORCID No: 0000-0001-7178-6790

## NİTRO AROMATİK BİLEŞİKLER

Sentetik organik kimyada aromatik bileşiklerin elektrofilik aromatik sübstitüsyon reaksiyonu ile nitrolanması reaksiyonları sürekli olarak gelişmektedir. Bu gelişmelerin nedenleri arasında nitro aromatik bileşiklerin endüstride geniş kullanım alanının olmasıdır. Örneğin, antibiyotiklerin keşfinden sonra ilk kullanılan antibiyotiklerden olan Kloramfenikol 1947'de *Streptomyces* cinsi gram pozitif *Streptomyces venezuelae* (ISP5230) adlı bakterinin metabolizma ürünü olarak elde edilmiştir (Ehrlich vd., 1947; Ehrlich vd., 1948; Carter, Gottlieb ve Anderson, 1948). Nitro aromatik grup içeren Kloramfenikol molekülünün bakteriyel infeksiyonların tedavisinde etkili olduğu görülünce nitro aromatik bileşiklerin sentetik olarak eldesi önem kazanmış ve 1949 yılında Kloramfenikol sentetik olarak elde edilmeye başlanmıştır. Dünya sağlık örgütünün temel ilaçlar listesinde yer almaktadır (World Health Organization, 2019).

Nitro aromatik bileşikler organik kimyada büyük öneme sahiptir. Nitro aromatik bileşikler, aromatik halkaya bağlı nitro (-NO<sub>2</sub>) grubu bulunduran organik bileşiklerdir. Aromatik bileşiklerin nitrolanması ile yeni bir molekül elde edilmekle birlikte organik kimya reaksiyonlarında aromatik bileşiklerin nitrolanması geniş alana sahiptir (Snellinx vd., 2002; Olah, Malhotra ve Narang, 2003). Nitro aromatik bileşikler birçok endüstri alanının üretim bandında ham madde veya ara ürün olarak kullanılırlar. Bu alanlar, organik boyaların ve pigmentlerin üretimi, patlayıcı madde üretimi, bazı ilaçların üretimi, parfüm üretimi, tarım endüstrisinde zararlı böceklere karşı etkili pestisitlerin üretimi, yabancı otları kontrol eden herbisitlerin üretilmesi, çeşitli kimyasal madde üretimi, polimerlerin ve plastiklerin üretimi şeklinde sayılabilir (Olah, Malhotra ve Narang, 2003; Hoggett, 2009; Verbitskiy vd., 2020; Wojtas vd., 2020). Bir işlemi hızlandırmak içinde kullanılabilir. Örneğin, kaçuk vulkanizasyonunu (mukavemeti). Trinitrotoluen (TNT) nitro aromatik bileşiklerin en çok bilinen patlayıcı madde örneklerindedir. Savunma sanayi ve sivil uygulamalarda yaygın olarak kullanılan güçlü bir patlayıcıdır.

Nitro aromatik bileşikler diğer moleküllerin sentezi için ara ürün oluşturulmasına olanak sağlanmaktadır. Anilin türevi boyalarda anilin, nitro aromatik bileşiklerin indirgenmesiyle elde edilir ve bu da sentetik boyaların yapımında kullanılır. Azoboyalar, nitro aromatik bileşiklerin ara ürün olarak kullanıldığı boyalardır ve tekstil, plastik ve gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılırlar. Bu alanlara ilaveten bazı antibakteriyel ilaçların sentezinde, yüksek performanslı polimerlerin sentezinde (monomer olarak) ve çeşitli sektörlerde ham madde olarak kullanılırlar.

Bilim insanları nitro aromatik bileşiklerde istenilen özellikleri sağlamak, stereospesifikliğini artırmak, maliyeti düşürmek ve çevreyi korumak amacıyla her geçen gün nitrolama reaksiyonlarının mekanizmasını anlamak ve nitro-

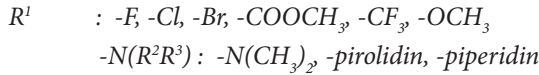
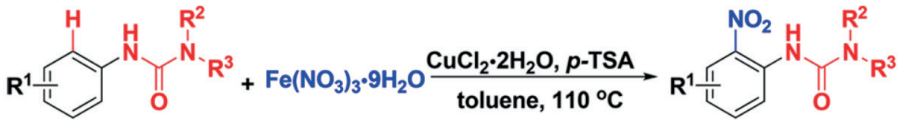
lama reaksiyonlarını geliştirmek için büyük çaba sarf etmişlerdir (Patel, Patel ve Patel, 2021; Wheland, 1942; Hughes, Ingold ve Reed, 1946; Hughes, Ingold ve Reed, 1950; Ingold, Millen ve Poole, 1950; Ingold, 1969; Feuer, Nielsen, 1990; ).

1834'de ilk defa Mitscherlich nitro benzeni keşfetmiştir (Mitscherlich, 1834a; 1834b). Knecht'in Almancadan İngilizceye çevirisini yaptığı Benedikt'in "The chemistry of the coal-tar colours" adlı kitabında, hidrokarbonların nitro grubu içeren (süstitüeli) bileşiklerinin, hidrokarbonların üzerine derişik nitrik asit ilavesi ile oluştuğu, ancak, seyreltik nitrik asidin sadece oksitleyici etkiye sahip olduğu, nitro grubu içeren bileşik oluşturmadığı yazmaktadır (Benedikt, 1889).

Patel ve çalışma arkadaşları yorumlarında, 1845 yılında Musprati ve Hoffmann'ın benzeni sülfürik asit ve nitrik asit karışımı ile muamele ederek nitro benzen ve di-nitro benzen karışımı elde ettiklerini yazmışlardır (Patel, Patel ve Patel, 2021).

## AĞIR METAL TUZ KATALİZÖRLERİ İLE NİTROLAMA REAKSİYONLARI

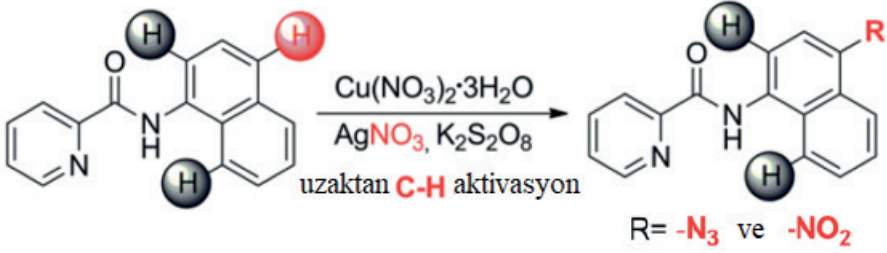
Wang ve çalışma arkadaşları (2018) 17 aril üreyi (örneğin N,N-dimetil-N'-(4-metilfenil)üre), nitro grubu kaynağı olarak demir-3-nitrat nanohidrat ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) kullanarak aromatik orto C-H nitrasyonuna yönelik bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu reaksiyonlarda genel olarak, katalizör olarak bakır-II-klorür dihidrat ( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), katkı maddesi olarak p-toluen sülfonik asit (p-TSA) ve çözücü olarak dikloroetan (DCE) ve toluen kullanmışlardır. Bu yöntem iyi fonksiyonel grup toleransı göstermiş ve istenen nitro aromatik ürünleri makro seviyede (gram olarak) orta ila mükemmel verimlerde elde etmeyi sağlamıştır. Örnek reaksiyon denklemi Şekil'1 de verilmiştir.



Şekil 1. Seçili aril üyelerin nitrolama reaksiyon denklemi (Wang vd., 2018)

Dou ve çalışma arkadaşları nitro grubu kaynağı olarak gümüş nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) ve katalizör olarak bakır II nitrat trihidrat kullanarak uzaktan karbon hidrojen bağı (C-H) aktivasyonu yoluyla 1-naftilaminler için uygun çözücü (diklorometan, dimetilsülfoksit, asetonitril) içinde regioselektif (bölge-

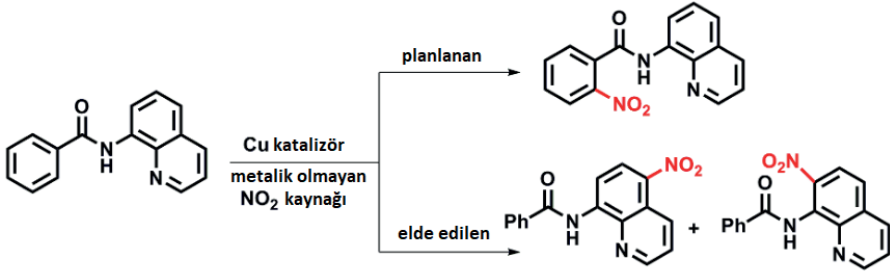
sel seçici) nitrolama yöntemi geliştirmişlerdir. Reaksiyon denklemi Şekil 2’de verilmiştir. Potasyum persülfat güçlü bir oksidandır. Bu reaksiyon mekanizmasında gümüş I nitratı gümüş II nitrate yükseltgemek için kullanılmıştır.



Şekil 2. Nitro-naftilaminlerin sentezi için C-H aktivasyon stratejileri (Dou vd., 2018)

Dou ve çalışma arkadaşları orta ila mükemmel (%95’e varan) verimler sağlayan optimal koşullarla bu nitrasyon yöntemini kullanarak, elektron veren ve elektron çeken sübstitüent gruplar içeren on altı ayrı sübstitüe edilmiş naftilamin piridil molekül serisini incelemiştirlerdir. Bu yöntem mükemmel fonksiyonel grup toleransı göstermiştir. Nitrasyon reaksiyonları ılımlı koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Burada, substratların uzaktan bölgesel seçici C-H işlevselleştirmesi için para yönlendirici grup olarak piridil amid grubu seçilmiştir. Bu yöntemde karşılaştırmalı çalışmalarda ürün verimi bakımından en iyi katalizör ve çözücü sisteminin Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ve dikloroetan sistemi olduğu görülmüştür (Dou vd., 2018).

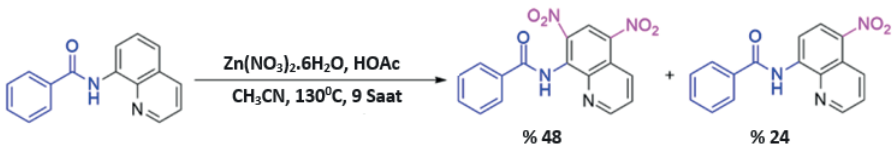
2017 yılında Khan ve çalışma arkadaşları, katalizör olarak sulu bakır (II) nitrat (Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·xH<sub>2</sub>O) ve nitrolama maddesi olarak tert-butil nitrit (TBN) kullanarak ılımlı koşullar altında 8-aminokinolin benzamid nitrasyonunu oda sıcaklığında çözücü olarak asetonitril kullanarak 1 saat içinde gerçekleştirmişlerdir (Khan vd., 2017). Araştırmacılar molekülde benzen halkasının nitrolanmasını beklerken kinolin halkası 2 farklı noktadan nitrolanmıştır. Reaksiyon sonucunda % 93 dönüşüm gözlenmiş, % 72 verimle 2 farklı izomer (izomerler arasındaki oran 2.8:1) kromatoğrafik işlemler sonucu saf olarak elde edilmiştir. Reaksiyon denklemi Şekil’3 de verilmiştir.



**Şekil 3.** Oda sıcaklığında 8-aminokinolin benzamidin nitrolanması reaksiyon denklemi (Khan vd., 2017)

Şekil 3’de verilen reaksiyon çeşitli bakır katalizörleri kullanılarak tekrarlanmıştır. Bu reaksiyonlarda hemen hemen tüm bakır tuzlarının (bakır (II) asetat  $\text{Cu}(\text{OAc})_2$ , bakır (II) klorür ( $\text{CuCl}_2$ ), bakır (I) klorür ( $\text{CuCl}$ ), sulu bakır (II) nitrat ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ), bakır (II) bromür ( $\text{CuBr}_2$ ), Bakır (II) triflat ( $\text{Cu}(\text{OTf})_2$ ) nitrolama reaksiyonlarında etkili olduğu görülmüştür. Bakır tuzlarının arasında bakır (II) klorürün ( $\text{CuCl}_2$ ) nitrolama reaksiyonunu katalize etmede olağanüstü derecede iyi olduğu görülmüştür. Bakır tuzlarının yokluğunda nitrolama ürünü elde edilmemiştir (Khan vd, 2017).

Wang ve çalışma arkadaşları 8-aminokinolin türevinin (N-(kinolin-8-il) sikloheksa-1,5-dienkarboksamid) nitrolanmasını, nitrolayıcı reaktif olarak çinko nitrat hekza hidrat ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) kullanarak, asetik asitli ortamda (HOAc), asetonitril ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) içinde, 130°C’da, 9 Saat Schlenk tüpünde gerçekleştirmişlerdir (Wang vd., 2017).

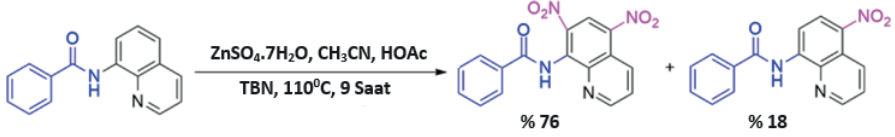


**Şekil 4.** 8-aminokinolin türevinin nitrolanması reaksiyon denklemi (Wang vd., 2017)

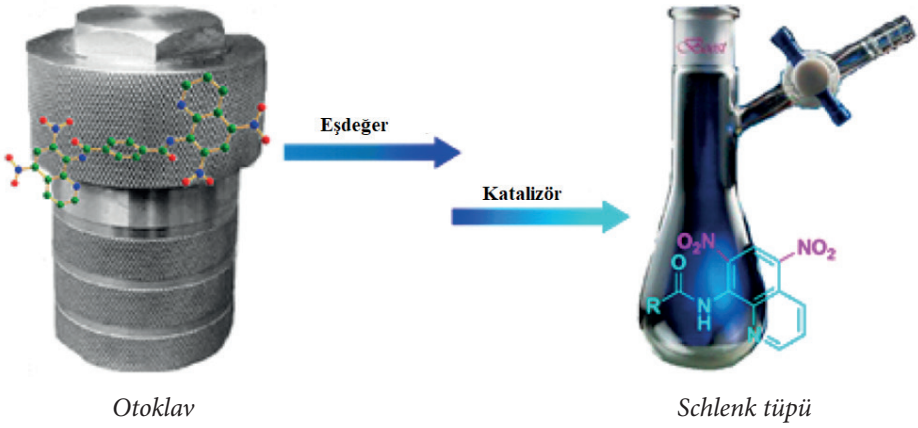
Bu reaksiyonda hem 5,7-nitratlı türev (verim: % 48) hem de 7-nitratlı türev (verim: % 24) elde edilmiştir. Reaksiyon denklemi Şekil 4’de verilmiştir.

Wang ve çalışma arkadaşları (Wang vd., 2017) nitro grubu kaynağı ( $\text{Zn}(\text{II})$  nitrat tuzu), asetik asit ve reaksiyon sıcaklığı dahil olmak üzere çinko(II) katalizli dinitrasyon protokolünün keşfi için bir dizi reaksiyon koşulu değişikliği gerçekleştirmişlerdir. İlginç bir şekilde, 8-aminokinolin türevinin, nitro kaynağı olarak aşırı tert-bütül nitrit (TBN) ile çinko nitrat hekza hidrat

( $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) yerine çinko sülfat hepta hidrat ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ), kullanıldığı optimize edilmiş koşul altında %76'lık iyi bir verimle 5,7-nitratlı türeve dönüştüğünü gözlemişlerdir. Sıcaklığın düşürülmesi ile verimin arttığı görülmüştür. Reaksiyon denklemi Şekil'5 de verilmiştir. Aynı zamanda, reaksiyonda substrat miktarı 2 ila 3 mmol arttırıldığı şartlarda bile verim hala korunmuştur (Wang vd., 2017).



Şekil 5. Ana ürün aromatik dinitrolanmış türev eldesi veren reaksiyon denklemi (Wang vd., 2017)

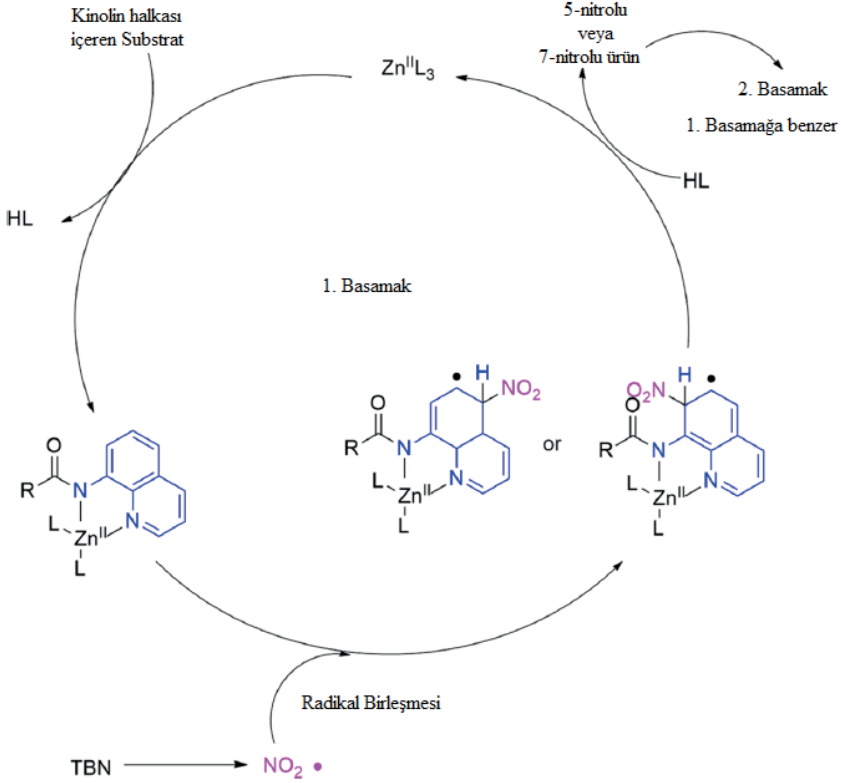


Şekil 6. Kinolin türevlerinin otoklav yerine Schlenk tüpünde solvotermal reaksiyon düzeneği (Wang vd., 2017)

Wang ve çalışma arkadaşları (2017) ilk olarak kinolin türevlerinin dinitrasyonu için şaşırtıcı bir solvotermal reaksiyon bulmuşlardır. Solvotermal bir işlem, bir çözücünün kaynama sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta, bir kapalı reaksiyon kabında, öncül(ler) arasında bir ayrışmayı veya bir veya birden fazla kimyasal reaksiyonu başlatan bir işlem olarak tanımlanabilir. Doğrudan nitro kinolin türevi sentezi Schlenk tüpünde eşdeğer bir reaksiyon olarak geliştirilmiştir. Çinko sülfat katalizörü ile optimize edilmiş koşullarda, güçlü elektron çeken gruba sahip bazı moleküllerin önce nitrolandığı da tespit edilmiştir. Reaksiyonun otoklav yerine Schlenk tüpünde gösterimi Şekil 6'da verilmiştir.



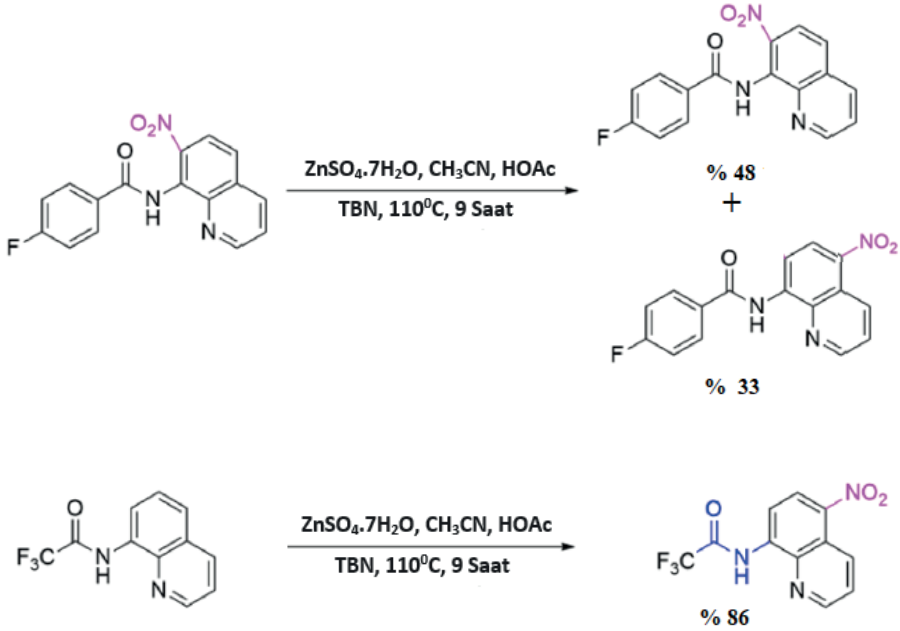
Bu reaksiyon için önerilen mekanizmada ilk basamakta substrat,  $Zn^{2+}$  iyonu ile şelatlı bir ara madde oluşturmak için koordinasyon yaparken, termal koşullarda ( $110^{\circ}C$  de) tert-butil nitritten (TBN)  $NO_2\cdot$  radikali üretilir (Whiteoak vd. 2016). Üretilen  $NO_2\cdot$  radikali kinolin türevinin C-5 veya C-7 nolu karbonundan bağlanır. Genellikle kinolin biriminin C-5'inde en büyük p<sub>z</sub> orbital doluluğu olduğundan, bu süreçte  $NO_2\cdot$  ile C-5 arasındaki reaksiyon muhtemelen  $NO_2\cdot$  ile C-7 arasındaki reaksiyondan önceliklidir (He vd., 2016).



Şekil 7. Kinolin halkası içeren substratın çinko +2 iyonlu tuzun katalizör olarak kullanıldığı nitrolama reaksiyonu için önerilen mekanizma (Wang vd., 2017)

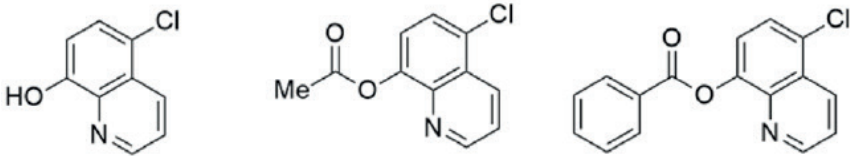
$NO_2\cdot$  radikal grubu substrata bağlandıktan sonra bu oluşan ara üründen  $H\cdot$  radikali ortamdaki çinko tuzu tarafından alınarak nitro bağlı substratın tekrar aromatisasyonu ile 5-nitratlı ürün veya 7-nitratlı ürün elde edilir. Substrat çinko +2 iyonu ile kuvvetli koordinasyon yaparsa sadece C-5 numaralı karbonu nitrolanabilir, fakat hiç koordinasyon yapmazsa nitrolanmış ürün gözlenmez. Kinolin türevi substratın çinko +2 yüklü tuzu ile nitrasyonu için önerilen mekanizma Şekil 7'de verilmiştir.

Bu reaksiyon mekanizmasında güçlü elektron çeken gruba sahip substratın nitrolanması 1. Basamakta durur ve tek nitrolu ürün elde edilir ( Whiteoak vd., 2016; Zhu vd., 2016; He vd., 2016). Güçlü elektron çeken gruplu moleküllere örnek mono nitrolanmış ürün elde edilen reaksiyon denklemleri Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Güçlü elektron çeken gruplu moleküllerin mono nitrolanması (Wang vd., 2017)

Şekil 9’da sunulan  $\text{Zn}^{2+}$  iyonu ile zayıf koordinasyon kabiliyetine sahip 5-kloro-8-hidroksikinolin ve türevleri nitratlanmış ürün oluşturmazlar.



Şekil 9.  $\text{Zn}^{2+}$  iyonu ile zayıf koordinasyon kabiliyetine sahip moleküller (Wang vd., 2017)

Diğer substratların çoğu, I. Basamaktan sonra II. Basamak yolculuğunu tamamlayarak Şekil 5’de sunulan dinitratlanmış ürünlere benzer bir şekilde

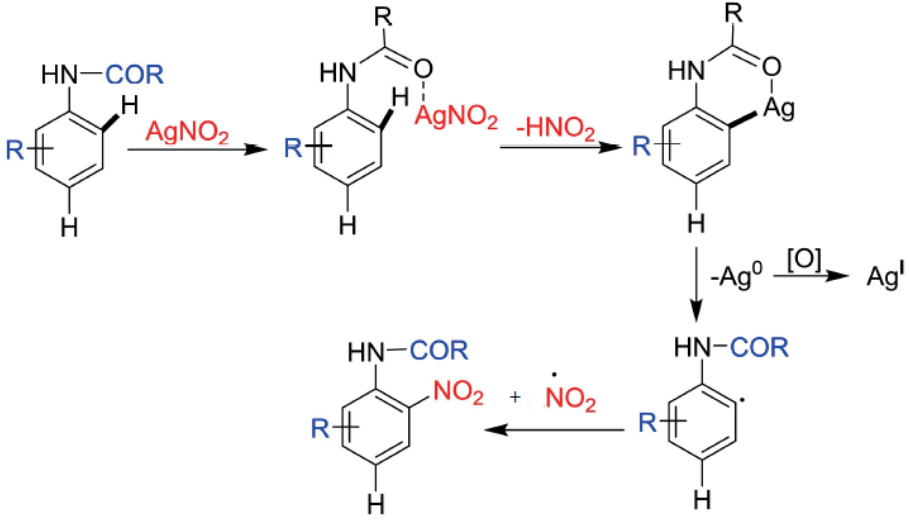
ürünler vermeye devam edecektir. Bu solvotermal reaksiyon (yüksek sıcaklık ve basınç altında) 8-aminokinolin türevinin doğrudan dinitrasyonunu sağlamaktadır (Wang vd, 2017).

Kianmehr ve Nasap (2018) potasyum persülfatı ( $K_2S_2O_8$ ) bir oksidan ve sodyum nitriti asetonitril içinde bir nitro kaynağı olarak kullanarak anilidlerin gümüş katalizli regioselektif nitrolama reaksiyonlarını geliştirmişlerdir. Bu şartları gösteren genel reaksiyon denklemi Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Anilidlerin gümüş katalizli regioselektif nitrolanma reaksiyonları için genel bir reaksiyon denklemi (Kianmehr ve Nasap, 2018)

Bu reaksiyonda optimum verim için gümüş nitrit ( $\text{AgNO}_2$ ) katalizörünün miktarı % 10 mol, sıcaklık  $110^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Gümüş nitrit katalizörlü reaksiyon için Şekil 11'de sunulan mekanizma önerilmiştir (Kianmehr ve Nasap, 2018).



**Şekil 11.** Gümüş katalizli çeşitli orto-nitro anilidlerin sentezi için genel reaksiyon denklemi (Kianmehr ve Nasap, 2018)

Gümüş nitrit katalizörü ile substratdaki asetilamino yönlendirme grubunun koordinasyonu gerçekleşir. Koordinasyon ile substrat molekülündeki bir hidrojen iyonu (H<sup>+</sup>) ile gümüş nitritdeki nitrit iyonu (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) nitroz asit (HNO<sub>2</sub>) olarak ayrılır. Oluşan bu koordinasyon molekülünden (koordinasyon molekülünde gümüş iyonik halde, Ag<sup>+</sup>), gümüş metalik halde ayrıldığıında (Ag<sup>0</sup>), n-fenil asetamid radikal ara ürünü oluşur. Bu radikalın NO<sub>2</sub><sup>·</sup> radikal birleşmesi reaksiyonu ile orto nitrolanmış ürün oluşur (Kianmehr ve Nasap, 2018).



**Şekil 12.** NO<sub>2</sub><sup>·</sup> radikalinin oluşumu (Kianmehr ve Nasap, 2018).

Metalik haldeki gümüş ile sodyum nitritin oksidatif ortamda reaksiyonu ile NO<sub>2</sub><sup>·</sup> radikalinin oluşumu Şekil 12’de sunulan reaksiyon denkleminde görülmektedir.

Şekil 11’de sunulan reaksiyon denklemi çeşitli orto-nitro anilidlerin sentezlenmesi için kullanılır. Hem elektron çekici, hem de elektron verici fonksiyonel gruplara sahip anilidlerin nitrolanmasında iyi toleransa sahiptir.

Nitro aromatik bileşikler endüstrilerde yaygın olarak kullanılan bileşikler oldukları gibi, birçok endüstrinin de ihtiyacı olan maddelerin sentezinde ara ürün olarak kullanılmaktadırlar. Bu nedenle aromatik bileşiklerden çevre dostu, düşük maliyetli, kısa sürede nitro aromatik bileşiklerin eldesi bir çok bilim insanı tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmalar sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumludur. Her geçen gün nitro aromatik bileşiklerin kullanım alanları artacağı gibi, yukarıda verilen deneysel çalışmaların daha da geliştirileceği açıktır. Şuan mevcut bir çok endüstri alanında nitro aromatik bileşikler vazgeçilemez moleküller arasında yer almaktadır.

## REFERANSLAR

- Benedikt, R. (1889). *The chemistry of the coal-tar colours* (E. Knecht, Trans.). George Bell and Sons. New York.
- Dou, Y., Yin, B., Zhang, P., Zhu, Q. (2018). Copper-Catalyzed Regioselective Nitration and Azidation of 1-Naphthylamine Derivatives via Remote C–H Activation. *European Journal of Organic Chemistry*, 2018(33), 4571-4576.
- Feuer, H., Nielsen, A. (1990). Nitro compounds: recent advances in synthesis and chemistry. (No Title).
- He, Y., Zhao, N., Qiu, L., Zhang, X., Fan, X. (2016). Regio- and chemoselective mono- and bisnitration of 8-amino quinoline amides with Fe (NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O as promoter and nitro source. *Organic Letters*, 18(23), 6054-6057.
- Hoggett, J., Nitration and aromatic reactivity, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.
- Hughes, E.D., Ingold, C.K., Reed, R. I. (1946). Kinetics of aromatic nitration: the nitronium ion. *Nature*, 158(4013), 448-449.
- Hughes, E.D., Ingold, C.K., Reed, R.I. (1950). 493. Kinetics and mechanism of aromatic nitration. Part II. Nitration by the nitronium ion, NO<sup>2+</sup>, derived from nitric acid. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 2400-2440.
- Ingold, C.K. Structure and Mechanism in Organic Chemistry; Cornell University Press: New York, 1969.
- Ingold, C.K., Millen, D.J., Poole, H.G. (1950). 506. Vibrational spectra of ionic forms of oxides and oxy-acids of nitrogen. Part I. Raman-spectral evidence of the ionisation of nitric acid by perchloric, sulphuric, and selenic acids. Spectroscopic identification of the nitronium ion, NO<sup>2+</sup>. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 2576-2589.
- Khan, B., Khan, A.A., Bora, D., Verma, D., Koley, D. (2017). Copper-Catalyzed Remote C–H Nitration of 8-Amidoquinolines. *ChemistrySelect*, 2(1), 260-264.
- Kianmehr, E., Nasab, S. B. (2018). Silver-Catalyzed Chemo- and Regioselective Nitration of Anilides. *European Journal of Organic Chemistry*, 2018(46), 6447-6452.
- Mitscherlich, E. *Ann. Pharm.* 1834, **12**, 305– 311. [Wiley Online Library](#)[Google Scholar](#)
- Mitscherlich, E. *Ann. Phys. Chem.* 1834, **108**, 225– 227; [Wiley Online Library](#)[Google Scholar](#)
- Olah, G.A., Malhotra, R., Narang, S.C. (2003). Nitration: methods and mechanisms. In *Across Conventional Lines: Selected Papers of George A Olah Volume 2* (pp. 975-979).
- Patel, S.S., Patel, D.B., Patel, H.D. (2021). Synthetic protocols for aromatic nitration: A review. *ChemistrySelect*, 6(6), 1337-1356.
- Snellinx, Z., Nepovím, A., Taghavi, S., Vangronsveld, J., Vanek, T., van der Lelie, D.

- (2002). Biological remediation of explosives and related nitroaromatic compounds. *Environmental Science and Pollution Research*, 9, 48-61.
- Verbitskiy, E.V., Rusinov, G.L., Chupakhin, O.N., Charushin, V N. (2020). Design of fluorescent sensors based on azaheterocyclic push-pull systems towards nitroaromatic explosives and related compounds: A review. *Dyes and Pigments*, 180, 108414.
- Wang, C. M., Tang, K. X., Gao, T. H., Chen, L., Sun, L. P. (2018). Cu (II)-Catalyzed Ortho-C-H Nitration of Aryl Ureas By C-H Functionalization. *The Journal of Organic Chemistry*, 83(15), 8315-8321.
- Wang, Y., Yu, F., Han, X., Li, M., Tong, Y., Ding, J., Hou, H. (2017). From Surprising Solvothermal Reaction to Uncommon Zinc (II)-Catalyzed Aromatic C-H Activation Reaction for Direct Nitroquinoline Synthesis. *Inorganic Chemistry*, 56(10), 5953-5958.
- Wheland, G.W. (1942). A quantum mechanical investigation of the orientation of substituents in aromatic molecules. *Journal of the American Chemical Society*, 64(4), 900-908.
- Whiteoak, C. J.; Planas, O.; Company, A.; Ribas, X. A first example of cobalt-catalyzed remote CH functionalization of 8- aminoquinolines operating through a single electron transfer mechanism. *Adv. Synth. Catal.* 2016, 358, 1679–1688.
- Wojtas, J., Bogdanowicz, R., Duda, A.K., Pietrzyk, B., Sobaszek, M., Prasula, P., Dettlaff, A., Achtenberg, K. (2020). Fast-response optoelectronic detection of explosives' residues from the nitroaromatic compounds detonation: field studies approach. *Measurement*, 162, 107925.
- World Health Organization. (2019) World Health Organization model list of essential medicines: 21st list 2019. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/325771>. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- Zhu, X., Qiao, L., Ye, P., Ying, B., Xu, J., Shen, C., Zhang, P. (2016). Copper-catalyzed rapid C-H nitration of 8-aminoquinolines by using sodium nitrite as the nitro source under mild conditions. *RSC advances*, 6(92), 89979-89983.
- Ehrlich, J., Bartz, Q.R., Smith, R.M., Joslyn, D.A., Burkholder, P.R. (1947). Chloromycetin, a new antibiotic from a soil actinomycete. *Science*, 106(2757), 417-417.
- Carter, H.E., Gottlieb, D., Anderson, H.W. (1948). Chloromycetin and streptothricin. *Science*, 107(2770), 113-113.
- Ehrlich, J., Gottlieb, D., Burkholder, P.R., Anderson, L.E., Pridham, T.G. (1948). *Streptomyces venezuelae*, n. sp., the source of chloromycetin. *Journal of bacteriology*, 56(4), 467-477.







## *Bölüm 8*

### **BİYUYUMLU BİR PLATFORM OLUŞTURMAK İÇİN TİTANYUM KATKILI POLİAKRİLİK ASİT NANOKOMPOZİT HİDROJELLERİN HAZIRLANMASI**

*Fatma Özge GÖKMEN<sup>1</sup>*

*Sinan TEMEL<sup>2</sup>*

1 Doç. Dr., Üretimde Kalite Kontrol, Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi <https://orcid.org/0000-0002-5548-8790>,

2 Doç. Dr., Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0002-0889-9490>

## Giriş

Birçok alanda (özellikle; atık suların inorganik ve toksik organik türlerin giderilmesi ve biyoteknoloji), fotokatalitik uygulamada titanyum yüksek verimliliğe, düşük maliyete ve uzun vadeli kararlılığa sahip olduğu bilinmektedir (Cheng et al., 2012). Küçük titanyum partikül boyutu, sağladığı yüksek yüzey alanı nedeniyle fotokatalitik reaksiyonda elverişlidir (Cheng et al., 2012). Poliakrilik asit (PAA) bazlı ilaç taşıyıcı sistemler, kontrollü ve sürekli bir salım profilinin başarılması için çeşitli terapötik ajanların farklı uygulama yolları yoluyla verilmesine yönelik büyük önem kazanmıştır. PAA, toksik olmaması sayesinde ilaç dağıtımı için güvenli ve etkili bir sistem oluşturmaktadır. Ayrıca, PAA'nın çok yönlülüğü, hidrojel (enjekte edilebilir hidrojel dahil), mikro-partiküller, nanopartiküller ve benzerleri gibi çeşitli malzemelerin üretilmesi için çok önemlidir. Terapötiklerin oral, bukkal, transdermal, nazal, vajinal ve gen/vitamin/büyüme faktörleri iletimi gibi çeşitli yollar kullanılarak iletilmesi olasılığı, PAA'nın biyomedikal alandaki beklentilerini daha da çeşitlendirmektedir (Cao et al., 2020; Chen et al., 2016; Dalei & Das, 2022). PAA, akrilik asit (AA) monomerlerinden yapılmış sentetik bir polimerdir. Toksik olmama, yüksek yapışma gücü ve geri dönüştürülebilirlik gibi muhteşem özelliklere sahiptir. PAA bazlı kompozit sistemlerin su tutma kabiliyetleri yüksektir. Süper emici özellikleri sebebiyle hem tıbbi hem de tıbbi olmayan alanlarda yaygın kullanım alanı vardır. Biyomedikal açıdan bakıldığında, PAA ilaç dağıtımı, doku mühendisliği, biyosensörler ve diğer alanlarda uyarıcıya duyarlı bir platform olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Das & Subuddhi, 2015; Gudeman & Peppas, 1995). PAA, geniş biyomedikal kullanım yelpazesinin yanı sıra; sürünme azaltıcı, toprak iyileştirici, tekstil baskısında kıvam arttırıcı olarak da amaca hizmet etmiştir. PAA'nın ağır metal yakalama ve boyaların giderilmesi açısından atık su iyileştirmedeki muazzam potansiyeli gerektiği gibi kabul edilmektedir. Nanoteknoloji her geçen gün hızla ilerlemeye devam etmektedir. Bu ilerleme, PAA bazlı nano-platformların kanser tedavilerinde sıkça karşımıza çıkmasını sağlar (Arkaban et al., 2022).

Poliakrilik asit hidrojelatine, filmlerine ve diğer formlarına Ti katkılanarak elde edilen membran sistemler, çevresel uygulamalarda çok sık karşımıza çıkmaktadır. Membran teknolojisinde, yerinde ve yeniden kullanıma olana sağlayan bu akıllı malzemeler büyük kolaylık sağlar. Titanyumun fotokatalitik özelliği ile kirleticileri parçalaması ve jellerin bu reaksiyonlar için taban oluşturması iki farklı malzemenin tek bir kompozit malzeme üstün özellikler sergilemesine sebeptir (Burugapalli et al., 2004).

Anyonik ve katkoynik polimerizasyon alanındaki çalışmalar 1956'lara dayanır. PAA sentezinde birçok yöntem olmasına rağmen, kontrollü serbest radikal polimerizasyon tekniği bilim insanlarının kolay uygulanabilirlik açısından ilgisini çekmektedir.

PAA sentez yöntemlerinden bazıları şunlardır: serbest radikal polimerizasyonu, atom transfer radikal polimerizasyonu (ATRP) ve tersinir ekleme-parçalanma transferi (RAFT). Son yıllarda, AA'nın plazma destekli polimerizasyonu da sıcak bir araştırma alanına dönüşmüştür (Dalei & Das, 2022).

#### *Serbest radikal polimerizasyon*

Kontrollü serbest radikal polimerizasyonu tekniği, polimer sentezinde köklü bir süreçtir. Bu alandaki çalışmalar, öncelikle radikal polimerizasyonunu kontrol altında tutmaya yöneliktir. Bu metot ile bir polimer, serbest radikal yapı taşlarının ardışık olarak eklenmesiyle oluşturulur. Serbest radikaller, genellikle polimer zincirini üretmek için bir araya gelen farklı başlatıcı molekülleri içeren bir dizi yolla oluşturulabilir (Jose et al., 2014; L. Liu et al., 2008). AA'nın serbest radikal polimerizasyonunu başlatmak için persülfat ve 2, 2' -azobisisobutyronitril (AIBN) gibi termokimyasal başlatıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır (Temel et al., 2019).

#### *Tersinir eklenme-parçalanma zincir transferi (RAFT)*

Süreç boyunca kontrol edilebilir nitelikleri nedeniyle; RAFT polimerizasyonu, karmaşık polimerik mimarilerin üretiminde bir mücevher olarak kabul edilmiştir. RAFT polimerizasyonunu PAA sentezinde ilk kullanan Chiefari ve ekibi olmuştur. RAFT polimerizasyonu, geleneksel radikal polimerizasyonuna benzer şekilde ilerler; ancak buradaki farklılaştırıcı adım, tersinir ekleme-parçalanma dengesidir. Ditiyokarbonat, en iyi RAFT ajanı olarak önceki çalışmalarda belirlenmiştir. Tipik bir RAFT prosesinde, yayılan radikal RAFT ajanının (zincir transfer ajanı, CTA) C=S grubuna eklenir ve burada C=S grubu sürecin düzenlenmesinde belirleyicidir (Dalei & Das, 2022; Lin et al., 2001).

#### *Atom transfer radikal polimerizasyon (ATRP)*

Atom transfer radikal polimerizasyonunun reaksiyon şartları diğer yöntemlere göre daha hafiftir. Bu hafif şartlar altında yöntem, kontrollü polimerizasyon olanağı sunar. ATRP'nin temel özelliği, düşük konsantrasyonda aktif yayılan türler ile ağırlıklı olarak başlatıcı alkil halojenürler/makromoleküler türler şeklinde daha fazla sayıda hareketsiz zincir arasındaki bir denge tarafından kontrol edilir (Dalei & Das, 2022; Z. Liu et al., 2020).

#### *PAA'nın karakterizasyonu*

PAA'yı incelemek ve karakterize etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan tekniklerden bazıları kızılötesi spektroskopisi (FTIR), gaz ve sıvı kromatografisi, gaz geçirgenlik kromatografisi, spektrometri ve nükleer manyetik rezonanstır (NMR). Todica ve çalışma arkadaşları tarafından belirtildiği üzere, saf PAA'nın IR spektrumu, AA'nın karboksilik grubunun karbonil grubunun titreşimine atanan 1714 cm<sup>-1</sup>'de önemli bir keskin bant içermektedir. Diğer bantlar 629 cm<sup>-1</sup>'de δ(C=O, trans), 1130 cm<sup>-1</sup> (-CO) gerilme, 1300 cm<sup>-1</sup> (-OH) bükülme titreşimlerine ve 1446 cm<sup>-1</sup>'deki bant δ(-

CH<sub>2</sub>)'ye atfedilmiştir (Dalei & Das, 2022; Onuki et al., 2005). X-ışını kırınımı (XRD) tekniği ile, polimer matrisin ve inorganik takviye malzemesinin yönelimi gösterilir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile, yüzeylerin morfolojik özellikleri ve bağlanma yapıları gösterilir.

### *Akıllı PAA hidrojel*

Çoklu duyarlı özelliklere sahip PAA bazlı sistemler, sayısız uygulamada kullanılmak üzere zarif bir şekilde geliştirilmiştir.

#### *i. pH-duyarlı PAA hidrojel*

PAA anyonik olduğundan ve pKa değeri olan 4,7'nin üzerindeki pH değerlerinde iyonize olan karboksil grupları içerdiğinden, PAA'nın şişmesi pKa değerinin altında önemli ölçüde daha azdır. PKa değerinin üzerinde iyonize olabilen bileşenin varlığı nedeniyle; PAA aynı zamanda daha yüksek şişme gösterir. PAA'nın bu özelliğinden, eczacılık alanındaki uygulamalar için pH'a duyarlı biyomalzemelerin tasarımında, özellikle de bağırsak ilaçlarının ağız yoluyla verilmesinde büyük ölçüde yararlanılmıştır (Sethy et al., 2021). pH'a duyarlı davranış, düşük pH ortamında azalmış şişmeye ve ana polimerlerin fonksiyonel grupları arasındaki iyonik itme nedeniyle daha yüksek pH'ta artışa yol açan hidrojen bağı oluşumuna atfedilmiştir. pH'a duyarlı özelliklere sahip hidrojel, biyomedikal ve biyomedikal olmayan sektörler de dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalar için literatürde sıklıkla bahsedilmiştir (Dalei & Das, 2022).

#### *ii. Sıcaklık-duyarlı PAA hidrojel*

Birçok sıcaklığa duyarlı polimerden poli (N-izopropilakrilamid) (PNIPAAm) ~32 °C civarındaki düşük kritik çözelti sıcaklığı (LCST) nedeniyle kapsamlı bir şekilde incelenmiştir; bu, ilaç dağıtımında oldukça önemli olan insan vücut sıcaklığına yakındır. PNIPAAm-b-PAA'nın kopolimer ağları, Cong ve Zheng tarafından RAFT polimerizasyonu ile sentezlenmiştir. PNIPAAm ağlarına PAA'nın eklenmesi şişme oranını önemli ölçüde azaltırken, hidrojel, PNIPAAm'nin tek başına kullanılmasıyla karşılaştırıldığında sıcaklık değişikliklerine karşı gelişmiş termal tepki göstermiştir; bu, hidrojel davranışını etkileyen PNIPAAm ve PAA zincirleri arasındaki zincirler arası kompleksleşmenin oluşumuna atfedilmiştir. Göz damlalarının oda sıcaklığında bulanık olması, ancak kornea ile temas ettiğinde saydamlaşması sıcaklık duyarlı hidrojel malzemelere bir örnek verilebilir. Kontrollü ilaç salım uygulamalarında buradan sıklıkla faydalanılır. Selüloz bazlı, akrilik asit konjugeli nanojellerin faz geçiş aktiviteleri bu başlık altında incelenir (Singh et al., 2020).

#### *iii. pH-/sıcaklık-duyarlı PAA hidrojel*

PAA bazlı hidrojel ayrıca bir dizi doğal ve sentetik polimerle entegre olduklarında ikili pH ve sıcaklığa duyarlı davranış göstermiştir. Sıcaklığa duyarlı sistemlerde, hidrojen bağının ayrışmasıyla oluşan şişme nedeniyle hedef salı-

nımı daha yüksek sıcaklıkla artmıştır. pH'a bağlı salınımda, iyonik grupların durumlarının değişmesi nedeniyle pH 7'de maksimum salınımın gerçekleştiği pH'ı değiştirerek kontrol edilmiştir. Çalışmanın bulguları arasında, ilaç salınımının pH ve/veya sıcaklığa dayalı şişme/şişmeme derecesiyle düzenlenebileceği gösterilmiştir. Örneğin, literatürde, vitamin B12'nin salınımı, PVA ve PAA'nın karboksilat anyonları arasındaki itme nedeniyle şişme oranı arttıkça pH'daki artışla artmıştır bulgusu elde edilmiştir. Aynı şekilde, sıcaklıktaki düşüşle, daha yüksek şişme meydana geldikçe vitamin B12'nin salınımı artar (Dalei & Das, 2022; Thakur & Arotiba, 2018).

#### iv. *Elektro duyarlı PAA hidrojel*

Elektro-duyarlı elastomerler, aktüatör ve dönüştürücü uygulamalarında muazzam bir potansiyel sunar. PAA elastomerlerin hazırlanmasında büyük öneme sahiptir. Kitosan-g-PAA hidrojel elastomerlerinin IPN'leri düzenli yapıdadır. Elektrik alanı altında pozitif bir elektro-tepki gösterir. Önceki çalışmalar, gerilim-şekil değiştirme testleri, kitosan-g-PAA elastomerinin tokluğunun saf PAA jelinden daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Sonuç, benzer kimyasal bileşime sahip, elektrik alanının varlığında/yokluğunda elde edilen elastomerlerin farklı mikro yapıya sahip olduğunu gösterir. Elektroaktif PAA hidrojel yapıları yapay kaslar, lens aktüatörleri ve elektrik akımı modüle edilmiş ilaç dağıtım sistemleri olarak oldukça uygundur (Dalei & Das, 2022; Thien et al., 2022).

İlaç taşınımı ve hedef bölgede salınımı için biyoyumlu malzeme ihtiyacı doğar. Akıllı malzeme teknolojisinde hidrojel, buldukları ortamın pH, sıcaklık, basınç ve iyon gibi değişkenlerine verdikleri akıllı yanıtlarla oldukça ilgi çekicidir. Bu ilgi çekici malzemelere inorganik takviyeler eklendiğinde ortaya çıkan ileri seviye akıllı malzeme grubu, bilim insanlarına, istenilen doğrultuda yönlendirmeyi kolaylıkla sağlayacak bir çalışma penceresi açar. Bu çalışma, biyolojik uyumlu, fotokatalizör özelliğine sahip farklı miktarlardaki titanyum poliakrilik asit (PAA) hidrojellerine katılmasını içerir. Hidrojel, akrilik asit monomerlerinden yola çıkarak, serbest radikal başlatıcı varlığında gerçekleşen çözelti polimerizasyonu tekniği ile hazırlanmıştır. Titanyum katılmasının hidrojele etkisi FT-IR ve FESEM analizleri ile incelenmiştir. Katkı ve katkısız hidrojel davranışları izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, en iyi yüzeye sahip hidrojel %0,1 Ti katkılı PAA örneğine ait olduğunu göstermiştir. Şişme değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Sonuçlar, %0,1 titanyum katkılı poliakrilik asitin ileri çalışmalarda biyoteknolojik alanlarda kullanılmak üzere geliştirilmesine değer bulunmuştur.

### **Deneysel Kısım**

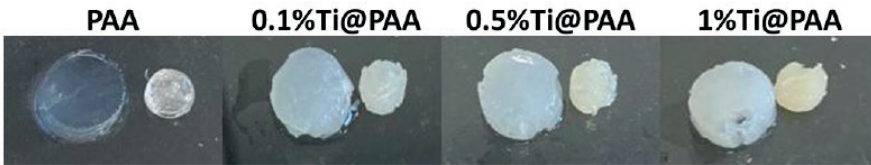
#### *Ti katkılı PAA hidrojelinin sentezi*

Akrilik asit bazlı poliakrilik asit kompozit hidrojel 70 °C'de 45dk. termal radikal başlatıcı (APS) varlığında sentezlenmiştir. Titanyum kaynağı olarak titanyum (IV) izopropoksit (Aldrich) kullanılmıştır. %0,1; 0,5 ve %1 oranında Ti eklenmiştir. Elde edilen jellerin kesilmiş halleri Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Akrilik asit kompozit jellere ait görüntüler (soldan sağa doğru; Ti katkısız AA bazlı PAA hidrojel; %0,1 Ti katkılı AA bazlı PAA kompozit hidrojel, %0,5 Ti katkılı AA bazlı PAA kompozit hidrojel, %1 Ti katkılı AA bazlı PAA kompozit hidrojel).

Hidrojel ve katkılı kompozit jellerin nem tutma ve şişme davranışları incelenmiş ve elde edilen görseller Şekil 2’de verilmiştir. Soldan sağa doğru, katkısız hidrojel ve artan miktarlarda Ti ilavesi ile hazırlanmış kompozit jeller su ile şişirilmiştir. Dengeye geldikleri şişme miktarı önceki çalışmalarda belirlenmiş ve şişme davranışı sonucu aşağıdaki veriler elde edilmiştir (Gokmen et al., 2021). Her bir örnek için şişmiş ve büzüşmüş hallerinin görseli sunulmuştur. Buna göre Ti miktarı jel bütünlüğünü bozmuştur. Yüksek miktarlarda katkılama devam edilmemesinin sebebi budur. PAA’nın hemen hemen her katkılı kompoziti benzer şişme değeri göstermiştir.



**Şekil 2.** Şişmiş ve şişmemiş jellerin karşılaştırılmalı gösterimi (soldaki: şişmiş).

## Analiz Sonuçları

### FT-IR analiz sonuçları

PAA ve kompozitlerindeki yapısal araştırmalar FT-IR spektroskopisi ile gerçekleştirilmiştir. FT-IR analizlerinden elde edilen çıkarımlar polimerler arasındaki karşılıklı veya iç etkileşimleri göstermektedir (Dalei & Das, 2022). PAA’nın FT-IR’ından  $3408\text{ cm}^{-1}$ ’de -OH bağlarının,  $2918\text{ cm}^{-1}$ ’de C-H bağlarının ve  $1713\text{ cm}^{-1}$ ,  $1294\text{ cm}^{-1}$  ve  $1040\text{ cm}^{-1}$ ’de uzanan C = O’nun varlığını ortaya

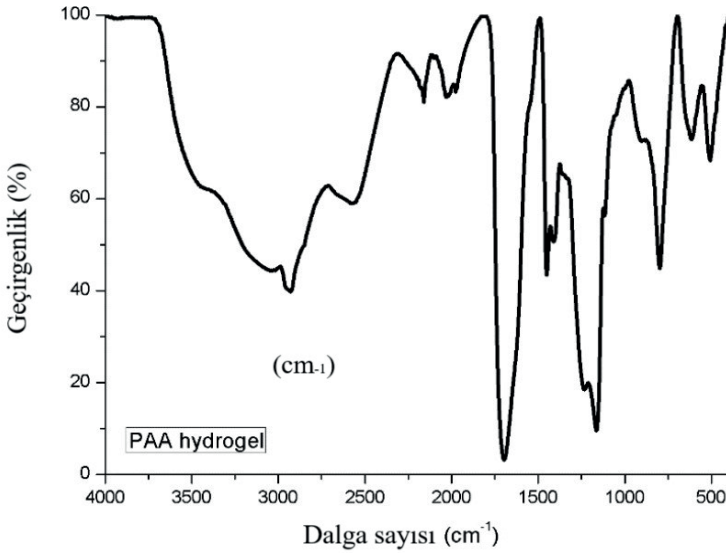
koymaktadır (Sethy et al., 2021). Tablo 1’de literatürde olması gereken fonksiyonel gruplarının IR spektrum dalga sayıları ve şiddetleri toplu halde verilmiştir.

**Tablo 1.** *Fonksiyonel gruplara ait FT-IR dalga sayıları ve şiddetleri*

Fonksiyonel Grup	Dalga sayısı (cm <sup>-1</sup> )	Şiddeti*
-OH	3600-3000	o
-CH	2950-2850	h
-C-O	1269	ş
-C-OH	1089	o

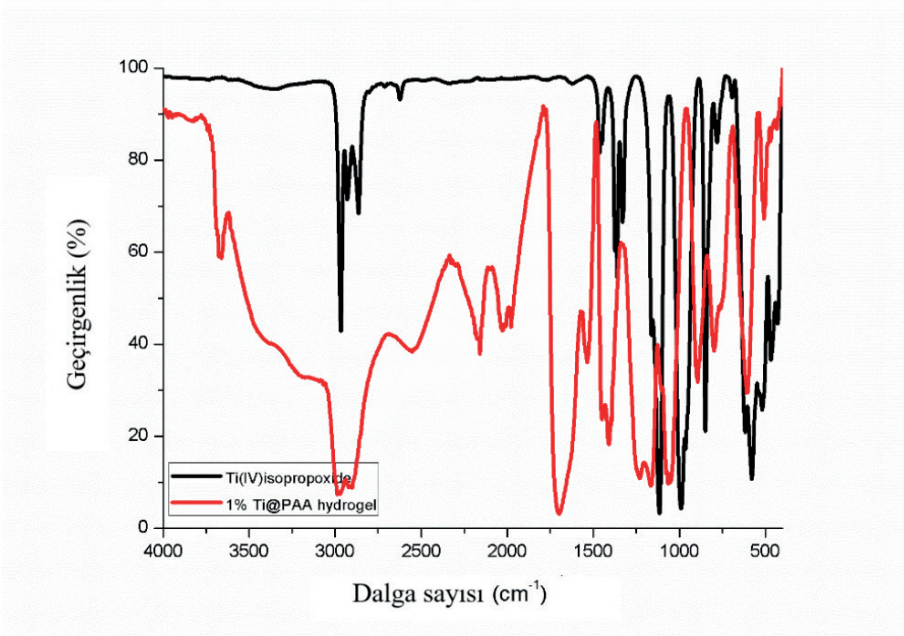
\*o; orta- h; hafif- ş; şiddetli

AA momonerinden yerinde polimerizasyon reaksiyonu ile gerçekleştirilerek elde edilen PAA hidrojeline ait FT-IR spektrumu Şekil 3’te verilmiştir. PAA’nın fonksiyonel gruplarına ait dalga sayıları Tablo 1’de gösterilmiştir. Buna göre literatürle uyumlu PAA sentezi gerçekleştirilmiş olup, ortamda çapraz bağlayıcı ve başlatıcı kalıntılarına rastlanmamıştır.



**Şekil 3.** *PAA’ya ait FT-IR spektrumu.*

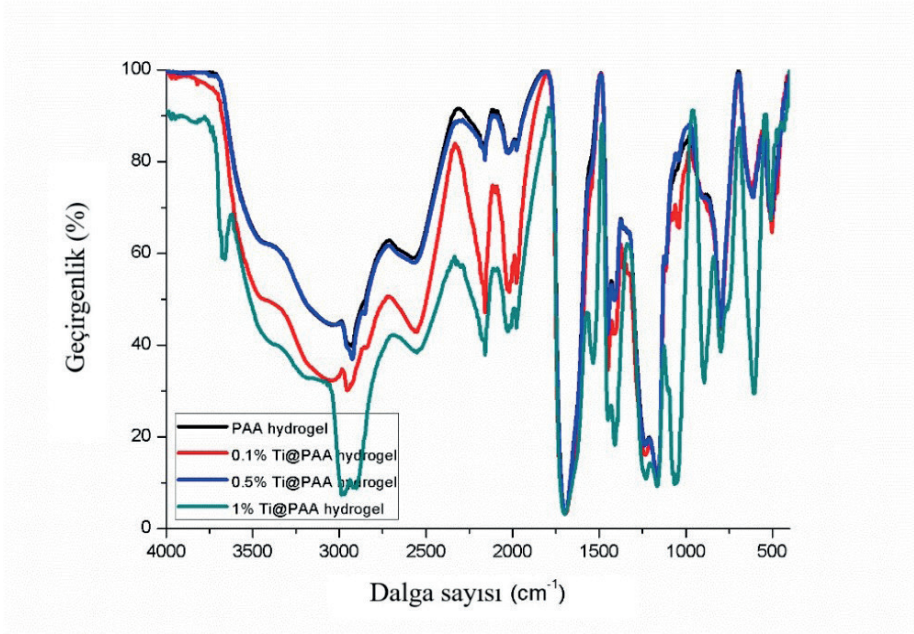
Şekil 4’te %1 Ti katkılanmış PAA kompozit hidrojeline ait spektrum kırmızı renkte gösterilmiştir. Katkılamanın gerçekleştiğini ispat niteliğinde Ti kaynağının siyah renkteki spektrumu da aynı grafikte verilmiştir. Bu durumda, Ti kaynağı için spesifik 1100 ve 1000 cm<sup>-1</sup> bantları ve 550 cm<sup>-1</sup> Ti-O bağı örneklerde kendini göstermiştir.



**Şekil 4.** *Ti kaynağına (siyah) ve %1 katkılı PAA hidrojeline (kırmızı) ait FT-IR spektrumu*

Farklı miktarlarda (%0,1; %0,5 ve %1) Ti katkılanmış ve katkılanmamış PAA hidrojellerinin karşılaştırılmalı FT-IR spektrumları Şekil 5'te verilmiştir. Bu grafiğe göre, Ti katkılanması OH bantlarında şiddetin artmasına neden olmuştur. %1 katkılama, şişme derecesinde de yapıyı bozduğu görüldüğü için, yeterince homojen dağıtılmadığı yargısına varılabilir. Bu da malzemenin istenilen özelliği göstermeyeceği durumunu doğurur. %0,5 katkılamanın FT-IR spektrumunda fonksiyonel gruplar üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Az miktarda nano takviyelerin kompozit malzemelerde fark yarattığı durumlara benzer olarak, Titanyum takviyenin az miktarı spesifik özelliklerini sunmaya yetmiştir.

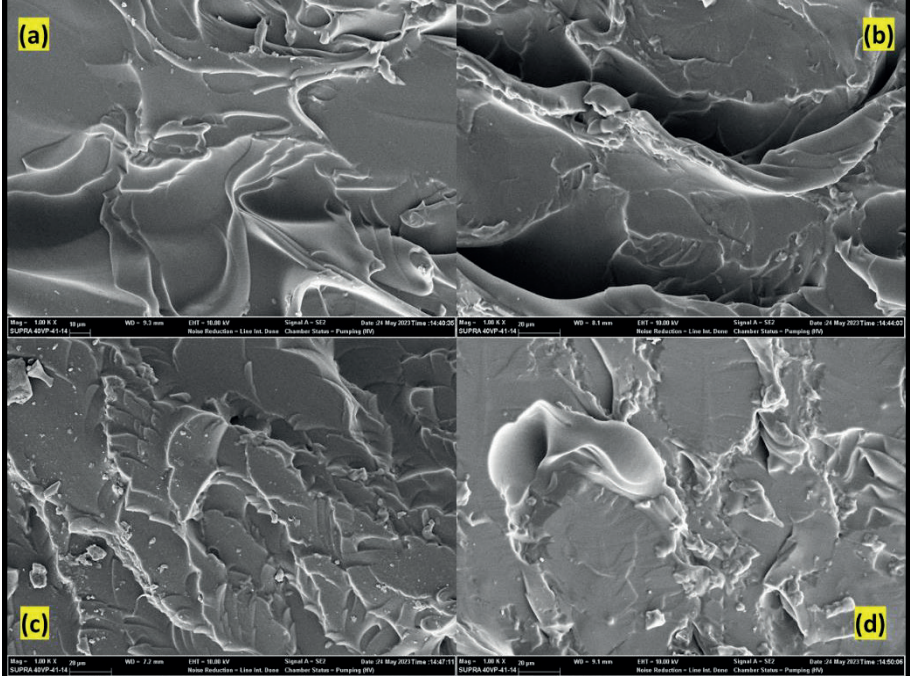




Şekil 5. Katılı ve katkısız PAA hidrojellerine ait FT-IR spektrumları.

#### SEM analiz sonuçları

Ti katılı ve katkısız PAA hidrojellerine ait SEM görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre (a) katkısız PAA hidrojelin ait SEM görüntüsünde yüzeyin yapraksı yapısında herhangi bir partikül bulunmazken, Ti katkısı arttıkça yaprak tabakalar arasında değişen oranlarda homojen Ti partikülleri gözlemlenmiştir. Yüzey özellikleri istenildiği şekilde en az katkılamanın olduğu örnekte (b) gözlemlenmiştir. Yüzeydeki titanyum fazlasının heterojen yığılması istenmeyen kompozit kusurudur. Yığılmanın olduğu bölgelerin daha kırılğan ve farklı reaktif özelliklerinin olduğu görüşü varsayılmıştır.



**Şekil 6.** (a) PAA; (b) 0.1%Ti@PAA; (c) 0.5%Ti@PAA ve (d) 1%Ti@PAA filmlerine ait SEM görüntüleri.

## Sonuç

Bu çalışma kapsamında, biyoyumlu malzemeler kullanımı hedeflenerek ileriye yönelik uygulama alanlarında kullanılmak üzere kompozit malzemesi hazırlamak amaçlanmıştır. Akrilik asit tercih edilmesinin sebebi, ilaç salım sistemlerinde kontrol edilebilir, gözenekli ve pH, sıcaklık, elektrokimyasal duyarlı hidrojel üretimine yatkın olmasıdır. Antibakteriyel özelliği bilinen, fotokatalitik uygulamalarda birçok kullanımı mevcut Titanyum bu çalışmada takviye malzemesi olarak tercih edilmiştir. Polimerizasyon için tercih edilen yöntem ise, serbest radikal polimerizasyon tekniğidir. Farklı miktarlarda katkılamının kimyasal yapıya ve örnek yüzeylerine etkisi incelenmiştir. Bu sonuçların tamamı incelendiğinde, en az miktarda titanyum ilavesinin en etkili kompozit oluşturduğu sonucuna varılmıştır. İleriki zamanda yapılacak çalışmalarda %0,1 titanyum katkılı PAA kompozit jellerinin en iyi biyoyumlu malzemelerinden biri olacağı tahmin edilmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen, 2022-01.BŞEÜ.11-02 kodlu projeden üretilmiştir. Çalışma içerisindeki tüm karakterizasyonlar, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Katkılarından dolayı kurum ve personeline teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKÇA

- Arkaban, H., Barani, M., Akbarizadeh, M. R., Chauhan, N. P. S., Jadoun, S., Soltani, M. D., & Zarrintaj, P. (2022). Polyacrylic Acid Nanoplatfoms: Antimicrobial, Tissue Engineering, and Cancer Theranostic Applications. In *Polymers* (Vol. 14, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym14061259>
- Burugapalli, K., Koul, V., & Dinda, A. K. (2004). Effect of composition of interpenetrating polymer network hydrogels based on poly(acrylic acid) and gelatin on tissue response: A quantitative in vivo study. *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*, 68(2), 210–218. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.10117>
- Cao, C., Wang, Y., Zheng, S., Zhang, J., Li, W., & Li, B. (2020). Poly ( butylene adipate- co -terephthalate )/ titanium dioxide / silver composite biofilms for food packaging application. *LWT*, 132(July), 109874. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109874>
- Chen, Y., Zhang, Y., Wang, F., Meng, W., Yang, X., Li, P., Jiang, J., Tan, H., & Zheng, Y. (2016). Preparation of porous carboxymethyl chitosan grafted poly (acrylic acid) superabsorbent by solvent precipitation and its application as a hemostatic wound dressing. *Materials Science and Engineering C*, 63, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.02.048>
- Cheng, J. P., Ma, R., Li, M., Wu, J. S., Liu, F., & Zhang, X. B. (2012). Anatase nanocrystals coating on silica-coated magnetite: Role of polyacrylic acid treatment and its photocatalytic properties. *Chemical Engineering Journal*, 210, 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.08.059>
- Dalei, G., & Das, S. (2022). Polyacrylic acid-based drug delivery systems: A comprehensive review on the state-of-art. In *Journal of Drug Delivery Science and Technology* (Vol. 78). Editions de Sante. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103988>
- Das, S., & Subuddhi, U. (2015). PH-Responsive guar gum hydrogels for controlled delivery of dexamethasone to the intestine. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79, 856–863. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.06.008>
- Gokmen, F. O., Yaman, E., & Temel, S. (2021). Eco-friendly polyacrylic acid based porous hydrogel for heavy metal ions adsorption: characterization, adsorption behavior, thermodynamic and reusability studies. *Microchemical Journal*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106357>
- Gudeman, L. F., & Peppas, N. A. (1995). pH-Sensitive membranes from poly ( vinyl alcohol ) / poly ( acrylic acid) interpenetrating networks. In *Journal of Membrane Science* (Vol. 107).
- Jose, J., Shehzad, F., & Al-Harhi, M. A. (2014). Preparation method and physical, mechanical, thermal characterization of poly(vinyl alcohol)/poly(acrylic acid) blends. *Polymer Bulletin*, 71(11), 2787–2802. <https://doi.org/10.1007/s00289-014-1221-3>
- Lin, J., Wu, J., Yang, Z., & Pu, M. (2001). Synthesis and properties of poly(acrylic acid)/mica superabsorbent nanocomposite. *Macromolecular Rapid Communications*, 22(6), 422–424. [https://doi.org/10.1002/1521-3927\(20010301\)22:6<422::AID-](https://doi.org/10.1002/1521-3927(20010301)22:6<422::AID-)

MARC422&gt;3.0.CO;2-R

- Liu, L., Jin, T., Liu, C., Hicks, K., Mohanty, A. K., Bhardwaj, R., Misra, M., Liu, L., Jin, T., Hicks, K., & Mohanty, A. K. (2008). *A Preliminary Study on Antimicrobial Edible Films from Pectin and Other Food Hydrocolloids by Extrusion Method A Preliminary Study on Antimicrobial Edible Films from Pectin and Other Food Hydrocolloids by Extrusion Method*. 0478. <https://doi.org/10.1080/15440470802460643>
- Liu, Z., Jia, Q., Li, X., Li, S., Shen, J., & Lin, J. (2020). Synthesis of hollow mesoporous HAp-Au / MTX and its application in drug delivery. *Colloids and Surfaces A*, 586(November 2019), 124231. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124231>
- Onuki, Y., Hoshi, M., Okabe, H., Fujikawa, M., Morishita, M., & Takayama, K. (2005). Formulation optimization of photocrosslinked polyacrylic acid modified with 2-hydroxyethyl methacrylate hydrogel as an adhesive for a dermatological patch. *Journal of Controlled Release*, 108(2–3), 331–340. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2005.08.022>
- Sethy, P. K., Mohapatra, P., Patra, S., Bharatiya, D., & Swain, S. K. (2021). Antimicrobial and barrier properties of polyacrylic acid/GO hybrid nanocomposites for packaging application. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 26, 100747. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2021.100747>
- Singh, J., Kumar, S., & Dhaliwal, A. S. (2020). Controlled release of amoxicillin and antioxidant potential of gold nanoparticles-xanthan gum/poly (Acrylic acid) biodegradable nanocomposite. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 55. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101384>
- Temel, S., Yaman, E., Ozbay, N., & Gokmen, F. O. (2019). Synthesis, characterization and adsorption studies of nano-composite hydrogels and the effect of SiO<sub>2</sub> on the capacity for the removal of Methylene Blue dye. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 85(7), 939–952. <https://doi.org/10.2298/JSC190517114T>
- Thakur, S., & Arotiba, O. A. (2018). Synthesis, swelling and adsorption studies of a pH-responsive sodium alginate–poly(acrylic acid) superabsorbent hydrogel. *Polymer Bulletin*, 75(10), 4587–4606. <https://doi.org/10.1007/s00289-018-2287-0>
- Thien, D. V. H., Lam, D. N., Diem, H. N., Pham, T. Y. N., Bui, N. Q., Truc, T. N. T., & Van-Pham, D. T. (2022). Synthesis of cellulose-g-poly(acrylic acid) with high water absorbency using pineapple-leaf extracted cellulose fibers. *Carbohydrate Polymers*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119421>



## *Bölüm 9*

### **KARINCALI BÖLGESİ (KIRŞEHİR) DOĞALTAŞ OCAĞI ARTIKLARININ SÜS OBJESİ (DEKORATİF ÜRÜN) OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ: ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ YAKLAŞIMI<sup>1</sup>**

*İlkay KAYDU AKBUDAK, Gökhan EKİNCİOĞLU*

<sup>1</sup> Dr.Öğr.Üyesi. İlkay KAYDU AKBUDAK, <https://orcid.org/0000-0003-0884-5991>, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 40100, Kırşehir

<sup>2</sup> Doç.Dr. Gökhan EKİNCİOĞLU, <https://orcid.org/0000-0001-9377-6817>, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Kaman MYO Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, 40100, Kırşehir

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel simbiyoz, endüstriyel artıkların işletmeler arası değişimlerini teşvik etmenin faydalarına odaklanmakta ve çevresel sorunları çözebilmek için endüstriyel faaliyetlerin mekânsal yakınlığından faydalanmaktadır (Demircioğlu ve Ever, 2020). Doğal taş madenciliği sırasında blok olarak kullanılmayacak ebatlarda doğal taş ocak artıkları ortaya çıkmaktadır (Aydın ve Karakurt., 2020). Doğal taş ocak artıkları, çalışılan ocağın kapasitesi ve çalışılan bölgedeki ocak sayısına bağlı olarak görsel açıdan çevresel sorunlar oluşturabilmektedir (Şimşek ve Perker., 2022; Sayın, vd., 2023). Her ne kadar artık da olsa öz kaynakların endüstriyel simbiyoz çerçevesinde farklı sektörlerde endüstriyel hammadde kaynağı olarak kullanılması (Ersoy, vd., 2015; Ekincioğlu vd., 2018; Ekincioğlu vd., 2022) gerek ekonomiye vereceği katkı gerekse çevresel etkilerin bertarafı açısından önem arz etmektedir. Örneğin, doğal taş ocak artıkları, doğal taşın jeokimyasal özelliklerine bağlı olarak inşaat sektöründe dolgu ve beton malzemesi ve çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabilir (Arsoy, vd., 2019). Ayrıca mimaride peyzaj çalışmalarında ve bahçe düzenlemelerinde bahçe yolları, duvarlar, çevre düzenlemeleri ve süs havuzlarında kullanılmaktadır (Karaca, vd., 2012).

Doğal taş artıklarının inşaat sektörü ve mimari tasarımlarda kullanılmasının yanı sıra renk ve dokusundaki albenisine bağlı olarak süs taşı, takı tasarımı, kalemlik, isimlik, taş saksılar, duvar süsleri ve mozaik gibi sanatsal daha birçok dekoratif ürünlerin yapımında da kullanılabilir.

Doğal taş artıklarının süs taşı olarak kullanılabilirliği, hem çevresel hem de artıkların ekonomiye kazandırılması açısından önemlidir. Bu malzemelerin geri dönüştürülmesi, çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlamasının yanı sıra öz kaynakların daha verimli kullanılması ile doğal kaynakların korunmasını da sağlamaktadır.

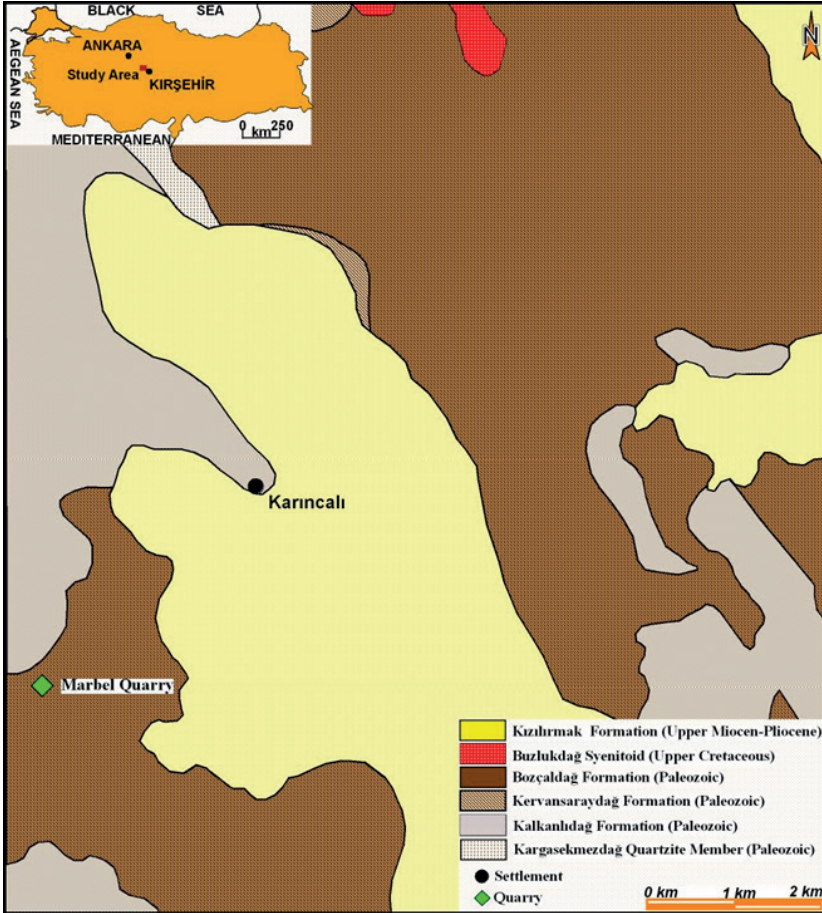
Süstaşı işlemeciliği, çalışılan bölgede önemli bir istihdam kaynağı oluşturmaktadır (Kaydu Akbudak vd., 2018; Arık, & Özen, 2020; Arık, & Ruşen, 2022). İşlemecilik, taşların kesilmesi, şekillendirilmesi, parlatılması ve cilalanması gibi işlemleri kapsamaktadır (Arık vd., 2022; Kaydu Akbudak vd., 2022; Başbüyük, vd., 2020; 2023). Bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için makine ekipman gereksinimi yanı sıra insan gücüne de ihtiyaç duyulmaktadır (Gürbüz, & Demir, 2023). Süstaşı işlemeciliği sektörü bölgesine kazandırdığı istihdamın yanı sıra turizm sektörüne de katkı sağlamaktadır. Doğal taşlar, turistik bölgelerde hediyelik eşya olarak satılmakta ve turistler tarafından sıklıkla tercih edilmektedir.

Kırşehir 20 yıl öncesine kadar oniks taşı işlemeciliği noktasında ülkemizde marka değeri olan illerimiz arasına girmiştir. Ancak oniks kaynaklarının tükenmesi sonucunda 40'a yakın işletme kapanmış olup bugün sadece bir adet işletme ile faaliyet göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında, Kırşehir'in Karıncalı bölgesinde ortaya çıkan doğal taş ocağı artıklarının renk ve dokusundaki albenisine bağlı olarak Kırşehir'de süstaşı işlemeciliğinin geliştirilmesi ve eski günlerine kavuşturulması konusuna dikkat çekilmeye çalışılmıştır.

### 1.1. Genel Jeoloji

İnceleme sahası ve yakın çevresindeki en yaşlı seviyeyi Kırşehir Masifine ait şist, gnays, amfibolit ve mermerlerden oluşan Paleozoyik yaşlı metamorfitlet oluşturmaktadır. Seymen (1981), yaptığı çalışmada birimi 3 formasyona ayırmıştır. Bunlar yaşlıdan gence doğru, Kalkanlıdağ, Kervansaray Tamadağ ve Bozçaldağ formasyonlarıdır (Ekincioglu ve diğ., 2014). Üst Kretase-Paleosen yaşlı siyenitoyid bileşimli magmatikler kendinden yaşlı birimleri keserek yerleşmişlerdir. Tüm bu birimleri Üst Miyosen-Kuvaterner yaşlı sedimanter birimler uyumsuzlukla örtmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Karıncalı bölgesi jeoloji haritası (MTA, 2002; Alkan ve diğ., 2022)

## 2. MATERYAL VE METOD

İncelenen kalkıştelerin arazideki dağılımı ve makroskopik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile inceleme sahasından örnek alımı gerçekleştirilmiş ve 1/25000'lik harita üzerine işlenmiştir. Elmas kaplama testere, sinter elmas aşındırıcı diskler ve polisaj makinesi kullanılarak araziden alınan kalkışt örneklerine süstaşı kesim teknikleri uygulanarak aksesuar ve süstaşı olarak kullanılabilirlikleri ortaya konulmuştur.

## 3. BULGULAR

### 3.1. Saha Çalışması

Kırşehir ili Karıncalı bölgesindeki faaliyet gösteren mermer sahası 1887 hektarlık bir alanı kapsamaktadır (Ekincioğlu ve diğ. 2014). Karıncalı bölgesinde üretim yapan iki farklı maden işletmesi bulunmaktadır.

Bölgede işletilmekte olan kalkıştler siyah renkli olup, orta blok verimliliğine sahiptir. Ocakların genel görünümü, artıklar (moloz) ve kalkıştlerin renk ve dokularını gösteren bloklar Şekil 2'de ve Şekil 3'de gösterilmiştir. Bölgede işletilen kalkıştlerin ticari ismi Nero Picasso'dur ve cilalı plaka görünümü Şekil 4 ve 5'te verilmiştir (Ekincioğlu ve diğ. 2014).



Şekil 2. Karıncalı bölgesi EBA Madencilik'e ait mermer ocağının görünümü





Şekil 3. Karıncalı bölgesi EBA Madencilik'e ait mermer ocağının genel görünümü, artıklar (moloz) ve kalkıştelerin renk ve dokularını gösteren bloklar



Şekil 4. Nero Picasso'nun blok ve plaka görünümü



şekil 5. Nero Picasso'nun blok görünümü

### 3.2. Süs Objesi Üretim Çalışmaları

Karıncalı bölgesinde bulunan ve işletilen doğal taş ocaklarının artıklarından alınan kalkşist örnekleri kesme, kaba traşlama, zımparalama ve cilalama işlemlerine tabi tutularak bu örneklerden iç mekan süslemeleri, duvar aksesuarları, işlevsel eşya üretimi, hediyelik aksesuarlar ve süstaşı üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5,6,7).

Kalkşistlerin siyah beyaz-kahverengi renkli kıvrımlı bantlar halindeki göz alıcı desenleri içermesi, işlenebilirlik, dayanıklılık, iyi cila tutma gibi özelliklerinden dolayı takı, aksesuar ve koleksiyon amaçlı ürünlerin oluşturulmasına elverişli oldukları belirlenmiştir.



Şekil 5. İnceleme alanındaki kalkşistten yapılmış hediyelik aksesuar



Şekil 6. İnceleme alanındaki kalkşistlerden yapılmış dekoratif eşya ve iç mekan süslemeleri.



**Şekil 7.** İnceleme alanındaki kalkıştlerden yapılmış iç mekan süslemeleri, işlevsel eşyalar.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kırşehir ili merkez sınırları içerisinde yer alan Karıncalı bölgesinde bulunan ve doğal taş ocağı olarak işletilen iki sahadan alınan kalkıştlerin arazi, makroskobik ve doğaltaş işleme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kalkıştlerin bulunduğu inceleme sahası ve yakın çevresinde Kırşehir Masifine ait şist, gnays, amfibolit ve mermerlerden oluşan Paleozoyik yaşlı metamorfitleler yer almaktadır. Seymen (1981), yaptığı çalışmada birimi 3 formasyona ayırmıştır. Bunlar yaşlıdan gence doğru, Kalkanlıdağ, Kervansaray Tamadağ ve Bozçaldağ formasyonlarıdır. 1887 hektarlık bir alanda gözlenen kalkıştler üretim yapan iki farklı maden işletmesi tarafından işletilmektedirler. İnceleme alanındaki kalkıştler orta blok verimliliğine sahip olup siyah-beyaz-kahverengi renkli kıvrımlı bantlardan oluşan desenlerde gözlenmektedir. Bölgedeki kalkıştlerin birbirinden farklı desenler ve görsel zenginlikler sunmaları, bu doğaltaşların sadece endüstriyel amaçlı olarak değil ayrıca sanatsal açıdan da kullanımına imkan sağlamaktadır.

- Arsoy, vd., (2019) ve Karaca, vd., (2012); yapmış oldukları çalışmalarında doğal taş artıklarının inşaat sektörü ve mimari tasarımlarda kullanılmasının yanı sıra renk ve dokusundaki albenisine bağlı olarak süs taşı, takı tasarımı, kalemlik, isimlik, taş saksılar, duvar süsleri ve mozaik gibi sanatsal daha birçok dekoratif ürünlerin yapımında da kullanılabilirliklerini belirtmişlerdir. Benzer şekilde inceleme alanından alınan çeşitli renklerde bantlardan oluşan ve birbirinden farklı desenler içeren kalkıştler süstaş işleme aşamalarından olan kesme, aşındırma ve parlatma gibi işlemlerine tabi tutulmuştur. Dolayısı ile renk, doku, işlenebilirlik, dayanıklılık, iyi cila tutma gibi özelliklerinden dolayı aksesuar üretimi ve koleksiyon amaçlı kullanılabilir oldukları ortaya konmuştur. Böylelikle bölgede işletilen doğaltaş ocağı artıklarının çeşitli işlevsel ve dekoratif ürünlerin üretiminde değerlendirilerek endüstriyel

simbiyoz yaklaşımı ile hem çevreye olan olumsuz etkiler en aza indirilmiş olacak hem de yeni bir istihdam kolu oluşmasına imkan sağlayarak bölge ekonomisine maddi açıdan katkı sağlayabilecektir.

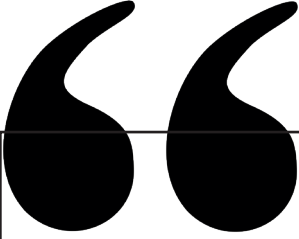
Bu çalışma kapsamında, Kırşehir'in Karıncalı bölgesinde ortaya çıkan doğal taş ocağı artıklarının renk ve dokusundaki albenisine bağlı olarak Kırşehir'de süstaşı işlemeciliğinin geliştirilmesi ve oniks işlemeciliğinde marka değeri taşıdığı eski günlerine kavuşturulması noktasına dikkat çekilmeye çalışılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Alkan, Y., Gölbaş, A., Ekincioglu, G., Başibüyük, Z. (2022) “Engineering Properties of The Natural Building Blocks Used At The Karıncalı Byzantium Church (Kırşehir, Turkey) And Source Rock Identification (Kırşehir-Turkey)”, Kitap: Orta Anadolu Arkeoloji, Antropoloji Ve Sanat Tarihi Araştırmaları, Ankara/ Türkiye : Myrina Yayınları
- Arık, F., & Özen, Y. (2020). Tokat Yöresi Jasper Oluşumlarının Mineralojik-Petrografik, Jeokimyasal Özellikleri ve Süstaşı Olarak Kullanılabilirliği. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1), 451-460.
- Arık, F., & Ruşen, A. (2022). Döllük ve Gümenek (Tokat-Türkiye) Kalsedonlarının Jeokimyasal Özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 65(3), 255-272.
- Arık, F., Turhal, E., & Özen, Y. (2022). Almus (Tokat) Yöresindeki Akiklerin Jeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 65(3), 233-254. <https://doi.org/10.25288/tjb.1067344>
- Arsoy, Z., Çiftçi, H., Ersoy, B., Uygunoğlu, T., & Arslan, B. (2019). Afyonkarahisar Bölgesi Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması. El-Cezeri, 6(3), 503-516.
- Aydın, G., & Karakurt, İ. (2020). Doğaltaş üretim ve işleme tesis atıklarının değerlendirilmesi. ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 62-77.
- Başibüyük, Z., Akbudak, I. K., & Gürbüz, M. (2020). Mineralogical, geochemical and gemological investigation of Artova Ch-chalcedonies, Tokat-Turkey.
- Başibüyük, Z., Gürbüz, M., & Akbudak, I. K. (2023). Surprise eggs, the miracle of nature: almus agates (Tokat-Turkiye). Gospodarka Surowcami Mineralny-mi-Mineral Resources Management, 5-22.
- Demircioğlu, E. N., & Ever, D. (2020). Döngüsel ekonomiye geçişte endüstriyel simbiyozun maliyetler üzerine etkisi. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 29(3), 461-473.
- Ekincioglu, G., Başibüyük, Z., Gölbaş, A., & Kaydu Akbudak, İ. (2018). Geçmişten Günümüze Doğaltaş Mozaik Sanatı ve Geleceğe Aktarılması. International Journal of Interdisciplinary and Intercultural Art, 3(4), 81-91.
- Ekincioglu, G., Başibüyük, Z., Büyükbayrak, F., & Kaydu Akbudak, İ., (2022). Kırşehir bölgesi mermerlerinin mikronize kalsit olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Aksaray University Journal of Science and Engineering, 6(2), 178-191.
- Ekincioglu, G., Başibüyük, Z., Ekdur, E., Ballı, F., & Kanbir, E. S. (2014). Kırşehir Doğal Taş Sektör Analizi ve Yatırım İmkânları Raporu. Kırşehir Sanayi ve Ticaret Odası.
- Ersoy, B., Sayın, Z. E., Arsoy, Z., Sayın Ü., (2015), Yeterince Farkında Olamadığımız Atıl Kaynağımız: Doğaltaş Ocak ve Fabrika Atıkları, Maden Ocak Teknolojileri, 27, 92- 100

- Gürbüz, M., & Demir, B. (2023). Musalı (Mersin-Türkiye) Malahit-Azurit Oluşumlarının Mineralojik Ve Gemolojik Özellikleri. *Geosound*, 58(1), 135-160.
- Karaca, Z., Öztank, N., Gökçe, M.V., Elçi, H. ve Pekin, A., (2012), Mimaride Taş Kaplamaların Kullanım Ömrünü Etkileyen Faktörler, 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi "MERSEM", 721-726, 2012, Afyonkarahisar, Türkiye.
- Kaydu Akbudak, İ., Başıbüyük, Z., Gürbüz, M., Önal, A. Ö., & İşler, F., (2018) "Yamağ Volkanitleri İçerisinde Silisli Süstaşları: Mineralojik, Jeokimyasal, Gemolojik Özellikleri ve Ekonomik Önemleri, Arguvan-Malatya", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33 (1) pp. 211-219
- Kaydu Akbudak, İ., Ketenci, D. E., & Gürbüz, M. (2022). Kaman (Kırşehir-Türkiye) floritlerinin mineralojik ve gemolojik özellikleri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1012-1023.
- MTA, 2002. 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sayın, Z. E., Çiftçi, H., & Gürsoy, M. (2023). Doğaltaş Toz Atıklarından İnce Tane Boyutlu Kalsiyum Karbonatın Hidrosiklon İle Kazanılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(3), 614-624.
- Seymen, İ. (1981), Kaman (Kırşehir) dolayısında Kırşehir Masifinin stratigrafisi ve metamorfizması. *TJK Bülteni*, C.24, 7-14
- Şimşek, S., & Perker, Z. S. (2022). Ulusal Mermer İşletmesi Temsilcilerinin Mermer Atığı Oluşumuna Yönelik Gözlemleri ve Atık Değerlendirme Konusundaki Düşünceleri Üzerine Bir Araştırma. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 4(1), 32-52.





## *Bölüm 10*

### **PROTEİN TÜREVLİ ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ**

*Kibar ARAS<sup>1</sup>*

*Melisa ÖĞRETİCİ<sup>2</sup>*

*Sinem ORTABOY SEZER<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Kibar ARAS, Araştırma Görevlisi, Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, 0000-0002-1736-958X

<sup>2</sup> Melisa ÖĞRETİCİ, Yüksek Lisans Öğrencisi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, 0009-0003-4141-1009

<sup>3</sup> Sinem ORTABOY SEZER, Doçent Doktor, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, 0000-0003-3152-1637

## 1. Protein Hakkında Genel Bilgiler

Canlı organizmaların temel yapı taşlarından biri olup, amino asitlerin polimerleşmesiyle oluşan proteinler, biyokimyasal reaksiyonları kataliz etme, yapısal destek sağlama ve hücrenel süreçleri düzenleme gibi biyolojik sistemlerde kritik roller oynamaktadır. Bu moleküller, hücrenel işlevlerin gerçekleştirilmesinde kritik öneme sahiptir ve enzimatik aktivitelerden hücre yapısına kadar birçok mekanizmada görev almaktadır. Üç boyutlu konformasyonları, aktivitelerini ve diğer biyomoleküllerle etkileşimlerini önemli ölçüde etkilediğinden, proteinlerin yapısı ve işlevi karmaşık bir sistematığe bağlıdır (Bisvas & Roy, 1995). Proteinlerin yapısında 20 farklı amino asit bulunmaktadır, bunlardan 9'u vücut tarafından sentezlenemez ve "esansiyel" olarak adlandırılır, bunların haricinde kalan amino asitler ise "esansiyel olmayan" amino asitler olarak adlandırılmaktadır (Khadka, 2021).

**Esansiyel amino asitler;** insan vücudu için hayati öneme sahip olan ve dışarıdan besin yoluyla alınması gereken amino asitlerdir. Esansiyel amino asitler arasında arjinin, histidin, fenilalanin, lizin, metionin, treonin, triptofan, lösin, izolösin ve valin bulunmaktadır (Khadka, 2021). Bu amino asitlerin en önemli işlevlerinden biri, protein sentezine katılmalarıdır. Ayrıca hormon üretiminde, bağışıklık sisteminin işlevlerinde ve birçok metabolik süreçte kritik roller üstlenmektedir. Vücut, hücrelerin yapısını ve işlevini destekleyen proteinleri üretmek için bu amino asitlere ihtiyaç duymaktadır. Özellikle kas dokusu, enzimler ve hormonlar gibi birçok biyolojik molekül, esansiyel amino asitlerin varlığına ihtiyaç duyar. Örneğin;

- Lösin, kas protein sentezini teşvik eden bir amino asittir ve sporcular için önemli bir besin maddesi olarak kabul edilmektedir.

- Lizin, protein sentezi ve kalsiyum emilimi için gereklidir, eksikliği bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve enfeksiyonlara karşı direncin azalmasına neden olabilmektedir,

- Metiyonin ise hücre büyümesi ve onarımı için önemlidir, eksikliği hücrenel onarım ve detoksifikasyon süreçlerinde aksamalara yol açmaktadır. Bu nedenle, dengeli bir beslenme ile yeterli miktarda esansiyel amino asit alımı sağlanmalıdır (Wu, 2009).

- Ayrıca esansiyel amino asitler, nörotransmitterlerin sentezinde de rol oynamaktadır. Örneğin, triptofan, serotonin üretiminde kritik bir öneme sahiptir. Serotonin, ruh hali, uyku ve iştah gibi birçok fizyolojik süreçte etkili olan bir nörotransmitterdir. Bunun yanı sıra, fenilalanin, dopamin ve norepinefrin gibi diğer önemli nörotransmitterlerin sentezinde de yer almaktadır.

**Esansiyel olmayan amino asitler;** vücut tarafından sentezlenebilen amino asitlerdir. Bu amino asitler, vücudun ihtiyaç duyduğu durumlarda, diğer amino asitlerden veya besinlerden sentezlenebilmektedir. Bu grupta, alanin,

aspartik asit, glutamik asit ve serin gibi amino asitler yer almaktadır (Yoshimura & Esaki, 2003). Ancak bazı durumlar ve belirli koşullar altında bazı esansiyel olmayan amino asitler, vücudun ihtiyaçlarını karşılamak için esansiyel hale gelebilmektedir. Örneğin, arjinin ve tirozin, bazı durumlarda koşullu olarak esansiyel amino asitler olarak kabul edilmektedir (Yoshimura & Esaki, 2003).

Sonuç olarak, proteinler, esansiyel ve esansiyel olmayan amino asitler, insan sağlığı ve beslenmesi açısından sağlıklı bir yaşam için kritik öneme sahiptir. Esansiyel amino asitlerin yeterli alımı, vücudun optimal işlevselliği için gereklidir ve bu nedenle çeşitli besin kaynaklarından dengeli bir şekilde alınması önerilmektedir (Dikici & Altuntaş, 2023).

### 1.1. Proteinlerin Yapısı

Proteinlerin yapısal çeşitliliği, biyolojik işlevlerinin karmaşıklığını yansıtmaktadır. Örneğin, protein komplekslerinin oluşumu, belirli bir düzen içinde gerçekleşir ve bu düzen, proteinlerin işlevsel özelliklerini büyük oranda etkilemektedir (Mune et al., 2017; Ramos-Clamont et al., 2003).

Protein yapısı, genellikle dört ana seviyede incelenmektedir. Bunlar; birincil, ikincil, üçüncül ve dördüncül yapılarıdır. Bu yapıların her biri, proteinlerin işlevselliği ve etkileşimleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

- **Birincil yapı**, proteinlerin amino asit dizisini ifade etmektedir. Bu dizilim, proteinlerin temel özelliklerini belirler, genetik bilgi tarafından kodlanır ve proteinlerin katlanma sonrasında oluşacak yapılarının belirleyicisi olmaktadır. Amino asitlerin sırası, proteinlerin katlanma süreçlerini ve nihai üç boyutlu yapılarını etkilemektedir (Eisenhaber, Persson & Argos 1995).

- **İkincil yapı**, polipeptid zincirinin yerel düzenlemelerini içermekte ve  $\alpha$ -sarmal ile  $\beta$ -yaprak gibi yapılarla karakterize edilmektedir. Bu yapılar, hidrojen bağları gibi zayıf etkileşimler aracılığıyla stabil hale gelip proteinlerin genel yapısına katkıda bulunmaktadır (R. Shenoy & Jayaram, 2011).

- **Üçüncül yapı**, tüm protein molekülünün üç boyutlu konfigürasyonunu tanımlar ve genellikle disülfür köprüleri, hidrofobik etkileşimler ve iyonik bağlar gibi daha güçlü etkileşimler tarafından stabilize edilmektedir. Proteinlerin diğer moleküllerle etkileşimlerini belirlemesinden ötürü proteinlerin işlevselliği için kritik öneme sahiptir (Eisenhaber, Persson & Argos, 1995).

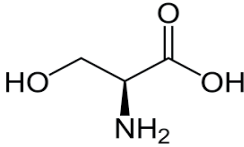
- **Dördüncül yapı ise**, birden fazla polipeptid zincirinin bir araya gelerek oluşturduğu kompleks yapıları ifade etmektedir. Bu yapılar proteinlerin işlevselliğini artırarak birçok biyolojik süreçte önemli rol oynamaktadır (Fennema, Damodaran, & Parkin, 2017). Örneğin, hemoglobın gibi allosterik proteinlerde, ligand bağlanması sonucu konformasyonel değişiklikler meydana

na gelir ve bu da proteinlerin işlevselliğini etkilemektedir (Bruno et al., 2001). Dördüncül yapıların sınıflandırılması, proteinlerin fonksiyonel özelliklerini anlamak için önemlidir ve bu bağlamda çeşitli hesaplamalı yöntemler geliştirilmiştir (Şentürk et al., 2022). Proteinlerin dördüncül yapısının anlaşılması, biyomoleküler mekanizmaların ve hastalıkların anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir (Dikici & Altuntaş, 2023). Bu nedenle, protein yapılarının analizi, biyoinformatik ve yapısal biyoloji alanlarında önemli bir araştırma alanıdır. Bu yapılar arasındaki etkileşimler, proteinlerin işlevselliğini ve biyolojik sistemlerdeki rollerini belirlemekle kalmayıp, protein yapısının detaylı incelenmesi, biyomoleküler araştırmalar ve ilaç tasarımı gibi alanlarda önemli uygulamaların anlaşılmasına ışık tutmaktadır.

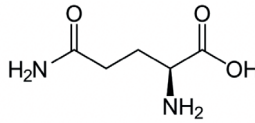
Proteinler içerdikleri yan zincirlere göre 4 farklı grupta incelenmektedir.

- İlk grup amino asitlerin hepsinde hidrofobik veya nonpolar yan zincir bulunmaktadır. Hidrofobik amino asitler yan zincir olarak bir hidrokarbon içermektedir. Alanin bu grupta yer alan bir amino asittir ve metil grubu içermektedir. Nonpolar amino asitler ise proteinler içerisinde birbirleriyle hidrofobik bağlar oluşturabilmektedir. Bu gruptaki amino asitlere örnek olarak prolin ve metiyonin verilebilmektedir.

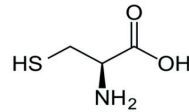
- İkinci grup amino asitler polar yüksüz yan zincir içermektedir ve bu gruba dahil amino asitler hidrofilik yapıdadır. Serin, glutamin ve sistein bu gruba örnek verilebilecek amino asitlerdendir. Bütün polar amino asitler proteinler içerisinde H bağları oluşturabilmektedir. Sistein içerdiği disülfür bağları sayesinde özel bir yapıya sahiptir. Disülfür bağları içeren bu tip proteinler ısıya ve bağ açılmasına karşı daha dayanıklıdır.



*Serin*

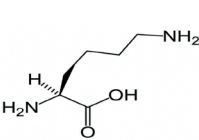


*Glutamin*

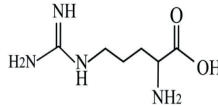


*Sistein*

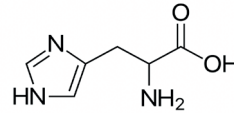
- Üçüncü ve dördüncü grup amino asitler elektrik yükü kazanmış amino asitlerdir. Bunlar pozitif yüklenmiş (bazik) lizin, arjinin, histidin ve negatif yüklenmiş (asidik) aspartik asit ve glutamik asitten oluşmaktadır.



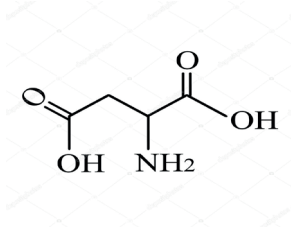
*Lizin*



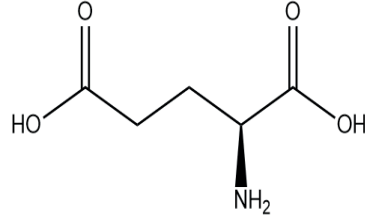
*Arjinin*



*Histidin*



Aspartik Asit



Glutamik Asit

Proteinlerde, asidik ve bazik yan zincir içeren amino asitler birbirleriyle iyonik bağlar veya tuz köprüleri kurarak etkileşime girmektedirler. Bunun yanı sıra zıt yükte yüklenmiş olan gruplar birbirleriyle iyonik bağlar oluşturabilmektedirler.

Amino asitler, peptid bağlarıyla bağlanarak proteinlerin iskeletini oluşturmaktadır. Peptid bağları kolayca parçalanmayan kuvvetli bağlardır. Proteinleri oluşturan ünitelerin isimlendirilmelerinde, peptid bağı ile bağlanan amino asit sayısı dikkate alınmaktadır. Örneğin, iki amino asidin bağlanması sonucu oluşan yapılar dipeptid, üç amino asidin bağlanmasıyla oluşan yapılar tripeptid adı verilirken, maksimum on amino asidin bağlanmasıyla oluşan yapılar oligopeptid adı verilmektedir. On taneden daha fazla sayıda amino asidin bağlanmasıyla polipeptid adı verilen protein üniteleri meydana gelmektedir.

Her protein uzayda kendisine özgü bir şekil almaktadır ve bu şekillerin oluşumunda proteinlerin içerdikleri amino asitler ve amino asitlerin yan zincirleri etkili olmaktadır.

Proteinler, peptidler ve amino asitler gibi biyomoleküller, metal oksit ve metal hidroksit bazlı enerji depolama sistemlerine umut verici alternatifler olarak ortaya çıkmıştır. Bu biyomoleküller, bol miktarda hammadde kaynağı, yüksek güvenlik, toksik olmama ve cihaz imalatının kolaylığı gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır (Biradar, Mirgane, Bhosale, & Bhosale, 2024). Proteinden türetilen mezogözenekli azot açısından zengin karbonun, lityum iyon piller ve süperkapasitörlerdeki anot malzemelerinin yüzey alanını artırdığı gözlemlenmiştir (Li et al., 2013).

## 2. Enerji Depolama Sistemleri

Son yıllarda dünya nüfusun hızla artmasıyla oluşan enerji talebi, fosil yakıt bazlı enerji tüketimi ve bunların çevre üzerindeki olumsuz etkileri doğrudan ya da dolaylı yoldan küresel ısınma gibi çevresel problemlere yol açmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için güvenli ve verimli enerji kaynakları sağlamak güneş, rüzgar, nükleer, hidroelektrik ve jeotermal enerji kaynakları gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının temiz, ucuz, geliştirilebilmesi kolay ve çevre dostu olması gibi

avantajlarının yanı sıra aynı zamanda konut, tarımsal ve endüstriyel alanlarda uygulanabilmeleri de oldukça önem arz eden diğer avantajlardandır (Kohi-Fayegh & Rosen, 2020). Yenilenebilir kaynaklarından yararlanarak güç/enerji performansı yüksek elektrik üretiminde gözlenen artış ile birlikte, bu enerjiyi depolamak için gerekli yöntem ve teknikleri geliştirmek ve daha ucuza mal etmek çok daha dikkat çekici hale gelmiştir. Prensipten olarak, yenilenebilir enerji başka bir depolanabilir enerji biçimine dönüştürülebilir ve ihtiyaç duyulduğunda geri dönüştürülebilmektedir (Olabi, 2017).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen ve elektrik şebekesine entegre edilen elektrik enerjisinin kesiksiz, ucuz, verimli ve güvenli bir şekilde enerji depolama sistemlerine aktarılması kritik önem taşımakta olup bu amaçla piller, yakıt hücreleri ve süperkapasitörler ihtiyaç duyulan sistemler arasında yerini almaktadır (Yoshio, Brodd, & Kozawa, 2009; González, Gólkolea, Barrena, & Mysyk, 2016).

Süperkapasitörler, elektrokimyasal kapasitörler olarak da bilinen geleneksel kapasitörler ve piller arasındaki boşluğu dolduran enerji depolama aygıtlarıdır. Bunlar, iki temel mekanizma aracılığıyla enerji depolama yetenekleriyle karakterize edilmektedir: elektriksel çift katmanlı kapasitans (EDLC) ve psö-dokapasitans. İlki, elektrot ve elektrolit arasındaki arayüzde elektrostatik yük ayrımını içerirken, ikincisi elektrot yüzeyinde faradayik redoks reaksiyonlarını içermektedir (Jang et al., 2011; Volkovich, 2023). Son yıllarda her iki mekanizmayı bir arada kullanan hibrit enerji depolama sistemleri geliştirilmiş ve bu sistemler yüksek performans elde edilen kaynaklar haline gelmiştir.

### **2.1. Enerji Depolama Sistemlerinin Sunduğu Avantajlar**

Enerji depolama sistemleri, günümüz enerji altyapısında önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemlerin sunduğu avantajlar, enerji talebinin karşılanmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunda ve enerji verimliliğinin artırılmasında belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Enerji depolama sistemleri, enerji talebinin dalgalanmasına hızlı ve güvenilir bir şekilde yanıt verme kapasitesine sahiptir. Bu durum, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş ve rüzgar gibi) değişken doğası göz önüne alındığında büyük bir avantaj sağlamaktadır (Parra, Norman, Walker, & Gillott, 2017). Yenilenebilir enerji üretiminin talebi karşılayamadığı durumlarda, depolama sistemleri devreye girerek enerji arzını dengelemekte ve şebeke güvenliğini artırmaktadır. Ayrıca, enerji depolama sistemleri, elektrik şebekelerinin işletme maliyetlerini optimize etme potansiyeline de sahiptir. Örneğin, depolama sistemleri sayesinde, enerji fiyatlarının düşük olduğu dönemlerde enerji depolanabilir ve talebin yüksek olduğu dönemlerde bu enerji piyasaya sürülebilmektedir (Tian et al., 2024). Enerji depolama sistemleri, aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Güneş enerjisi gibi kaynaklardan elde edilen

fazla enerji, depolama sistemlerinde saklanarak, bu enerjinin tüketim talebinin yüksek olduğu zamanlarda kullanılmasını sağlamaktadır. Bu durum, enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini artırmakta ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaktadır (Parra, Norman, Walker, & Gillott, 2017). Ayrıca, enerji depolama sistemleri, elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte, bu araçların şarj süreçlerini optimize etme ve enerji yönetimini iyileştirme konusunda da önemli bir rol oynamaktadır. Enerji depolama sistemlerinin ekonomik faydaları da göz ardı edilmemelidir (Zhao & Liang, 2023). Bu sistemler, enerji maliyetlerini düşürme, işletme verimliliğini artırma ve enerji arz güvenliğini sağlama gibi avantajlar sunarak hem bireysel hem de endüstriyel düzeyde ekonomik kazançlar elde edilmesine yardımcı olmaktadır (Clairand, Rodríguez-García & Álvarez-Bel, 2018). Özellikle, enerji depolama sistemlerinin akıllı şebekelerle entegrasyonu, enerji yönetiminde daha fazla esneklik ve verimlilik sağlamaktadır. Enerji depolama sistemleri, enerji talebinin karşılanması, yenilenebilir enerji entegrasyonu, ekonomik optimizasyon ve çevresel sürdürülebilirlik açısından birçok avantaj sunmaktadır. Bu sistemlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, gelecekte enerji altyapısının daha güvenilir ve sürdürülebilir hale gelmesine katkıda bulunacaktır (Özdemir, 2023).

### 3. Protein Türevli Enerji Depolama Sistemleri

Enerji depolama sistemlerinde protein türevlerine yer verilmesi, biyolojik enerji metabolizması ve redoks süreçlerinden ilham alarak geliştirilen yenilikçi enerji depolama çözümleridir. Bu sistemler, biyomoleküllerin redoks yeteneklerini kullanarak, çevre dostu ve sürdürülebilir enerji depolama yöntemleri sunmaktadır.

Protein türevli enerji depolama sistemleri hem teknik hem de çevresel açıdan önemli fırsatlar sunmaktadır. Son yıllarda, biyomoleküllerin elektrokimyasal enerji depolama malzemeleri olarak kullanımı üzerine yapılan araştırmalar artmıştır. Bu malzemeler, çevre dostu ve biyoyumlu olmalarının yanı sıra, yapısal esneklikleri ve kimyasal çeşitlilikleri sayesinde yeni nesil enerji depolama cihazlarında kullanım potansiyeline sahiptir. Örneğin, redoks aktif biyomoleküller, asimetrik süperkapasitörlerde faradayik tip elektrotlar olarak kullanılmakta ve bu sayede yüksek enerji yoğunlukları elde edilmektedir (Wang et al., 2016). Bu alandaki araştırmalar, enerji depolama sistemlerinin verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir enerji çözümleri geliştirmek için devam etmektedir.

Enerji depolama sistemlerinde protein türevlerinin kullanımı, biyolojik süreçlerden ilham alarak geliştirilen yenilikçi ve sürdürülebilir enerji çözümleri sunmaktadır. Bu sistemlerin potansiyeli, çevresel etkilerin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması açısından büyük bir öneme sahiptir. Gelecekte, bu tür biyomoleküllerin daha fazla araştırılması ve geliştirilmesi, enerji depolama alanında devrim niteliğinde yenilikler sağlayabilecektir.

### 3.1. Enerji Depolama Sistemlerinde Proteinler, Peptidler ve Amino Asitlerin Kullanımı

Proteinlerin enerji depolama sistemlerinde kullanımı, özellikle biyomühendislik ve malzeme bilimi alanlarında oldukça dikkat çekmektedir. Bazı protein bazlı malzemeler, enerji depolama sistemlerinde faz değiştiren maddeler olarak kullanılabilir ve bu tür malzemeler, ısı enerji depolama uygulamalarında yüksek gizli ısı depolama kapasiteleri sunmaktadır (Song, Li, Yang, & Wang, 2021).

Ayrıca, proteinlerin moleküler yapıları, enerji depolama sistemlerinde kullanılacak yenilikçi malzemelerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Jiang et al., 2023).

Enerji depolama sistemlerinde proteinlerin kullanımı, aynı zamanda sürdürülebilirlik açısından da önemli bir avantaj sunmaktadır. Protein bazlı malzemelerin kullanımı, genellikle biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre dostu özellikler taşıyan enerji depolama sistemleri geliştirilmesinde öne çıkmaktadır (Caravella, Lettieri, & 2024).

Proteinlerin yapılarında peptid bağı bulundurması gibi benzersiz özellikleri nedeniyle enerji depolama aygıtları için bir dizi avantaj sunmaktadır. Proteinlerin ve peptidlerin yüzey özelliklerini değiştirerek elektrolitlerle uyumlulukları geliştirilmektedir. Ek olarak, proteinler ve peptidler için üretim süreçleri optimum düzeyde kurulduğu takdirde enerji depolama aygıtları ile ilişkili maliyetleri azaltmaktadır. Bu malzemeler yüksek esneklik, daha büyük yüzey alanları ve daha hızlı iyon taşıma oranları sergilemektedir ve bu da onları gelecekteki enerji depolama uygulamaları için umut verici hale getirmektedir (Nguyen et al., 2021).

### 3.2. Enerji Depolama Sistemlerinde Kolajen

Kolajen, memelilerde en bol bulunan yapısal protein olarak, deri, kozmetik, gıda, doku mühendisliği ve farmasötik uygulamalar gibi çeşitli alanlarda önemli bir biyopolimer olarak kullanılmaktadır. Kolajen, 29 farklı tipi ile cilt, kemik, kıkırdak, tendon, kornea ve kan damarları gibi birçok dokuda yer alır ve bu yapılar için temel bir yapı taşı işlevi görmektedir (Isobe et al., 2012). Kolajenin biyolojik olarak parçalanabilir yapıda olması ve yüksek ısı kapasiteye sahip olması doku yenilenmesi ve metabolizma üzerindeki etkileri nedeniyle büyük bir öneme sahiptir (Gillette et al., 2011; Solan et al., 2009).

Kolajen, enerji depolama sistemlerinde potansiyel bir malzeme olarak dikkat çekmektedir. Kolajen gibi biyomoleküllerin kullanımı, enerji depolama sistemlerinin verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Kolajen, doğal bir polimer olarak, ısı enerji depolama sistemlerinde faz değiştiren malzeme (FDM) olarak kullanılmaktadır. FDM'ler, belirli sıcaklık aralıklarında enerji depolama kapasitesine sahip olmaları nedeniyle, enerji verimliliğini artırma-



da önemli bir rol oynamaktadır (Kanlı et al., 2021). Yüksek performanslı ve düşük maliyetli, esnek elektronik cihazların geliştirilmesi, enerji depolama, dönüştürme ve algılama sistemlerinin ortaya çıkan uygulamaları için önemli bir ön koşuldur. Memelilerde en bol bulunan yapısal protein olan kolajen, benzersiz amino asit bileşimi ve hiyerarşik yapısı nedeniyle, karbonizasyon yöntemi ile farklı nanoyapılara ve bol miktarda ideal heteroatom katkılamaaya sahip kolajen türevi karbon malzemelere dönüştürülmesi ile enerji depolama cihazlarının elektrotları için umut verici bir aday malzeme olması beklenmektedir. Kolajenin mükemmel mekanik esnekliği ve moleküler zincirinde bol miktarda bulunan fonksiyonel gruplar, ideal biyoyuumluluk ve parçalanabilirlik, giyilebilir elektronikler için insan vücudunun esnek alt tabaka malzemesiyle eşleşmesi gibi benzersiz koşullar sağlamaktadır (Zhang et al., 2023). İyi biyoyuumlulukları nedeniyle, kolajenler, son zamanlarda yapılan çalışmalarda biyosensörler, (Ravichandran, Martinez, Jager, Phopase, & Turner, 2018; Song, Cui, Wang, & Chen, 2009) biyolojik hafıza cihazları, (Zeng et al., 2019) giyilebilir sensörler (Han et al., 2021) ve yapay elektronik cilt (Ke et al., 2019) oluşturmak için ideal bir seçim olarak oldukça iyi performans göstermiştir.

Aşağıda bu konuda yürütülmüş bazı çalışmalara yer verilmiştir. Shao ve çalışma arkadaşları, sığır kemiği içindeki KOH ve hidroksiapatitin (HA) benzersiz eş-aktivasyonundan yararlanarak, azot katkılı hiyerarşik gözenekli karbon elde etmiştir. NHPC-HA/KOH elektrotları, 1 M TEABF<sub>4</sub>/AN ve saf EMIMBF<sub>4</sub> elektrolitinde sırasıyla 5 Ag<sup>-1</sup> da 224 ve 240 Fg<sup>-1</sup> özgül kapasitanslarla üstün performans sergilemiştir. NHPC-HA/KOH elektrotları kullanılarak hazırlanan simetrik süperkapasitör, 1 M TEABF<sub>4</sub>/AN'de 3,1 kWkg<sup>-1</sup> de 49 Whkg<sup>-1</sup> ve saf EMIMBF<sub>4</sub>'te 3,8 kWkg<sup>-1</sup> da 75 Whkg<sup>-1</sup> entegre yüksek enerji ve güç yoğunlukları ile 10 Ag<sup>-1</sup> da 10000 çevrimden sonra %89'luk üstün çevrim performansı göstermiştir (Shao et al., 2017). Niu ve diğerleri, zengin bir kolajen kaynağı olan sığır kemikleri içindeki hidroksiapatitlerin indüklediği kendi kendine aktivasyondan yararlanarak, 1100°C'de yüksek kusurlu gözenekli karbonlar (PC-1100) sentezlemiştir. Li-iyon pil için anot olarak PC-1100, 1 Ag<sup>-1</sup> da 250 çevrimden sonra 1488 mAhg<sup>-1</sup> ve 10 Ag<sup>-1</sup> da 1500 çevrimden sonra 661 mAhg<sup>-1</sup> yüksek geri dönüşümlü kapasite sergilemiştir. Saf EMIM-BF<sub>4</sub> elektrolitinde PC-1100 bazlı simetrik süperkapasitör, 4,4 kWkg<sup>-1</sup> güç yoğunluğunda 110 Whkg<sup>-1</sup> lık yüksek bir enerji yoğunluğu sağlamıştır ve 81,5 kW kg<sup>-1</sup> lık ultra yüksek bir güç yoğunluğunda bile 65 Whkg<sup>-1</sup> lık enerji yoğunluğunu korumuştur ve 5000 çevrimden sonra %96 kapasitans tutulması ile üstün bir çevrim performansına sahip olduğu gözlenmiştir (Niu et al., 2017). 2017 yılında yapılan başka bir çalışmada, azot ve oksijenle birlikte katkılanmış hiyerarşik gözenekli karbon ağları, öncül olarak sığır kemiği kullanılarak sentezlenmiştir ve süperkapasitörler için elektrot malzemesi olarak uygulanmıştır. Tüm nitrojen ve oksijen katkılı hiyerarşik gözenekli karbon (N,O-HPC-x)

örnekleri ile 850°C'de elde edilen N,O-HPC-850'nin mükemmel hız performansı, iyi geri dönüşümlülük ve dayanıklılık ile en büyük özgül kapasitansı gösterdiği ve 6 M KOH sulu elektrolit içinde etkileyici bir özgül kapasitans sergilediği görülmüştür. N,O-HPC-850 elektroduna dayalı birleştirilmiş simetrik süperkapasitör, mükemmel bir çevrim kararlılığıyla 30,3 Whkg<sup>-1</sup> yüksek enerji yoğunluğu ve 44 kWkg<sup>-1</sup> yüksek güç yoğunluğu sağlamıştır. N,O-HPC-850'nin üstün süperkapasitans performansı, iyi tanımlanmış mezogözenek baskın hiyerarşik gözenekli yapısı, büyük özgül yüzey alanı, yüksek elektriksel iletkenlik ve kontrol edilebilir N ve O katkısı dağılımı ile ilişkilendirilmiştir (He et al., 2017). Lei ve diğerleri, süperkapasitörler için deri işlemeden elde edilen kolajen atığına dayalı Mn katkılı N içeren karbon malzemeleri sentezlemek için pratik ve kolay bir strateji bildirmiştir. Uygun bir sıcaklıkta MnSO<sub>4</sub> ile şelatlanmış makroskobik ölçekli kolajen fiberleri ve immobilize defne meyvesi taneninin karbonizasyonu ile sentezlenen Mn/N-C-x'e dayalı yüksek kapasiteli bir süperkapasitör malzemesi üretilmiştir. Hazırlanan Mn katkılı N içeren karbon malzeme, 1 Ag<sup>-1</sup> akım yoğunluğunda 273 Fg<sup>-1</sup> ile yüksek özgül kapasitans, 1'den 20 Ag<sup>-1</sup>'a artan akım yoğunluğunda %72 oranında kapasitans tutulması sergilemiştir ve 6000 döngüden sonra kapasitans tutulması sadece %19 oranında azalmıştır. Özellikle, 1 Ag<sup>-1</sup> akım yoğunluğunda sırasıyla 60°C ve 0°C su banyosu koşullarında 265 Fg<sup>-1</sup> ve 263 Fg<sup>-1</sup> değerleri ile uygun termal kararlılık göstermiştir. Sonuçlar, Mn katkılı N içeren karbonun süperkapasitörler potansiyel bir elektrot malzemesi olduğunu göstermiştir (Lei et al., 2018). Niu ve diğerleri 2018 yılında yaptıkları çalışmada, düşük maliyetli koyun kemiğinin Ar atmosferinde doğrudan pirolizi yoluyla yüksek oranda kusurlu mezogözenek baskın gözenekli karbonu (HDMPC) sentezlemek için yeşil ve kolay bir strateji sunmuştur. Yüksek kusur yoğunluğu ve benzersiz gözeneklilik, HDMPC elektrotlarına, karşıt elektrot olarak metalik lityumun kullanıldığı yarı hücrelerde anot ve katot olarak yüksek geri dönüşümlü kapasite, iyi hız yeteneği ve uzun çevrim performansı gösteren pil kapasitif depolama özellikleri kazandırmıştır. HDMPC||HDMPC LIC, 106,4 Whkg<sup>-1</sup> yüksek enerji yoğunluğunda 89 kWkg<sup>-1</sup> güç yoğunluğu sunabildiği gibi, 2 Ag<sup>-1</sup> akım yoğunluğunda 8000 çevrimden sonra %88 kapasitans tutma oranıyla üstün bir çevrim performansı sunmuştur (Niu et al., 2018). Shan ve diğerleri, herhangi bir ek karbon kaynağı, template veya katalizör olmadan balık kılıçlarının basit pirolizi ile kolayca hazırlanabilen, gözenekli kafes yapısına sahip biyokütle türevi karbon köpükleri hazırlamak için kolay ve düşük maliyetli bir yöntem geliştirmiştir. Elde edilen numuneler hem anot hem de katot malzemesi olarak lityum iyon hibrit süperkapasitörlerde (LIHC) kullanılmıştır ve bu da 0-4 V'da 131 Whkg<sup>-1</sup>'lık üstün bir enerji yoğunluğu sağlamıştır. 62 kWkg<sup>-1</sup>'lık etkileyici bir güç yoğunluğunda 72 Whkg<sup>-1</sup>'lık ultra yüksek bir enerji yoğunluğuna ulaşmıştır. Daha da önemlisi, 20000 döngü boyunca 5 Ag<sup>-1</sup>'lık yüksek bir akım yoğunluğunda sürekli olarak şarj/deşarj edilen LIHC cihazı, %82 tutma oranıyla 79 Whkg<sup>-1</sup>'lık enerji yoğunluğunu

korumuştur (Shan et al., 2018). 2018 yılında yapılan diğer bir çalışmada, sodyum karboksimetil selülozdan türetilen azot katkılı karbon aerojelleri, sol-jel, dondurarak kurutma, karbonizasyon ve KOH aktivasyon işlemlerini içeren çok adımlı bir yaklaşımla hazırlanmıştır; ferrik triklorür ve kolajen sırasıyla çapraz bağlayıcı madde ve azot kaynağı olarak kullanılmıştır. Farklı oranlarda kolajen ilavesinin yapıldığı karbon aerojellerde (CA-Nx) en iyi sonucun elde edildiği CA-N0.5 örneği, 6 M KOH elektrolitte 0,5 Ag<sup>1</sup> akım yoğunluğunda 185,3 Fg<sup>1</sup> özgül kapasitans ve 5000 şarj/deşarj döngüsünden sonra %90,2 özgül kapasitans tutma göstermiştir ve bu da olağanüstü elektrokimyasal kapasitif davranış ve döngü kararlılığını ortaya koymuştur (Yu, Han, Li, & Wang, 2018). Chen ve diğerleri yayınladıkları çalışmada, düşük maliyetli doğal kolajen liflerini biyoşablon olarak kullanıldığı tek boyutlu (1D) hiyerarşik olarak düzenlenmiş mezogözenekli TiO<sub>2</sub> nanofiber demetleri (TB'ler) üretmek için kolay bir sentetik strateji bildirilmiştir. TB tabanlı anot malzemeleri mükemmel elektrokimyasal lityum ve sodyum depolama özellikleri göstermiştir. Bir lityum iyon hücresinde değerlendirildiğinde, TB'ler 5 C oranında 120 mAhg<sup>-1</sup>lık yüksek birdeşarj kapasitesi sunmuştur ve 500 döngü boyunca %0,03'lük son derece düşük bir kapasite azalmasıyla uzun vadeli döngü kararlılığı sergilemiştir. Sodyum iyon hücre testleri için, 200 mAg<sup>-1</sup>lık bir akım yoğunluğunda yaklaşık 130 mAhg<sup>-1</sup>lık dikkate değer bir kapasite elde edilmiştir ve bu da TB'lerin geri dönüşümlü sodyum depolama kapasitesini göstermektedir. Bu yaklaşım, lityum ve sodyum iyon piller için düşük maliyetli, yüksek verimli ve pratik TiO<sub>2</sub> anot malzemelerinin geliştirilmesi için umut vericidir (Chen et al., 2018). Telay Mekonnen ve diğerleri, enerji ve çevresel iyileştirme uygulamaları için kolajen biyolojik atıklarından bi-işlevsel demir kapsüllü karbon (Fe@C) nanopartiküllerini sentezlemiştir. Kolajen, tabakhalardan toplanan biyolojik atıklarından elde edilmiş olup, iskeleler oluşturmak için FeCl<sub>3</sub> kullanılarak Fe@C nanopartikülleri sentezi için yüksek sıcaklık işlemine tabi tutulmuştur. Bu hibrit nanoyapıların 75 döngüden sonra 384 mAhg<sup>1</sup> kapasite ile yüksek geri dönüşüm kapasitesine ve mükemmel döngü kararlılığına sahip Li-iyon pillerde anot olarak potansiyel bir şekilde kullanılabilceği gösterilmiştir (Telay Mekonnen, Meiyazhagan, Ragothaman, Kalirajan, & Palanisamy, 2019). Odoom-Wubah ve diğerleri, Pd nanopartiküllerle katkılanmış balık atıklarından anot üretmeye yönelik bir çalışma bildirmiştir. Pd/Balık-Kolajen ilk olarak benzeni azaltmak için bir katalizör olarak kullanılmış ve daha sonra üç farklı şarj edilebilir pil sisteminde anot malzemesi olarak değerlendirilmiştir. Li, Na ve Mg bazlı hücrelerde anot malzemesi olarak Pd/Balık-Kolajen'in elektrokimyasal özellikleri sırasıyla 270, 120 ve 105 mAhg<sup>-1</sup> reversibl kapasiteler göstermiştir (Odoom-Wubah et al., 2020). Diğer bir çalışmada, sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir yöntem kullanarak tavuk ayaklarından kolajenin çıkarılması ve birbirine bağlı gözenekli özelliklere sahip kolajen süngerlere dönüştürülmesi araştırılmıştır. Çözünür kolajen proteininin ve yüksek hacimli gıda yan ürünlerinin ana kayna-

ğı olan tavuk ayaklarından grafen içeren gözenekli karbonun sentezlenmiştir ve C-G-kolajen ayrıca bir süperkapasitör elektrot malzemesi olarak kullanılmıştır. Üretilen elektrot malzemesi  $1087 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ lık çok yüksek bir yüzey alanı,  $1 \text{ mVs}^{-1}$  tarama hızında  $365 \text{ Fg}^{-1}$ lık üstün bir elektrokimyasal kapasitans ve  $100 \text{ mVs}^{-1}$ de 10000 döngüden sonra %97'lik mükemmel döngüsel kararlılık sergilemiştir (Subhani et al., 2022). Zingare ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, kolajence zengin balık pulundan sentezlenen karbon (FSC) ile süperkapasitör elektrot malzemesini hazırlamak için kolay bir strateji raporlanmıştır. Sentezlenen FSC, düzgün dağılmış gözenekli bir morfoloji sergilemiştir ve doğal olarak katkılanmış heteroatom içeriğine sahiptir. Balık pulu bazlı karbon, 25000 sürekli şarj deşarj döngüsünde %100'lük olağanüstü kapasitans tutma ile birlikte  $0,25 \text{ Ag}^{-1}$  akım yoğunluğunda  $195 \text{ Fg}^{-1}$ lık yüksek özgül kapasitans göstermiştir. Ayrıca hazırlanan simetrik cihaz,  $88 \text{ Fg}^{-1}$  gravimetrik kapasitans  $259 \text{ Fcm}^{-3}$ lük yüksek hacimsel kapasitans sergilemiştir. Simetrik cihaz ayrıca %100 kapasitans tutma ile 10000 çevrimlik yüksek çevrimsel kararlılık sağlamıştır. Bu çalışma, kolajence zengin balık pulu biyokütlesinin elektrot malzemesi olarak yüksek performanslı süperkapasitör uygulamaları için başarıyla kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Zingare, Dhoble, & Deshmukh, 2022).

### 3.3. Enerji Depolama Sistemlerinde Jelatin Kullanımı

Jelatin, deri, kemik ve kıkırdak gibi hayvansal bağ dokularında bulunan yapısal bir protein olan kolajenin kısmi hidrolizinden elde edilen çok yönlü bir biyopolimerdir. Üretimi genellikle hayvansal kaynaklardan kolajenin çıkarılmasını ve ardından kolajeni daha küçük peptidlere parçalayan hidrolizi içerir ve sonuç olarak jelatin elde edilmektedir. Bu süreç kolajen kaynağına göre değişebilir ve yaygın kaynaklar arasında sığır, domuz ve balık derileri ve kemikleri bulunmaktadır (Han et al., 2022; Jing et al., 2014; Mariod & Fadul, 2014). Jelatin özellikle biyolojik olarak parçalanabilir yapısı ve süperkapasitörler ile pillerde elektrolit görevi görebilen hidrojel oluşturma kabiliyeti nedeniyle enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesinde umut vadeden bir malzeme olarak ortaya çıkmıştır. Kolajenden türetilen jelatinin benzersiz özellikleri, enerji depolama cihazlarının performansını artırmak için grafen gibi çeşitli nanomalzemelerle birleştirilmesine olanak tanımaktadır. Örneğin, jelatin bazlı sistemler, dielektrik özelliklerini iyileştiren ve böylece enerji depolama uygulamalarının verimliliğini artıran düşük maliyetli, kendi kendini tamir eden hibrit yapılar oluşturmak üzere tasarlanabilmektedir (Landi et al., 2016; Landi et al., 2014).

Süperkapasitörler alanında jelatin olarak da araştırılmıştır. Landi ve arkadaşları, karboksimetil selüloz (CMC) ve kazein gibi diğer malzemelerin kullanılmış olmasına rağmen jelatinin henüz karbon bazlı süperkapasitörlerde bir bağlayıcı olarak tam olarak kullanılmadığını vurgulamıştır (Landi et al., 2021).

Jelatinin mekanik özellikleri de enerji depolama cihazlarındaki uygulamasında önemli bir rol oynamaktadır. Jelatin hidrojellerinin operasyonel stresler altında yapısal bütünlüğün korunması için gerekli olan yüksek süneklik ve mukavemet özellikler gösterdiği bildirilmiştir (He et al., 2018). Bu mekanik sağlamlık, jelatin, grafen gibi malzemelerle birleştirildiğinde daha da artmıştır.

Piao ve Chen tarafından, grafen oksitin jelatin hidrojellerine dahil edilmesinin, mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirdiği ve bunları esnek enerji depolama uygulamaları için uygun hale getirdiği belirtilmiştir. (Piao & Chen, 2017). Landi ve arkadaşları, biyolojik olarak parçalanabilir geçici enerji depolama cihazları geliştirmek için jelatinin grafenle birlikte kullanımını araştırmıştır. (Landi et al., 2016). Pillerde ve süperkapasitörlerde kullanımına ek olarak, jelatinin özellikleri esnek enerji depolama cihazları için hidrojel elektrolitlerinin geliştirilmesinde de değerlendirilmiştir. Longo ve arkadaşları, jelatin bazlı hidrojellerin, istenen elektrokimyasal özellikleri sergileyebilecek şekilde tasarlanabileceğini ve bu sayede lityum-oksijen pillerindeki uygulamalar için uygun hale getirilebileceğini belirtmiştir (Alaf, Toçoğlu, & Akbulut, 2018).

Sun ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, doğal bir biyolojik makromolekül olan jelatin, lityum-kükürt pillerdeki kükürt katodunun üretiminde poli(etilen oksit) (PEO) yerine yeni bir bağlayıcı olarak başarıyla kullanılmıştır. Jelatin bağlayıcı-kükürt katot, 1132 mAhg<sup>-1</sup>lık yüksek bir başlangıç kapasitesine ulaşmıştır ve 50 döngüden sonra 408 mAhg<sup>-1</sup>lık geri dönüşümlü bir kapasite sergilemiştir; bu değerlerin hepsi, aynı koşullar altında jelatin bağlayıcı-kükürt katodun PEO bağlayıcı-kükürt katottan daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu nedenle jelatin, kükürt katotta kullanılan bağlayıcı için iyi bir aday olabilir ve lityum-kükürt pillerde pratik uygulama için ümit vericidir (Sun et al., 2008). Xu ve diğerlerinin yayınladığı çalışmada, çeşitli proteinlerden oluşan yenilenebilir bir hayvansal türev olan jelatin, süperkapasitörler için yüksek yüzey alanlarına sahip azot katkılı gözenekli karbonun öncüsü olarak ilk kez kullanılmıştır. Hazırlama prosedürü jelatinin inert atmosferde karbonizasyonunu, ardından karbonize edilmiş kömürleşmiş maddenin 600°C'da 1 saat boyunca NaOH ile aktivasyonunu içermektedir. Benzersiz mikro yapı ve azot işlevsellikleri, karbonun 6 M KOH sulu elektrolitlerde 385 Fg<sup>-1</sup>a kadar yüksek bir kapasitans sergilemesini sağlamıştır; bu, çift katman kapasitansı ve psödokapasitansın eş-katkısına atfedilmiştir. Ayrıca 50 Ag<sup>-1</sup>da 235 Fg<sup>-1</sup> değeri elektrodun mükemmel hız kabiliyeti ve çevrim dayanıklılığını göstermektedir (Xu, Hou, Cao, Wu, & Yang, 2012). 2016 yılında yapılan bir çalışmada, kontrol edilebilir kalınlıklara sahip mikro gözenekli karbon nano levhaları hem karbon hem de azot öncüleri olarak jelatin biyokütlesi ve herhangi bir yardımcı reaktif olmadan grafen oksit (GO) kullanılarak sentezlenmiştir. Mikro gözenekli karbon nano levhalar, daha kısa difüzyon mesafesi,

geniş yüzey alanı ve mükemmel elektriksel iletkenlik nedeniyle 6 M KOH sulu elektrolitte 20  $\text{Ag}^{-1}$  da %76 kapasitans tutma ile yüksek özgül kapasitans ve mükemmel hız kapasitesi sergilemiştir (Fan & Shen, 2016).

Han ve diğerleri, Zn metal anot ve  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  katodunun geri dönüşümlü ve kararlı bir şekilde çevrim yapmasını sağlayan, kendi kendine duran jelatin bazlı bir hidrojel elektrolit (GHE) bazlı katı hal pili geliştirmiştir. Zn/GHE/ $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ 'ün katı hal hücreleri, 110,2  $\text{mAhg}^{-1}$ lık yüksek bir özgül kapasite sağlamıştır ve kesilmeye, suya batırılmaya, bükülmeye ve kıvrılmaya karşı dayanıklıdır. Yüksek kararlılığa sahip katı hal Zn metal pil, esnek ve giyilebilir cihazlarda şarj edilebilir pillerin uygulanmasına ışık tutmuştur (Han et al., 2018). Hsu ve diğerleri, jelatin metakrilat (GelMA), selüloz nanokristal (CNC) ve tannik asit (TA) hibrit sistemi aracılığıyla otonom olarak kendi kendini iyileştirme yeteneğine sahip midye benzeri biyoyumlu süperkapasitörler geliştirmiştir. GelMA-CNC hidrojelinin kendi kendini iyileştirme kapasitesi, aynı zamanda iletken ajanları (PANI ve rGO) yerinde polimerizasyon yoluyla yüzeye kaplanmıştır. Özgül kapasitans, enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğu sırasıyla 1861,2  $\text{mFcm}^{-3}$ , 20,7  $\text{mWhcm}^{-3}$  ve 595,6  $\text{mWcm}^{-3}$ e değerlerine ulaşmıştır (Hsu et al., 2020). 2020 yılında yapılan bir çalışmada,  $\text{MoO}_3$  anot ve  $\text{VOPO}_4$  katot olarak kullanılmıştır ve mekanik olarak jelatin-poliakrilamid hidrojel elektrolit, güvenli ve esnek, yüksek performanslı şarj edilebilir bir alüminyum iyon pili (AIB) üretmek için kullanılmıştır. 6  $\text{Ag}^{-1}$ lık yüksek hız kapasitesi, 88  $\text{mAhg}^{-1}$ lık yüksek deşarj kapasitesi ve 2800 döngüden sonra bile %86 kapasite tutma ile uzun döngüsel kararlılık sergilemiştir. Ayrıca, AIB büküldüğünde, delindiğinde veya kesildiğinde bile güvenilir bir güç kaynağı olarak hizmet edebilecek yüksek güvenlik ve mekanik esneklik özelliklerine sahiptir (Wang et al., 2020). Liu ve diğerleri, şablon bozunma yöntemi ile ısıyla indüklenen, üzerinde polipirol (PPy) bulunan bir jel (H-Gel/AS)) sentezlemiştir. H-Gel/AS-MWCNT'ler-PPy jel bir amonyum sülfat çözeltisine daldırıldığında, yüzeyde kırışıklıklar belirlemiştir ve bu da kapasitansın daha da artmasıyla sonuçlanmıştır. Esnek bir katı hal süperkapasitörü olarak, özgül kapasitans 75  $\text{Fg}^{-1}$ dır ve 5000 döngüden sonra kapasitans tutma oranı eğilme koşulları altında %98'dir. Daha da önemlisi, jelatin bazlı hidrojel giyilebilir cihazlarda uygulama için büyük potansiyel göstermiştir (Liu, Wang, Zhang, You, & Yue, 2021). Yun ve diğerleri 2021 yılında yaptıkları çalışmada, organizma epidermis bazlı malzemeler kullanarak olağanüstü elektrokimyasal performans ve güvenilirliğe sahip alternatif giyilebilir enerji depolama sistemini bildirmiştir. Dikey olarak yetiştirilen  $\text{WO}_3$  nanoçubuklar, indirgenmiş grafen oksit tabakası/karbonize dut kağıdına sabitlenerek elektrokimyasal performansı ve esnekliği daha da iyileştirmiştir. Organizma epidermis tabanlı süperkapasitör, 110000 döngü boyunca %96,0 hacimsel kapasitans tutma ile 30,3  $\text{mWhcm}^{-3}$  ve 7,7  $\text{Wcm}^{-3}$  enerji ve güç yoğunluklarına sahiptir. Hızlı şarj-deşarj akımı altında hacimsel kapasitansını koruyarak yüksek hız kapa-

sitesi sergilemiştir. Son olarak, domuz derisinden türetilen jelatin tabanlı hidrojel elektrolit, ortam koşullarında elektrokimyasal performansı koruyabilen giyilebilir süperkapasitör performansını test etmek için kullanılmıştır (Yun, Jang, Cheong, & Kim, 2021). Saliu ve diğerleri, negatif voltajların kullanılması gereken alanlarda enerji depolama uygulamaları için nano-TiO<sub>2</sub> ile birleştirilmiş nano düzeyde nişasta-jelatin biyopolimerik karışımları tasarlamıştır. Başka bir çalışmada, jelatin türevi N ile katkılanmış gözenekli karbonlar (GPC'ler), template oluşturma, dondurarak kurutma ve karbonizasyonu birleştiren bir yöntemle, sentezlenmiştir. Elektrokimyasal ölçümler, N-dopingin kükürt indirgeme kinetiğini hızlandırdığını göstermektedir. Ek olarak, GPC'nin gözenek hacmi ne kadar büyükse, kükürt katodunun döngü kararlılığı o kadar iyi olduğu sonucuna varılmıştır (C. S. Sun, Guo, Shao, & Chen, 2021). Sun ve diğerlerinin 2022 yılında yaptığı çalışmada, jelatin türevi karbon ağlarına dağıtılmış ve gömülmüş, iyi gelişmiş gözenekli yapılara ve yüksek yüzey alanlarına sahip WS<sub>2</sub> nanopartiküllerinden oluşan hiyerarşik petek benzer tungsten disülfür (WS<sub>2</sub>) kompozit nanoyapısı hazırlanmıştır. Bu yapısal avantajlardan yararlanan optimize edilmiş WS<sub>2</sub> kompozit elektrot, muazzam derecede geliştirilmiş elektrokimyasal özellikler göstermiştir. Psödokapasitör için bir elektrot malzemesi olarak, 0,2 Ag<sup>-1</sup> akım yoğunluğu altında 1306 Fg<sup>-1</sup>lık yüksek bir kapasitif değer sergilemiştir. 10 Ag<sup>-1</sup>da ölçüldüğünde bile, optimize edilmiş WS<sub>2</sub> kompoziti 483 Fg<sup>-1</sup>lık yüksek kapasitesini korumuştur ve uzun süreli bir test sırasında kararlı bir çevrim performansı göstermiştir. Ayrıca, WS<sub>2</sub> kompozit katot ve aktif karbon anodunun birleştirilmesine dayanan asimetrik bir süperkapasitör üretilmiştir. 0,1 Ag<sup>-1</sup>lık bir akım yoğunluğu altında test edildiğinde, 136 Fg<sup>-1</sup>lık yüksek bir kapasitans sağlamıştır ve 60 Wkg<sup>-1</sup>lık güç yoğunluğuyla birlikte 27,2 Whkg<sup>-1</sup>lık enerji yoğunluğuna ulaşabilmiştir (Sun et al., 2022).

Sonuç olarak, enerji depolama sistemlerinde jelatin kullanımı hem maliyet etkinliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve enerji verimliliği sağlama hedefleri doğrultusunda, jelatin bazlı malzemelerin araştırılması ve geliştirilmesi, enerji depolama sistemlerinin geleceği için kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir (Özdemir, 2023; Bayram, 2019).

### 3.3. Enerji Depolama Sistemlerinde Fibroin Kullanımı

İpekböceklerinden elde edilen ipekler, kurtçukların besin kaynaklarına bağlı olarak genel olarak dut ve dut olmayan ipekler olarak sınıflandırılmaktadır. Evcilleştirilmiş dut ipekböceği *Bombyx mori* (B. mori), Bombycidae ailesinin en ünlü üyesidir. Hint kökenli dut olmayan ipekböceklerinin hepsi Saturniidae ailesine aittir. Kaynakları ne olursa olsun (araknidler veya böcekler), ipek lifleri öncelikle polisakkaritler ve lipitler gibi belirli makromoleküllerle ilişkili proteinlerden oluşmaktadır (Hardy & Scheibel, 2009). İpekböceği ipeğini oluşturan iki birincil protein olan fibroin ve serisin, çoğunluğu glisin,

alanin ve serin olmak üzere 18 farklı amino asitten oluşmaktadır. Buna karşılık, örümcek ipeği öncelikle glisin ve alaninle zenginleştirilmiş fibroin proteini içermektedir (Kundu et al., 2014). İpek fibroini (SF), H-zinciri C-terminusunda tek bir disülfür bağıyla birbirine bağlanmış hafif (L) zincir polipeptid ve ağır (H) zincir polipeptid içermektedir ve sonuç olarak bir H-L kompleksi oluşturmaktadır (Yamaguchi et al., 1989). H-L kompleksi hidrofobik etkileşimler yoluyla glikoprotein P25'e 6:1 oranında bağlanarak temel bir misel birimi oluşturmaktadır. Misel biriminin oluşumu, liflere dönüşmeden önce ipek bezi lümeninden büyük miktarda fibroinin iplik nozüllerine taşınmasını sağlamaktadır (Vepari & Kaplan, 2007). SF malzemesinde, H-zincirleri üstün mekanik özelliklerden sorumlu ana yapısal bileşen olarak görev yapan ayrı  $\beta$ -tabaka kristalitleri oluştururken, L-zinciri boyutu H-zincirine göre çok daha küçük olduğu için çok az mekanik rolde yer almaktadır. İpek içeriğinin yaklaşık %70'ini oluşturan SF, olağanüstü mekanik özellikler, iyi hidrofilitate ve mükemmel biyoyoumluluk gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir (Kong et al., 2023). SF'nin sünger, lif, hidrojel vb. dahil olmak üzere farklı formlara işlenebilme kolaylığıyla birlikte bu farklı formlarının iyi biyoyoumluluğa sahip olduğu ve hasarlı sınırların iyileşmesini ve yenilenmesini önemli ölçüde destekleyebileceği bildirilmiştir (S. Chen et al., 2020). Doğal olarak elde edilen SF, optik, elektronik, sensörler ve enerji cihazları dahil olmak üzere yaygın uygulamalar için yararlılığı kanıtlanmış, doğal olarak biyoyoumlu, mekanik olarak sağlam ve yenilenebilir bir malzemedir. SF, ayırıcılar, elektrotlar, elektrolitler ve elektrokimyasal enerji depolama cihazlarının kapsüllenmesi için bir bağlayıcı veya destek bileşeni olarak araştırılmış olsa da, bir enerji depolama sisteminin her bileşeni için ayrı ayrı tasarlanmış özelliklere sahip ipek bazlı malzemelerin kombinasyonu ve tek bir cihazda birleştirilmesi nadiren araştırılmıştır (Jia et al., 2017; Pal et al., 2018; Tseng et al., 2016; Zhang et al., 2020).

Fei ve diğerleri, SF şablonlu CuO elektrotlar tasarlamıştır. Tasarlanan elektrotlar 2 boyutlu nanoplaka yapıları nedeniyle kısaltılmış Li-iyon difüzyon yollarına sahiptir ve 0,3 C hızında 820 mAhg<sup>-1</sup>lık geri dönüşümlü kapasite ve iyi bir çevrim kararlılığı ile iyi elektrokimyasal performans göstermiştir. Bu sonuçlar, ipek fibroinin enerji depolama cihazları için yüksek elektrokimyasal performans sağlamak için kolay ve etkili bir yöntem sağlayabileceğini göstermektedir (Fei, Shao, & Chen, 2013). Diğer bir çalışmada, enerji depolama cihazlarının güvenliğini ve sürdürülebilirliğini artırmaya yönelik çözümler arayışında, Bombyx mori ipekböceği kozalakları doğrudan bir cihazda kullanılan Li-iyon piller için ayırıcı olarak önerilmiştir (Pereira, Gonçaves, et al., 2018). Wang ve diğerleri, SF ile emdirilmiş Ketjenblack'i (KB) piroliz ederek yüksek performanslı giyilebilir ve şarj edilebilir Zn-hava pilleri için yüksek verimli ORR/OER elektrokatalitik aktivitesine sahip gözeneklilik bakımından zengin ve N-doplanmış bir karbon malzeme hazırlamış-



tır. İpek türevi ve nitrojen katkılı bir nanokarbon elektrokatalizörü (SilkNC/KB), 0,95 V'luk bir başlangıç potansiyeli, 6,3 mAcm<sup>-2</sup>lik bir sınırlayıcı akım yoğunluğu ve 68 mVdec<sup>-1</sup>lik bir Tafel eğimi ile dikkate değer bir ORR katalitik aktivitesi göstermiştir. Daha da dikkat çekici olanı, 50000 çevrim için hızlandırılmış dayanıklılık testinden sonra sadece 30 mV'luk yarımlık dalga potansiyel kaybı ve sınırlayıcı akım yoğunluğunda %10'luk kayıpla son derece yüksek bir kararlılık sergilemesidir; bu, 5000 çevrimden sonra yarımlık dalga potansiyelinde 47 mV'luk kayıp ile ticari Pt/C katalizör performansından üstündür (C. Wang et al., 2019).

Yang ve diğerleri, PEDOT:PSS ve SF'nin iç içe geçen bir ağına dayalı iletken SF hidrojenleri oluşturmak için kolay ve yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. PSS'nin Ca<sup>2+</sup>iyonları ile çapraz bağlanması ve SF ağları ile takviye edilmesinin birleşimi sağlam ve sıkıştırılabilir bir kompozit üretirken, PEDOT iletkenlik ve elektrokimyasal aktiviteye yol açmıştır. Simetrik süperkapasitör aygıtlarında kullanıldığında, iletken ipek hidrojel elektrotları 0,5 mAcm<sup>-2</sup>de 1,1 Fcm<sup>-2</sup>lik bir alan kapasitansı göstermiştir. Dahası, iletken ipek hidrojellerinin yüksek sıkıştırılabilirliği ve iyi yapısal kararlılığı, sıkıştırılabilir enerji depolama aygıtlarında elektrot olarak potansiyel uygulamalarını desteklemektedir (Yang et al., 2020). 2020 yılında Choi ve Choy, Li-iyon pillerdeki silikon anotların döngü kararlılığını uzatmak için bağlayıcı olarak örümcek ipeği kullanmıştır. SF'nin mükemmel mekanik özelliklerinden yararlanan bu bağlayıcıyı içeren elektrot, örümcek ağının çalışma mekanizmasına benzer şekilde lityumlama/delityasyon işlemi sırasında nanosilikon parçacıklarını elektrot içinde etkili bir şekilde sınırlayabilmiştir (Choi & Choy, 2020). 2022 yılında yapılan çalışmada, basit bir yöntemle Zn anot yüzeyinde düzgün ve kararlı Silk II-ipek fibroin (Silk II-SF) kaplanmıştır. Deneyler, SF kaplamanın dendritik büyümeyi ve hidrojen evrimi korozyonunu önleyebileceğini göstermiştir. Bu nedenle, Silk II-SF@Zn anot kullanan simetrik hücreler sırasıyla 10 ve 20 mAcm<sup>-2</sup> akım yoğunluklarında 3300 ve 1500 saatlik bir çevrim ömrüne ulaşmıştır. Zn anotunu korumak için Silk II-SF kaplamanın kullanılması, dendritsiz Zn anot ve uzun çevrim ömrüne sahip sulu çinko iyon pilleri hazırlamak için basit ve etkili bir stratejidir (Lu et al., 2022). Zhou ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, SF'lerin ve grafen levhaların kimyasal olarak soyulmasından elde edilen gözenekli N, O katkılı karbon kompozit, 290 Fg<sup>-1</sup>lık yüksek özgül kapasitans ve yüksek hız kabiliyeti ile mükemmel kapasitif performans sunmuştur. Grafen tabakalarının varlığı, yüksek BET yüzey alanı ve elektrot ile elektrolit çözeltisi arasındaki yük ve iyon transferi için gerekli olan daha düşük yük transfer direncine sahip daha hiyerarşik gözenekli yapıya katkıda bulunmuştur. İki elektrotlu hücre, 1,45 V'luk bir voltaj aralığında 95 Wkg<sup>-1</sup>lık bir güç yoğunluğuna karşın 13 Whkg<sup>-1</sup>lık bir enerji yoğunluğu sergilemiştir bu da enerji depolama uygulamaları için iyi bir aday olduğunu göstermektedir (Zhou, Hou, Chen, Li, & Zou, 2022). Zhang

ve diğerleri, ölçeklenebilir fabrikasyon grafen interdijital 3D dizi yapısı mikro süperkapasitörleri için yüksek iletkenliğe sahip bir EGaIn/SF mürekkebi ve bir serigrafik baskı stratejisi geliştirmiştir. Hazırlanan MSC'ler ideal bir elektrokimyasal çift tabaka kapasitör davranışı ve  $25 \mu\text{Acm}^{-2}$ 'de  $36 \text{mFcm}^{-2}$  mükemmel alan kapasitansı sergilemiştir; çevrimsel voltametri ve galvonostatik şarj-deşarj denemeleri sonucunda elde edilen veriler farklı açılarda ve farklı zamanlarda büküldükten sonra neredeyse değişmeden kalmıştır (Y. Zhang et al., 2022). Tao ve diğerleri, donma/kuruma önleyici ve geri dönüştürülebilir özelliklere sahip çok işlevli bir SF bazlı hidrojel başarıyla sentezlemiştir. Hazırlanan hidrojinin kullanıldığı süperkapasitör,  $111 \text{mFcm}^{-2}$  yüksek özgül kapasite, 10000 çevrimden sonra %89 oranında kapasitans tutma ve  $50 \mu\text{Wcm}^{-2}$  güç yoğunluğunda  $15,4 \mu\text{Whcm}^{-2}$ 'lik enerji yoğunluğu değerlerine ulaşmıştır. Ek olarak, süperkapasitörler  $90^\circ$ 'lik bir bükme açısında %93 özgül kapasitans tutma ile iyi esneklik sergilemiştir. Daha da önemlisi, tasarlanan süperkapasitörler  $-40^\circ\text{C}$  gibi son derece düşük sıcaklıklarda %66,5 özgül kapasitans tutma değerine ulaşabilmiştir. Bu sonuçlar, iletken hidrojinin esnek, çok işlevli elektronik cihazlarda uygulamaları için büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Tao et al., 2023). Liu ve diğerlerinin 2024 yılında yaptıkları çalışmada, SF bazlı kompozit biyomalzemeler ve karbon elektrot malzemeleri kullanılarak mükemmel elektrokimyasal ve mekanik özellikler gösteren simetrik süperkapasitörler tasarlanmıştır. Süperkapasitörler,  $0,5 \text{mAcm}^{-2}$ 'de  $220 \text{mFcm}^{-2}$ 'ye kadar bir kapasitans ve  $84 \text{Fg}^{-1}$ 'lik bir gravimetrik kapasitans sağlamıştır ve en az 20000 döngü boyunca kararlı şarj-deşarj döngüsü sergilemiştir (Liu, Ostrovsky-Snider, Lo Presti, Kim, & Omenetto, 2024).

### 3.4. Enerji Depolama Sistemlerinde Keratin Kullanımı

Keratin, kolajenden sonra hayvanlarda karşılaşılan en önemli biyopolimer olup omurgalıların derisinde bulunan yapısal bir proteindir. Keratinize malzemeler, işleve bağlı olarak çeşitli morfolojilere sahiptir. Bunlar kaplumbağa kabuğu gibi basit su geçirmez bir katmandan boynuz gibi yapısal olarak sağlam, darbeye dayanıklı bir malzemeye kadar değişiklik göstermektedir. Keratin yünde görülebildiği gibi gerilimde ve toynaklarda gözlemlenebileceği gibi sıkıştırmada mekanik olarak etkilidir (McKittrick et al., 2012). Keratinin hayvanlardaki diğer önemli yapısal bir protein olan ve kemikler, dişler ve bağ dokusunda bulunan kolajenle çeşitli benzerlikleri ve farklılıkları bulunmaktadır. Her ikisi de iyi tanımlanmış bir amino asit dizisine sahip  $\alpha$ -heliks polipeptid zincirlerine sahip olup  $\alpha$ -heliks yapısını mümkün kılan yüksek miktarda daha küçük amino asit kalıntıları, glisin ve alanin içermektedir. Keratinde, iki polipeptid zinciri ( $\alpha$ -keratin) sarmal bir bobin oluşturmak için birlikte bükülürken, kolajende üç  $\alpha$ -heliks (tropokollajen) birlikte bükülmektedir ve kolajen fibrilini oluşturmak için bir araya gelmektedir. Keratin ve kolajen arasındaki önemli bir fark, keratinositlerin (keratin üreten hücreler) keratin ürettikten sonra ölmesidir; bu nedenle keratin, hücre dışı matriste

oluşan kolajenin aksine, vaskülarize olmayan “ölü” bir dokudur. Bu nedenle, en fazla keratinize edilmiş malzemeler, yanal olarak üst üste binen ve nispeten yoğun bir tabaka oluşturmak için üst üste istiflenen çokgen fayanslar şeklinde yapılar (çapı onlarca mikron) oluşturmaktadır Kristalin bileşen suda çözünmez iken amorf kısımlar suyu emebilir ve şişebilmektedir. Keratin, polipeptid zincirlerini birbirine çapraz bağlamakla beraber matris moleküllerini de çapraz bağlayan güçlü, kovalent bir disülfür bağı kurabilen bir tiyol grubuna (-SH) sahip çok miktarda sistein kalıntısına sahiptir. Keratinler “sert” veya “yumuşak” olarak sınıflandırılabilir. Yumuşak keratin daha az kükürt ve dolayısıyla daha az çapraz bağ içermekte iken sert keratin daha fazla kükürt ve çapraz bağdan oluşmaktadır (Hill, Brantley, & Van Dyke, 2010). Günümüzde keratin tabaklama ve tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Keratinin biyomedikal alandaki uygulamalarına ek olarak, kanser karşıtı ilaçlar, büyük, toksik ve yan etkilere sahip diğer maddelerin kapsüllenmesi, sensör ve elektrokimyasal enerji depolama sistemlerinde kullanımına dair araştırmalar devam etmektedir (Yan et al., 2022).

Yapılan diğer bir çalışmada, öküz boynuzlarından türetilen azot bakımından zengin gözenekli karbon, ekonomik olarak uygulanabilir ve çevre dostu bir yaklaşımla başarıyla sentezlenmiştir. Öküz boynuzundan türetilen karbon (OHC), geniş bir yüzey alanına (BET yüzey alanı  $1300 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ), benzersiz bir 3D gözenekli nano yapıya ve yüksek bir doğal azot içeriğine (%6) sahiptir. OHC, lityum iyon piller (LIB’ler) için bir anot malzemesi olarak,  $100 \text{ mA}\text{g}^{-1}$  akım yoğunluğunda  $1181 \text{ mA}\text{h}\text{g}^{-1}$  yüksek geri döndürülebilir kapasite ve  $5 \text{ Ag}^{-1}$ ’da  $304 \text{ mA}\text{h}\text{g}^{-1}$  üstün bir hız kapasitesi gibi üstün elektrokimyasal performanslar sergilemiştir (Ou et al., 2015). Başka bir çalışmada, atık biyokütle-insan saçından hiyerarşik olarak gözenekli, hetero-atom katkılı aktif karbon nanotabakaların sentezlenmesi için ölçeklenebilir bir yöntem bildirilmiştir ve bu karbonun süperkapasitör uygulamaları için ultra yüksek performanslı bir elektrot malzemesi olarak kullanımı sunulmuştur. (Sinha et al., 2020). Zhao ve diğerleri, düşük maliyet, kontrol edilebilir uzunluk ve yüksek elastikiyet kabiliyeti gibi özellikleri nedeniyle esnek elyaf bazlı malzeme olarak insan saç lifi kullanmıştır. İletken ve yüksek mukavemetli lifli elektrot elde etmek ve süperelastik indirgenmiş grafen oksit kaplamalı insan saç (rGO@Hh) geliştirmek için etkili ve tehlikesiz bir mikrodalga destekli yöntem bildirilmiştir.  $1 \text{ Ag}^{-1}$ ’da  $316 \text{ Fg}^{-1}$  yüksek özgül kapasitans ve iyi döngü performansı gibi olağanüstü elektrokimyasal performanslara sahip, birbirine bağlı gözenekli bir yapı gözlemlenmiştir. (J. Zhao et al., 2020). Başka bir çalışmada, basit iki adımlı bir yaklaşımla doğal kükürt ve karbon öncüsü olarak tavuk tüylerinin (CF’ler) biyolojik atıklarını kullanarak çinko sülfür (ZnS) katkılı tavuk tüyü karbon (ZnS-CFC) kompoziti başarıyla geliştirilmiştir. Hazırlanan ZnS-CFC kompoziti, Li-iyon pil için anot malzemesi olarak kullanıldı ve  $100 \text{ mA}\text{g}^{-1}$ ’da 150 döngüden sonra iyi bir hız performansı ile 788

mAhg<sup>-1</sup>lık geri dönüşümlü bir kapasiteye ulaşmıştır (Muthukumaraswamy Rangaraj, Achazhiyath Edathil, Kadirvelayutham, & Banat, 2020). Hastuti ve diğerleri, KOH ile fonksiyonelleştirilmiş karbon materyali 446 mAhg<sup>-1</sup>lık bir deşarj kapasitesi sunmuştur. Bu çalışmada, lityum-iyon pil anot malzemesi için tavuk tüyünden aktif karbon kullanım olasılığı araştırılmıştır. 5 M KOH ile aktive edilmiş aktif karbonun 446 mAhg<sup>-1</sup> ile en yüksek deşarj oranı kapasitesine sahip olduğunu ve Coulombic verimliliğini neredeyse %100 koruduğunu göstermektedir (Hastuti, Subhan, & Auwala, 2021). Thiyagarajan ve diğerleri, basit, yüzey aktif madde destekli bir öncül yolla sentezlenen TiNb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/karbon nanokompozitleri, lityum-iyon piller (LIB'ler) için umut verici bir alternatif anot malzemesi olarak rapor etmiştir. TiNb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-keratin nanokompoziti 0,1 C'de 356 mAhg<sup>-1</sup>lık olağanüstü bir deşarj kapasitesi sergilemiştir. Anot malzemesi ayrıca Li-iyon pillerde 50 döngüden sonra %85'lik bir tutma etkinliği göstermiştir (Thiyagarajan et al., 2021). 2021 yılında Wu ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, öncül olarak tavuk tüylerinden elde edilen düşük maliyetli ve sürdürülebilir keratin kullanılarak N, O, S eş-doplanmış hiyerarşik gözenekli karbonlar geliştirilmiştir. Keratinin içsel bileşimi ve inorganik asitlerin eklenmesi, piroliz sırasında heteroatomların karbon çerçevesine etkili bir şekilde doplanmasına katkıda bulunmaktadır. Süperkapasitör elektrot malzemesi olarak H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-KK-3, 1 Ag<sup>-1</sup> akım yoğunluğunda 270 Fg<sup>-1</sup>lık yüksek bir özgül kapasitans göstermiştir ve iyon taşınmasının hızlı kinetiğine ve daha fazla yük depolama yüzeyine atfedilen 10000 çevrimden sonra %98'lik kapasite tutma ile üstün uzun vadeli çevrim kararlılığı sergilemiştir. Birleştirilmiş simetrik karbon bazlı süperkapasitör, nötr bir elektrolitte 8525 Wkg<sup>-1</sup> güç yoğunluğunda iyi bir hız kapasitesi ve 11,8 Whkg<sup>-1</sup>lık yüksek bir enerji yoğunluğu sunmuştur. Daha da ümit verici olanı, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-KK-3'e dayalı tamamen katı cihaz, uygulanabilirliğini büyük ölçüde genişleten olağanüstü esneklik sergilemiştir (Wu et al., 2021). Sinha ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, iki aktif elektrot malzemesinden -keratin bazlı hiyerarşik gözenekli karbon ve sulu RuO<sub>2</sub> bazlı yüksek enerji yoğunluklu esnek cihazlar tasarlanırken simetrik süperkapasitöre göre asimetrik konfigürasyonun avantajından yararlanmıştır. 776 Wkg<sup>-1</sup>da 37 Whkg<sup>-1</sup> enerji yoğunluğuyla 120 Fg<sup>-1</sup>lık etkin kapasitansı ortaya çıkaran cihaz verilerini düzeltmek için çeşitli tarama hızlarında psödokapasitans katkısının hassas bir ölçümünü incelemiştir. Ayrıca, yüksek akım yoğunluğu 25 Ag<sup>-1</sup>da %74'lük mükemmel hız kabiliyetini korumuştur (Sinha et al., 2020). 2022 yılında yapılan başka bir çalışmada, kompozit elektrotları hazırlamak için yerinde bir metodoloji kullanan kimyasal içermeyen, düşük maliyetli, basit, ölçeklenebilir ve kolay bir sentez tekniğinden yararlanılmıştır. Sentezlenen kompozit, süperkapasitör uygulaması için bir hibrit elektrot olarak kullanılmıştır. Sulu RuO<sub>2</sub> ve keratin elyaf türevi karbon (ROKF-2), 2 Ag<sup>-1</sup>da 3542 Fg<sup>-1</sup>lık mükemmel özgül kapasitans göstermiştir. Simetrik konfigürasyonda, uygulanan akım boyunca %90'ın üzerinde kolombik verimliliğini korurken 1 Ag<sup>-1</sup>da 121 Fg<sup>-1</sup>lık

mükemmel cihaz kapasitansı elde edilmiştir (Sinha & Kar, 2022). Chen ve diğerleri, biyokütle atığı kaplumbağa kabuğunun içinde bulunan doğal inorganik tuzu, hiyerarşik gözenekli yapıya sahip yüksek performanslı bir aktif karbonu başarıyla hazırlamak için kimyasal bir aktivasyon yöntemi ile birlikte bir tuz template olarak kullanmıştır. Kaplumbağa kabuğundan sentezlenen aktif karbon (TSHC-5),  $0,5 \text{ Ag}^{-1}$ 'da  $728 \text{ Fg}^{-1}$ 'lık üstün bir Cs, 10000 çevrimin ötesinde %92 tutma kapasitansı sağlamıştır. (Chen, Lei, Yu, Guan, & Yuan, 2022). 2022 yılında yapılan başka bir çalışmada, katı hal bir süperkapasitörün tasarımı için kolay ve ölçeklenebilir bir yöntem bildirilmiştir. 1 M NaCl elektrolitinde (1 M NaCl-EWG) elektrot olarak atık biyokütle insan saçından türetilen aktif karbon (HHCK) ve albümin (yumurta akı jel polimeri) birleştirilerek tasarlanmış katı hal süperkapasitörü hazırlanmıştır. HE-SC,  $0,37 \text{ kWkg}^{-1}$  güç yoğunluğunda  $38,4 \text{ Whkg}^{-1}$ 'lık yüksek bir enerji yoğunluğu ve 6500 çevrimden sonra %95 coulomb verimliliği ile %86 kapasitans tutma sağlamıştır. Bu güncel araştırma, atık biyokütleyi kullanarak düşük maliyetli ve yüksek performanslı süperkapasitörler hazırlamak için uygulanabilir ve etkili bir strateji sunmaktadır (Verma, Sinha, Ghorai, & Kar, 2022).

## KAYNAKÇA

- Alaf, M., Toçoğlu, U., & Akbulut, H. (2018). Li-O<sub>2</sub> Piller için  $\alpha$ -MnO<sub>2</sub>/Grafen/KNT Nanokompozit Elektrotlarının Üretimi ve Karakterizasyonu. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*. <https://doi.org/10.21541/AP-JES.349419>
- Biradar, M. R., Mirgane, H. A., Bhosale, S. v., & Bhosale, S. v. (2024). Advancing energy storage with nitrogen containing biomaterials utilizing amino acid, peptide and protein: Current trends and future directions. In *Journal of Energy Chemistry* (Vol. 99, pp. 253–276). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jecchem.2024.07.034>
- Bisvas, B. B., & Roy, S. (1995). *Proteins: Structure, Function, and Engineering*. 24. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1727-0>
- Bruno, S., Bonaccio, M., Bettati, S., Rivetti, C., Viappiani, C., Abbruzzetti, S., & Mozzarelli, A. (2001). High and low oxygen affinity conformations of T state hemoglobin. *Protein Science*, 10(11), 2401–2407. <https://doi.org/10.1110/PS.20501>
- Caravella, A., Lettieri, R., Vezza, R., & Gatto, E. (2024). Aerobic Biodegradation at a Seawater-Sediment Interface of a New Bioplastic 100% Based on Natural Polymers. *ACS Sustainable Resource Management*, 1(6), 1099–1111. <https://doi.org/10.1021/ACSSUSRESMGT.4C00029>
- Chen, H., Lei, X., Yu, T., Guan, X., & Yuan, H. (2022). Ultra-high specific capacitance of self-doped 3D hierarchical porous turtle shell-derived activated carbon for high-performance supercapacitors. *Ceramics International*, 48(4), 5289–5298. <https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2021.11.072>
- Chen, H., Liu, H., Guo, Y., Wang, B., Wei, Y., Zhang, Y., & Wu, H. (2018). Hierarchically ordered mesoporous TiO<sub>2</sub> nanofiber bundles derived from natural collagen fibers for lithium and sodium storage. *Journal of Alloys and Compounds*, 731, 844–852. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2017.10.116>
- Chen, S., Liu, S., Zhang, L., Han, Q., Liu, H., Shen, J., Li, G., Zhang, L., & Yang, Y. (2020). Construction of injectable silk fibroin/polydopamine hydrogel for treatment of spinal cord injury. *Chemical Engineering Journal*, 399, 125795. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2020.125795>
- Choi, D. W., & Choy, K. L. (2020). Spider silk binder for Si-based anode in lithium-ion batteries. *Materials & Design*, 191, 108669. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2020.108669>
- Clairand, J. M., Rodríguez-García, J., & Álvarez-Bel, C. (2018). Electric vehicle charging strategy for isolated systems with high penetration of renewable generation. *Energies*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/EN11113188>
- Dikici, S., & Altuntaş, V. (2023). Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Protein Katlanması Tanıma. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 16(2), 16. <https://doi.org/10.17671/gazi-btd.1141468>

- Eisenhaber, F., Persson, B., & Argos, P. (1995). Protein structure prediction: recognition of primary, secondary, and tertiary structural features from amino acid sequence. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 30(1), 1–94. <https://doi.org/10.3109/10409239509085139>
- Fan, H., & Shen, W. (2016). Gelatin-Based Microporous Carbon Nanosheets as High Performance Supercapacitor Electrodes. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(3), 1328–1337. [https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.5B01354/ASSET/IMAGES/LARGE/SC-2015-013545\\_0011.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.5B01354/ASSET/IMAGES/LARGE/SC-2015-013545_0011.JPEG)
- Fei, X., Shao, Z., & Chen, X. (2013). Synthesis of hierarchical three-dimensional copper oxide nanostructures through a biomineralization-inspired approach. *Nanoscale*, 5(17), 7991–7997. <https://doi.org/10.1039/C3NR01872E>
- Fennema, O. R., Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2017). *Amino Acids, Peptides, and Proteins*. 235–356. <https://doi.org/10.1201/9781315372914-6>
- Gillette, B. M., Rossen, N. S., Das, N., Leong, D., Wang, M., Dugar, A., & Sia, S. K. (2011). Engineering extracellular matrix structure in 3D multiphase tissues. *Biomaterials*, 32(32), 8067–8076. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMATERIALS.2011.05.043>
- González, A., Goikolea, E., Barrena, J. A., & Mysyk, R. (2016). Review on supercapacitors: Technologies and materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1189–1206. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.12.249>
- Han, Q., Chi, X., Zhang, S., Liu, Y., Zhou, B., Yang, J., & Liu, Y. (2018). Durable, flexible self-standing hydrogel electrolytes enabling high-safety rechargeable solid-state zinc metal batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(45), 23046–23054. <https://doi.org/10.1039/C8TA08314B>
- Han, Q., Leng, J., Dong, T., Ma, Y., & Zhao, W. (2022). A Novel Bone Gelatin Prepared by Enzymatic Catalysis with High Crosslinking Activity of MTGase for Gelatinization Properties of Minced Pork. *Processes*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/PR10061061>
- Han, X., Jiang, D., Qu, X., Bai, Y., Cao, Y., Luo, R., & Li, Z. (2021). A stretchable, self-healable triboelectric nanogenerator as electronic skin for energy harvesting and tactile sensing. *Materials*, 14(7), 1689. <https://doi.org/10.3390/MA14071689/S1>
- Hardy, J. G., & Scheibel, T. R. (2009). Silk-inspired polymers and proteins. *Biochemical Society Transactions*, 37(4), 677–681. <https://doi.org/10.1042/BST0370677>
- Hastuti, E., Subhan, A., & Auwala, A. (2021). Performance of carbon based on chicken feather with KOH activation as an anode for Li-ion batteries. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3183–3187. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.11.429>
- He, D., Niu, J., Dou, M., Ji, J., Huang, Y., & Wang, F. (2017). Nitrogen and oxygen co-doped carbon networks with a mesopore-dominant hierarchical porosity for high energy and power density supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 238, 310–318. <https://doi.org/10.1016/J.ELECTACTA.2017.03.218>

- He, Q., Huang, Y., & Wang, S. (2018). Hofmeister Effect-Assisted One Step Fabrication of Ductile and Strong Gelatin Hydrogels. *Advanced Functional Materials*, 28(5). <https://doi.org/10.1002/ADFM.201705069>
- Hill, P., Brantley, H., & van Dyke, M. (2010). Some properties of keratin biomaterials: Kerateines. *Biomaterials*, 31(4), 585–593. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMATERIALS.2009.09.076>
- Hou, J., Cao, C., Idrees, F., & Ma, X. (2015). Hierarchical porous nitrogen-doped carbon nanosheets derived from silk for ultrahigh-capacity battery anodes and supercapacitors. *ACS Nano*, 9(3), 2556–2564. [https://doi.org/10.1021/NN506394R/SUPPL\\_FILE/NN506394R\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/NN506394R/SUPPL_FILE/NN506394R_SI_001.PDF)
- Hsu, H. H., Liu, Y., Wang, Y., Li, B., Luo, G., Xing, M., & Zhong, W. (2020). Mussel-Inspired Autonomously Self-Healable All-in-One Supercapacitor with Biocompatible Hydrogel. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(18), 6935–6948. [https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.9B07250/SUPPL\\_FILE/SC9B07250\\_SI\\_002.MP4](https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.9B07250/SUPPL_FILE/SC9B07250_SI_002.MP4)
- Isobe, Y., Kosaka, T., Kuwahara, G., Mikami, H., Saku, T., & Kodama, S. (2012). Oriented collagen scaffolds for tissue engineering. *Mdpi.Com Y Isobe, T Kosaka, G Kuwahara, H Mikami, T Saku, S Kodama Materials, 2012•mdpi.Com*, 5(3), 501–511. <https://doi.org/10.3390/ma5030501>
- Jang, B. Z., Liu, C., Neff, D., Yu, Z., Wang, M. C., Xiong, W., & Zhamu, A. (2011). Graphene surface-enabled lithium ion-exchanging cells: Next-generation high-power energy storage devices. *Nano Letters*, 11(9), 3785–3791. [https://doi.org/10.1021/NL2018492/SUPPL\\_FILE/NL2018492\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/NL2018492/SUPPL_FILE/NL2018492_SI_001.PDF)
- Jia, X., Wang, C., Ranganathan, V., Napier, B., Yu, C., Chao, Y., Forsyth, M., Omenetto, F. G., Macfarlane, D. R., & Wallace, G. G. (2017). A Biodegradable Thin-Film Magnesium Primary Battery Using Silk Fibroin-Ionic Liquid Polymer Electrolyte. *ACS Energy Letters*, 2(4), 831–836. [https://doi.org/10.1021/ACSENERGY-LETT.7B00012/ASSET/IMAGES/LARGE/NZ-2017-00012D\\_0003.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSENERGY-LETT.7B00012/ASSET/IMAGES/LARGE/NZ-2017-00012D_0003.JPEG)
- Jiang, S., Wei, Y., Li, X., Shi, S. Q., Tian, D., Fang, Z., & Li, J. (2023). Scalable Manufacturing of Environmentally Stable All-Solid-State Plant Protein-Based Supercapacitors with Optimal Balance of Capacitive Performance and Mechanically Robust. *Small*, 19(25). <https://doi.org/10.1002/SMLL.20220799>
- Jing, X., Salick, M. R., Cordie, T., Mi, H. Y., Peng, X. F., & Turng, L. S. (2014). Electrospinning Homogeneous Nanofibrous Poly(propylene carbonate)/Gelatin Composite Scaffolds for Tissue Engineering. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 53(22), 9391–9400. <https://doi.org/10.1021/IE500762Z>
- Karataş, F., Özer, D., & Saydam, S. (2023). Farklı Muhafaza Yöntemlerinin Çiriş Otu (*Asphodelus aestivus* L.) Amino asit Miktarına Etkileri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(2), 690–700. <https://doi.org/10.31466/KFBD.1271823>
- Khadka, Y. R. (2021). Amino Acid- Essentiality to Human Body. *Patan Pragya*, 8(01), 196–206. <https://doi.org/10.3126/PRAGYA.V8I01.42437>
- Ke, L., Wang, Y., Ye, X., Luo, W., Huang, X., & Shi, B. (2019). Collagen-based breath-



- nable, humidity-ultrastable and degradable on-skin device. *Journal of Materials Chemistry C*, 7(9), 2548–2556. <https://doi.org/10.1039/C8TC05630G>
- Kong, Y., Xu, J., Guan, W., Sun, S., Yang, Y., & Li, G. (2023). Tailoring the elasticity of nerve implants for regulating peripheral nerve regeneration. *Smart Materials in Medicine*, 4, 266–285. <https://doi.org/10.1016/J.SMAIM.2022.11.004>
- Koochi-Fayegh, S., & Rosen, M. A. (2020). A review of energy storage types, applications and recent developments. *Journal of Energy Storage*, 27, 101047. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2019.101047>
- Kundu, B., Kurland, N. E., Bano, S., Patra, C., Engel, F. B., Yadavalli, V. K., & Kundu, S. C. (2014). Silk proteins for biomedical applications: Bioengineering perspectives. *Progress in Polymer Science*, 39(2), 251–267. <https://doi.org/10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2013.09.002>
- Landi, G., Fedi, F., Sorrentino, A., Neitzert, H. C., & Iannace, S. (2014). Gelatin/graphene systems for low cost energy storage. *AIP Conference Proceedings*, 1599, 202–205. <https://doi.org/10.1063/1.4876813>
- Landi, G., la Notte, L., Palma, A. L., Sorrentino, A., Maglione, M. G., & Puglisi, G. (2021). A Comparative Evaluation of Sustainable Binders for Environmentally Friendly Carbon-Based Supercapacitors. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/NANO12010046>
- Landi, G., Sorrentino, A., Iannace, S., & Neitzert, H. C. (2016). Differences between graphene and graphene oxide in gelatin based systems for transient biodegradable energy storage applications. *Nanotechnology*, 28(5), 054005. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/28/5/054005>
- Lei, J., Zhou, J., Li, J., Wen, J., Su, L., Duan, T., & Zhu, W. (2018). Novel collagen waste derived Mn-doped nitrogen-containing carbon for supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 285, 292–300. <https://doi.org/10.1016/J.ELECTACTA.2018.07.174>
- Li, Z., Xu, Z., Tan, X., Wang, H., Holt, C. M. B., Stephenson, T., Olsen, B. C., & Mitlin, D. (2013). Mesoporous nitrogen-rich carbons derived from protein for ultra-high capacity battery anodes and supercapacitors. *Energy and Environmental Science*, 6(3), 871–878. <https://doi.org/10.1039/c2ee23599d>
- Liu, C., Wang, X., Zhang, H. J., You, X., & Yue, O. (2021). Self-Healable, High-Strength Hydrogel Electrode for Flexible Sensors and Supercapacitors. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 13(30), 36240–36252. [https://doi.org/10.1021/ACSA-MI.1C03335/ASSET/IMAGES/LARGE/AM1C03335\\_0010.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSA-MI.1C03335/ASSET/IMAGES/LARGE/AM1C03335_0010.JPEG)
- Liu, X., Ostrovsky-Snider, N., lo Presti, M., Kim, T., & Omenetto, F. G. (2024). Use of Silk Fibroin Material Composites for Green, Flexible Supercapacitors. *ACS Biomaterials Science and Engineering*. [https://doi.org/10.1021/ACSBiomaterials.4C00716/ASSET/IMAGES/LARGE/AB4C00716\\_0004.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSBiomaterials.4C00716/ASSET/IMAGES/LARGE/AB4C00716_0004.JPEG)
- Long, C., Zhuang, J., Xiao, Y., Zheng, M., Hu, H., Dong, H., Lei, B., Zhang, H., & Liu, Y. (2016). Nitrogen-doped porous carbon with an ultrahigh specific surface area for superior performance supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 310, 145–153. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2016.01.052>

- Lu, J., Yang, J., Zhang, Z., Wang, C., Xu, J., & Wang, T. (2022). Silk Fibroin Coating Enables Dendrite-free Zinc Anode for Long-Life Aqueous Zinc-Ion Batteries. *ChemSusChem*, 15(15), e202200656. <https://doi.org/10.1002/CSSC.202200656>
- Mariod, A. A., & Fadul, H. (2015). Extraction and characterization of gelatin from two edible Sudanese insects and its applications in ice cream making. *Food Science and Technology International = Ciencia y Tecnologia de Los Alimentos Internacional*, 21(5), 380–391. <https://doi.org/10.1177/1082013214541137>
- McKittrick, J., Chen, P. Y., Bodde, S. G., Yang, W., Novitskaya, E. E., & Meyers, M. A. (2012). The structure, functions, and mechanical properties of keratin. *JOM*, 64(4), 449–468. <https://doi.org/10.1007/S11837-012-0302-8/FIGURES/15>.
- Mune Mune, M. A., Sogi, D. S., & Minka, S. R. (2018). Response surface methodology for investigating structure–function relationship of grain legume proteins. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13524.
- Muthukumaraswamy Rangaraj, V., Achazhiyath Edathil, A., Kadirvelayutham, P., & Banat, F. (2020). Chicken feathers as an intrinsic source to develop ZnS/carbon composite for Li-ion battery anode material. *Materials Chemistry and Physics*, 248, 122953. <https://doi.org/10.1016/J.MATCHEMPHYS.2020.122953>
- Nguyen, T. P., Easley, A. D., Kang, N., Khan, S., Lim, S. M., Rezenom, Y. H., Wang, S., Tran, D. K., Fan, J., Letteri, R. A., He, X., Su, L., Yu, C. H., Lutkenhaus, J. L., & Wooley, K. L. (2021). Polypeptide organic radical batteries. *Nature* 2021 593:7857, 593(7857), 61–66. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03399-1>
- Niu, J., Shao, R., Liang, J., Dou, M., Li, Z., Huang, Y., & Wang, F. (2017). Biomass-derived mesopore-dominant porous carbons with large specific surface area and high defect density as high performance electrode materials for Li-ion batteries and supercapacitors. *Nano Energy*, 36, 322–330. <https://doi.org/10.1016/J.NANOEN.2017.04.042>
- Niu, J., Shao, R., Liu, M., Liang, J., Zhang, Z., Dou, M., Huang, Y., & Wang, F. (2018). Porous carbon electrodes with battery-capacitive storage features for high performance Li-ion capacitors. *Energy Storage Materials*, 12, 145–152. <https://doi.org/10.1016/J.ENSM.2017.12.012>
- Odoom-Wubah, T., Rubio, S., Tirado, J. L., Ortiz, G. F., Akoi, B. J., Huang, J., & Li, Q. (2020). Waste Pd/Fish-Collagen as anode for energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 109968. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.109968>
- Olabi, A. G. (2017). Renewable energy and energy storage systems. *Energy*, 136, 1–6. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.07.054>
- Ou, J., Zhang, Y., Chen, L., Zhao, Q., Meng, Y., Guo, Y., & Xiao, D. (2015). Nitrogen-rich porous carbon derived from biomass as a high performance anode material for lithium ion batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(12), 6534–6541. <https://doi.org/10.1039/C4TA06614F>
- Özdemir, T. (2023). TÜRKİYE’DE LI-ION PİL ÜRETİMİ YATIRIMLARI. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(19), 79–86. <https://doi.org/10.54365/adyumbd.1287578>

- Pal, R. K., Kundu, S. C., & Yadavalli, V. K. (2018). Fabrication of Flexible, Fully Organic, Degradable Energy Storage Devices Using Silk Proteins. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(11), 9620–9628. [https://doi.org/10.1021/ACSA-MI.7B19309/ASSET/IMAGES/LARGE/AM-2017-19309P\\_0005.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSA-MI.7B19309/ASSET/IMAGES/LARGE/AM-2017-19309P_0005.JPEG)
- Parra, D., Norman, S. A., Walker, G. S., & Gillott, M. (2017). Optimum community energy storage for renewable energy and demand load management. *Applied Energy*, 200, 358–369. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2017.05.048>
- Pereira, R. F. P., Brito-Pereira, R., Gonçalves, R., Silva, M. P., Costa, C. M., Silva, M. M., de Zea Bermudez, V., & Lanceros-Méndez, S. (2018). Silk Fibroin Separators: A Step Toward Lithium-Ion Batteries with Enhanced Sustainability. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(6), 5385–5394. [https://doi.org/10.1021/ACSA-MI.7B13802/ASSET/IMAGES/LARGE/AM-2017-13802U\\_0009.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSA-MI.7B13802/ASSET/IMAGES/LARGE/AM-2017-13802U_0009.JPEG)
- Piao, Y., & Chen, B. (2017a). Synthesis and mechanical properties of double cross-linked gelatin-graphene oxide hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 791–798. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.03.155>
- Piao, Y., & Chen, B. (2017b). Synthesis and mechanical properties of double cross-linked gelatin-graphene oxide hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 791–798. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.03.155>
- R. Shenoy, S., & Jayaram, B. (2011). Proteins: Sequence to Structure and Function - Current Status. *Current Protein & Peptide Science*, 11(7), 498–514. <https://doi.org/10.2174/138920310794109094>
- Ramos-Clamont, G., Fernández-Michel, S., Carrillo-Vargas, L., Martínez-Calderón, E., & Vázquez-Moreno, L. (2003). Functional properties of protein fractions isolated from porcine blood. *Journal of Food Science*, 68(4), 1196-1200.
- Ravichandran, R., Martínez, J. G., Jager, E. W. H., Phopase, J., & Turner, A. P. F. (2018). Type I Collagen-Derived Injectable Conductive Hydrogel Scaffolds as Glucose Sensors. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(19), 16244–16249. [https://doi.org/10.1021/ACSAMI.8B04091/SUPPL\\_FILE/AM8B04091\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/ACSAMI.8B04091/SUPPL_FILE/AM8B04091_SI_001.PDF)
- Shan, B., Cui, Y., Liu, W., Zhang, Y., Liu, S., Wang, H., Sun, L., Wang, Z., & Wu, R. (2018). Fibrous Bio-Carbon Foams: A New Material for Lithium-Ion Hybrid Supercapacitors with Ultrahigh Integrated Energy/Power Density and Ultralong Cycle Life. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(11), 14989–15000. [https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.8B03473/SUPPL\\_FILE/SC8B03473\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.8B03473/SUPPL_FILE/SC8B03473_SI_001.PDF)
- Shao, R., Niu, J., Liang, J., Liu, M., Zhang, Z., Dou, M., Huang, Y., & Wang, F. (2017). Mesopore- and Macropore-Dominant Nitrogen-Doped Hierarchically Porous Carbons for High-Energy and Ultrafast Supercapacitors in Non-Aqueous Electrolytes. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(49), 42797–42805. [https://doi.org/10.1021/ACSAMI.7B14390/ASSET/IMAGES/LARGE/AM-2017-14390K\\_0006.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSAMI.7B14390/ASSET/IMAGES/LARGE/AM-2017-14390K_0006.JPEG)
- Sinha, P., & Kar, K. K. (2022). A flexible and high energy density -hydrous RuO<sub>2</sub> and keratin-derived renewable carbon composite-based asymmetric supercapaci-

- tor in redox-mediated electrolytes. *Electrochimica Acta*, 435, 141368. <https://doi.org/10.1016/J.ELECTACTA.2022.141368>
- Sinha, P., Yadav, A., Tyagi, A., Paik, P., Yokoi, H., Naskar, A. K., Kuila, T., & Kar, K. K. (2020). Keratin-derived functional carbon with superior charge storage and transport for high-performance supercapacitors. *Carbon*, 168, 419–438. <https://doi.org/10.1016/J.CARBON.2020.07.007>
- Solan, A., Dahl, S. L. M., & Niklason, L. E. (2009). Effects of mechanical stretch on collagen and cross-linking in engineered blood vessels. *Cell Transplantation*, 18(8), 915–921. [https://doi.org/10.3727/096368909X471161/ASSET/IMAGES/LARGE/10.3727\\_096368909X471161-FIG5.JPEG](https://doi.org/10.3727/096368909X471161/ASSET/IMAGES/LARGE/10.3727_096368909X471161-FIG5.JPEG)
- Song, S., Li, J., Yang, Z., & Wang, C. (2021). Enhancement of Thermo-Physical Properties of Expanded Vermiculite-Based Organic Composite Phase Change Materials for Improving the Thermal Energy Storage Efficiency. *ACS Omega*, 6(5), 3891–3899. [https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.0C05739/ASSET/IMAGES/LARGE/AO0C05739\\_0011.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.0C05739/ASSET/IMAGES/LARGE/AO0C05739_0011.JPEG)
- Song, Y., Cui, K., Wang, L., & Chen, S. (2009). The electrodeposition of Ag nanoparticles on a type I collagen-modified glassy carbonelectrode and their applications as a hydrogen peroxide sensor. *Nanotechnology*, 20(10), 105501. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/20/10/105501>
- Subhani, K., Jin, X., Hameed, N., Lau, A. K. t., Ramshaw, J. A. M., Glattauer, V., & Salim, N. v. (2022). Porous carbon sponges from collagen-rich biomass waste for high-performance supercapacitors. *Materials Today Sustainability*, 18, 100152. <https://doi.org/10.1016/J.MTSUST.2022.100152>
- Sun, C. S., Guo, D. C., Shao, Q. J., & Chen, J. (2021). Preparation of gelatin-derived nitrogen-doped large pore volume porous carbons as sulfur hosts for lithium-sulfur batteries. *New Carbon Materials*, 36(1), 198–208. [https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(21\)60014-8](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(21)60014-8)
- Sun, J., Huang, Y., Wang, W., Yu, Z., Wang, A., & Yuan, K. (2008). Application of gelatin as a binder for the sulfur cathode in lithium-sulfur batteries. *Electrochimica Acta*, 53(24), 7084–7088. <https://doi.org/10.1016/J.ELECTACTA.2008.05.022>
- Sun, J., Liu, Z., Rujiralai, T., Chen, J., Ma, L., Chen, H., Liu, Y., Liao, L., Chen, K., & Xi, Y. (2022). Tungsten disulfide nanoparticles embedded in gelatin-derived honeycomb-like nitrogen-doped carbon networks with reinforced electrochemical pseudocapacitance performance. *Journal of Energy Storage*, 46, 103916. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2021.103916>
- Şentürk, Z. D., Uçar, T., & Şimşek, Ö. (2022). Laktik Asit Bakterileri Tarafından Üretilen Ekzopolisakaritler ve Terapötik Etkileri. *Akademik Gıda*, 20(4), 412–429. <https://doi.org/10.24323/AKADEMİK-GIDA.1224359>
- Tao, X. Y., Zhu, K. H., Chen, H. M., Ye, S. F., Cui, P. X., Dou, L. Y., Ma, J., Zhao, C., He, J., & Feng, P. Z. (2023). Recyclable, anti-freezing and anti-drying silk fibroin-based hydrogels for ultrasensitive strain sensors and all-hydrogel-state supercapacitors. *Materials Today Chemistry*, 32, 101624. <https://doi.org/10.1016/J.MT-CHEM.2023.101624>

- Telay Mekonnen, B., Meiyazhagan, A., Ragothaman, M., Kalirajan, C., & Palanisamy, T. (2019). Bi-functional iron embedded carbon nanostructures from collagen waste for photocatalysis and Li-ion battery applications: A waste to wealth approach. *Journal of Cleaner Production*, 210, 190–199. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.319>
- Thiyagarajan, G. B., Shanmugam, V., Wilhelm, M., Mathur, S., Moodakare, S. B., & Kumar, R. (2021). TiNb2O7-Keratin derived carbon nanocomposites as novel anode materials for high-capacity lithium-ion batteries. *Open Ceramics*, 6, 100131. <https://doi.org/10.1016/J.OCERAM.2021.100131>
- Tian, X., Zhao, L., Zhao, E., Qiu, X., Li, S., & Li, K. (2024). Enhancing Resource Allocation for Multi-Energy Storage Systems: A Comprehensive Approach Considering Supply and Demand Flexibility and Integration of New Energy. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 43(3), 665–684. <https://doi.org/10.13052/SPEE1048-5236.4338>
- Tseng, P., Perotto, G., Napier, B., Riahi, P., Li, W., Shirman, E., Kaplan, D. L., Zenyuk, I. v., Omenetto, F. G., Tseng, P., Napier, B., Riahi, P., Li, W., Shirman, E., Kaplan, D. L., Omenetto, F. G., Perotto, G., & Zenyuk, I. v. (2016). Silk Fibroin-Carbon Nanotube Composite Electrodes for Flexible Biocatalytic Fuel Cells. *Advanced Electronic Materials*, 2(8), 1600190. <https://doi.org/10.1002/AELM.201600190>
- Vepari, C., & Kaplan, D. L. (2007). Silk as a biomaterial. *Progress in Polymer Science*, 32(8–9), 991–1007. <https://doi.org/10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2007.05.013>
- Verma, K. D., Sinha, P., Ghorai, M. K., & Kar, K. K. (2022). Mesoporous electrode from human hair and bio-based gel polymer electrolyte for high-performance supercapacitor. *Diamond and Related Materials*, 123, 108879. <https://doi.org/10.1016/J.DIAMOND.2022.108879>
- Volfkovich, Y. M. (2021). Electrochemical Supercapacitors (a Review). *Russian Journal of Electrochemistry* 2021 57:4, 57(4), 311–347. <https://doi.org/10.1134/S1023193521040108>
- Wang, B., Yang, W., McKittrick, J., & Meyers, M. A. (2016). Keratin: Structure, mechanical properties, occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration. *Progress in Materials Science*, 76, 229–318. <https://doi.org/10.1016/J.PMATSCI.2015.06.001>
- Wang, C., Xie, N. H., Zhang, Y., Huang, Z., Xia, K., Wang, H., Guo, S., Xu, B. Q., & Zhang, Y. (2019). Silk-Derived Highly Active Oxygen Electrocatalysts for Flexible and Rechargeable Zn-Air Batteries. *Chemistry of Materials*, 31(3), 1023–1029. [https://doi.org/10.1021/ACS.CHEMMATER.8B04572/ASSET/IMAGES/LARGE/CM-2018-04572A\\_0004.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACS.CHEMMATER.8B04572/ASSET/IMAGES/LARGE/CM-2018-04572A_0004.JPEG)
- Wang, P., Chen, Z., Wang, H., Ji, Z., Feng, Y., Wang, J., Liu, J., Hu, M., Fei, J., Gan, W., & Huang, Y. (2020). A high-performance flexible aqueous Al ion rechargeable battery with long cycle life. *Energy Storage Materials*, 25, 426–435. <https://doi.org/10.1016/J.ENSM.2019.09.038>
- Wang, Y., Song, Y., Wang, Y., Chen, X., Xia, Y., & Shao, Z. (2014). Graphene/silk fibroin

- based carbon nanocomposites for high performance supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(2), 773–781. <https://doi.org/10.1039/C4TA04772A>
- Wu, G. (2009). Amino acids: Metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, 37(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/S00726-009-0269-0>
- Wu, S., Zhou, H., Zhou, Y., Wang, H., Li, Y., Liu, X., & Zhou, Y. (2021). Keratin-derived heteroatoms-doped hierarchical porous carbon materials for all-solid flexible supercapacitors. *Journal of Alloys and Compounds*, 859, 157814. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2020.157814>
- Xu, B., Hou, S., Cao, G., Wu, F., & Yang, Y. (2012). Sustainable nitrogen-doped porous carbon with high surface areas prepared from gelatin for supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry*, 22(36), 19088–19093. <https://doi.org/10.1039/C2JM32759G>
- Yamaguchi, K., Kikuchi, Y., Takagi, T., Kikuchi, A., Oyama, F., Shimura, K., & Mizuno, S. (1989). Primary structure of the silk fibroin light chain determined by cDNA sequencing and peptide analysis. *Journal of Molecular Biology*, 210(1), 127–139. [https://doi.org/10.1016/0022-2836\(89\)90295-7](https://doi.org/10.1016/0022-2836(89)90295-7)
- Yan, R. R., Gong, J. S., Su, C., Liu, Y. L., Qian, J. Y., Xu, Z. H., & Shi, J. S. (2022). Preparation and applications of keratin biomaterials from natural keratin wastes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2022 106:7, 106(7), 2349–2366. <https://doi.org/10.1007/S00253-022-11882-6>
- Yang, J., Luo, J., Liu, H., Shi, L., Welch, K., Wang, Z., & Strømme, M. (2020). Electrochemically Active, Compressible, and Conducting Silk Fibroin Hydrogels. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 59(19), 9310–9317. [https://doi.org/10.1021/ACS.IECR.0C00407/ASSET/IMAGES/LARGE/IE0C00407\\_0005.JPG](https://doi.org/10.1021/ACS.IECR.0C00407/ASSET/IMAGES/LARGE/IE0C00407_0005.JPG)
- Yoshimura, T., & Esaki, N. (2003). Amino acid racemases: Functions and mechanisms. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 96(2), 103–109. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(03\)90111-3](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(03)90111-3)
- Yoshio, M., Brodd, R. J., & Kozawa, A. (2009). Lithium-ion batteries: Science and technologies. *Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies*, 1–452. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-34445-4/COVER>
- Yu, M., Han, Y., Li, J., & Wang, L. (2018). Magnetic N-doped carbon aerogel from sodium carboxymethyl cellulose/collagen composite aerogel for dye adsorption and electrochemical supercapacitor. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115, 185–193. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.04.012>
- Yun, T. G., Jang, J. S., Cheong, J. Y., & Kim, I. D. (2021). Organism epidermis/plant-root inspired ultra-stable supercapacitor for large-scale wearable energy storage applications. *Nano Energy*, 82, 105776. <https://doi.org/10.1016/J.NANO-EN.2021.105776>
- Yun, Y. S., Cho, S. Y., & Jin, H. J. (2014). Carbon aerogels based on regenerated silk proteins and graphene oxide for supercapacitors. *Macromolecular Research*, 22(5), 509–514. <https://doi.org/10.1007/S13233-014-2071-4/METRICS>

- Zeng, Y., Sun, B., Yu, H. Y., Wang, X., Peng, H., Chen, Y., Zhu, S., Mao, S., & Hou, W. (2019). A sustainable biomemristive memory device based on natural collagen. *Materials Today Chemistry*, 13, 18–24. <https://doi.org/10.1016/J.MTCHEM.2019.04.008>
- Zhang, B., Shi, H., Ju, Z., Huang, K., Lian, C., Wang, Y., Sheng, O., Zheng, J., Nai, J., Liu, T., Jin, Y., Liu, Y., Zhang, C. J., & Tao, X. (2020). Arrayed silk fibroin for high-performance Li metal batteries and atomic interface structure revealed by cryo-TEM. *Journal of Materials Chemistry A*, 8(48), 26045–26054. <https://doi.org/10.1039/D0TA09753E>
- Zhang, X., Liu, J., Li, L., Zheng, X., Tang, K., & Pei, Y. (2023). Collagen-Based Flexible Electronic Devices for Electrochemical Energy Storage and Sensing. *Macromolecular Rapid Communications*, 44(10), 2200977. <https://doi.org/10.1002/MARC.202200977>
- Zhang, Y., Cheng, Z., Ni, C., Wang, Z., Yu, Y., Zhai, X., Xu, S., Zhao, Z., Hu, L., & Hu, Y. (2022). Highly conductive EGaIn/silk fibroin ink for graphene 3D array structure micro-supercapacitors. *Chemical Engineering Journal*, 428, 132084. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2021.132084>
- Zhao, J., Gong, J., Zhou, C., Miao, C., Hu, R., Zhu, K., Cheng, K., Ye, K., Yan, J., Cao, D., Zhang, X., & Wang, G. (2020). Utilizing human hair for solid-state flexible fiber-based asymmetric supercapacitors. *Applied Surface Science*, 508, 145260. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2020.145260>
- Zhao, X., & Liang, G. (2023). Optimizing electric vehicle charging schedules and energy management in smart grids using an integrated GA-GRU-RL approach. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1268513. <https://doi.org/10.3389/FENRG.2023.1268513/BIBTEX>
- Zhou, L., Hou, J. Y., Chen, Y. N., Li, S. C., & Zou, B. X. (2022). Porous Carbon Composite Generated from Silk Fibroins and Graphene for Supercapacitors. *ACS Omega*, 7(32), 28284–28292. [https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.2C02735/ASSET/IMAGES/LARGE/AO2C02735\\_0007.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.2C02735/ASSET/IMAGES/LARGE/AO2C02735_0007.JPEG)
- Zingare, P. A., Dhoble, S. J., & Deshmukh, A. D. (2022). Highly stable fish-scale derived lamellar carbon for high performance supercapacitor application. *Diamond and Related Materials*, 124, 108925. <https://doi.org/10.1016/J.DIAMOND.2022.108925>







## Bölüm 11

### ***Quercus* L. CİNSİNE AİT TAKSONLARIN, 5.8S RRNA GENİ VE ITS SEKANSLARI TEMELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ VE FİLOGENETİK ANALİZLERİ**

*Aykut YILMAZ*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Doç. Dr. Aykut YILMAZ, Uşak Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Uşak, Türkiye, aykut.yilmaz@usak.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0327-8388

## GİRİŞ

Değişen ekolojik ve iklimsel şartların hüküm sürdüğü geniş dağılım alanlarında yayılış gösteren bir çok bitki grubu vardır. Bu durum morfolojik karakterlerde varyasyonların ortaya çıkmasına neden olmanın yanısıra aynı zamanda tür kimliklendirmesi ve ayrımında zorlaştırır (Hokanson vd., 1993; Kremer ve Petit, 1993; Bacilieri vd., 1996; Borazan ve Babaç, 2003; Neophytou vd., 2010; Jonah vd., 2011; Erol vd., 2014). Başka bir deyişle, taksonomik ve filogenetik açıdan problemlerin ortaya çıkmasına neden olur. Yeterli varyasyonlara sahip kısa DNA sekanslarının kullanımı temeline dayanan DNA barkodlama çalışmaları, ifade edilen taksonomik problemlerin çözümünde, filogenetik ilişkilerin anlaşılmasında ve biyoçeşitliliğin tanımlanmasında çok önemli bir yaklaşımdır. Bu amaçla, nükleer ve kloroplast DNA'sına ait farklı nükleotit dizileri sıklıkla kullanılmaktadır (Ellison vd., 2006; Denk ve Grimm, 2010; Simeone vd., 2013; Sramko vd., 2014; Yılmaz, 2020a; Yılmaz, 2021). Ancak, belirlenen her barkodlama bölgesinin taksonomik problemleri çözme ve taksonların filogenetik ilişkilerini ortaya çıkarma yetenekleri yeterli değildir (Yılmaz, 2020b; Yılmaz, 2021). Bununla birlikte, tercih edilen aynı nükleotit dizilerinin tür kimliklendirme ve ayırım yetenekleride bitki grupları arasında farklılık gösterebilmektedir. Bu durum, farklı bitki gruplarında her bir barkodlama bölgesinin ayırım yeteneklerinin belirlenmesini gerekli kılmakta, bu sayede farklı nükleotit dizilerinin birleştirilerek varolan taksonomik problemlerin çözümünde daha kapsamlı ve anlamlı sonuçların elde edilmesi açısından avantaj sağlamaktadır (Ellison vd., 2006; Pang vd., 2019; Ngoc vd., 2022). Başka bir deyişle, bazı barkodlama bölgelerinin incelenen taksonlar için sekans varyasyonları düşük olabilmekte ve bu durumda yapılacak çalışmada tercih edilmesi durumunda etkisi oldukça yetersiz olabilmektedir (Yılmaz, 2019).

Fagaceae familyasına ait *Quercus* L. cinsi Kuzey Yarımkürede oldukça geniş bir yayılış alanına sahiptir ve 500' ün üzerinde türle temsil edilmektedir (Govaerts ve Frodin, 1998; Laakılı vd., 2016). Geniş coğrafik yayılım ve aynı alanı paylaşan türler arasında hibridizasyon davranışı *Quercus* cinsinde yaygın olarak görülmektedir (Bacilieri vd., 1996; Manos vd., 2001). Bu durum morfolojik karakterlerde varyasyona neden olabilmekte ve sonrasında taksonomik problemleri arttırmaktadır (Borazan ve Babaç, 2003; Yılmaz vd., 2017). Yapraklar meşe türlerinin tanımlanmasında ve bir çok meşe türünde gözlenen hibridizasyonun varlığının belirlenmesinde en önemli belirteçlerdir (Kremer vd., 2002; Uslu ve Bakış, 2014; Yılmaz vd., 2017). *Quercus* cinsinde tür tanımlamasında bu denli önemli karakterler içeren yapraklarda ortaya çıkan yüksek morfolojik varyasyonlar, bazı durumlarda türlerin doğru tanımlamasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumda, ortaya çıkan taksonomik problemlerin çözümü ve filogenetik ilişkilerin daha açık bir şekilde ortaya konması amacıyla, DNA barkodlama çalışmaları cins içerisinde daha fazla önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekansları, *Quercus* cinsine ait tür ve alt türleri içeren 23 takson ve 82 örnek temelinde incelenmiştir. rRNA genleri arasında yerleşen ITS dizileri birçok bitki grubunda incelendiğinde, en yüksek varyasyonlu sekansları içeren ve çalışmalarda büyük oranda kullanılan barkodlama bölgelerinden biri olduğu söylenebilir (Alvarez ve Wendel, 2003; Bellarosa vd., 2005; Ajani vd., 2008; Yılmaz, 2020a). Yüksek varyasyona sahip olmak, tek başına barkodlama bölgesi seçiminde yeterli bir ölçüt değildir. Bununla birlikte, tür tanımlama, farklı türleri ayırt edebilme ve bunun sonucu olarak filogenetik ilişkileri ortaya koyabilme yeteneğinde barkodlama bölgesinden beklenmektedir. Bu doğrultuda genler arası spacer bölgeler ile bunlara kıyasla daha az sekans varyasyonu gösteren bazı genlerin nükleotit dizilerinin birlikte kullanımı moleküler çalışmalarda yaygın bir değerlendirme şeklidir (Pang vd., 2019; Ngoc vd., 2022). Bu çalışmada bu kapsamda ITS dizileri, 5.8S rRNA geni ile birlikte değerlendirilmiştir.

Geniş yayılış alanı ve buna bağlı farklı ekolojik şartların etkisi, gen akışı, genetik sürüklenme, hibridizasyon ve epigenetik mekanizmalar, meşelerde morfolojik karakterlerde değişime neden olan önemli faktörlerdir (Borazan ve Babaç, 2003; Yılmaz, 2018). Bu durum tür tanımlaması için yetersiz ayırt edici karakterlerin oluşumu ve sonrasında taksonomik problemlere neden olmaktadır. Taksonomik problemlerin çözümünde ve meşeler gibi geniş coğrafik alanda yayılış gösteren bir çok popülasyondan oluşan türlere sahip bitki guruplarında, filogenetik ilişkilerin daha açık ve kapsamlı anlaşılması için DNA barkodlama çalışmaları sıklıkla uygulanmaktadır. Bu kapsamda, bu çalışmada ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekansları, *Quercus* cinsine ait taksonların filogenetik ilişkilerinin değerlendirilmesi ve ilgili barkodlama bölgesinin tür kimliklendirme ve ayırım yeteneğinin belirlenmesi amacı ile National Center for Biotechnology Information (NCBI) veri tabanından toplanmış ve değerlendirilmiştir.

## **QUERCUS CİNSİNE AİT ÖRNEKLERİN FİLOGENETİK ANALİZİ İÇİN MATERYAL VE METHOD**

*Quercus* cinsine ait farklı tür ve alttürleri içeren toplam 82 örnek için, ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 bölgelerine ait sekans bilgilerinin tamamı, NCBI veri tabanından toplandı ve incelendi. İlk olarak *Quercus* cinsine ait taksonları içeren iki barkodlama bölgesi: 18S rRNA geni-ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2-25S rRNA geni ve ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 belirlendi. Daha sonra ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekanslarını içeren bölgeler, mümkün olduğunca çok takson ile daha kapsamlı bir değerlendirme yapmak adına çıkarıldı ve değerlendirildi. İlgili sekans bölgesine ait *Quercus* türlerinin seçiminde, popülasyonları, sekans uyumları, farklı araştırmacılar tarafından veri tabanına yüklenmiş olmaları gibi birçok kriterler dikkate alındı. Farklı meşe türlerine ait tüm popülasyonlar için ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekans bilgileri belirlenip toplandıktan sonra, tercih edilen barkodlama bölgesinin *Quercus* cinsinde tür

tanımlama ve filogenetik ilişkileri ortaya koyma yeteneklerini ölçmek amacı ile dizi bilgileri Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA 11) programına aktarıldı (Tamura vd., 2021).

İlk olarak tüm meşe taksonlarına ait sekanslar hizalandırıldı. Daha sonra taksonlar arasındaki nükleotit dizi farklılıklarını gösteren, variable ve parsim-info bölgeler belirlendi. Ayrıca bazların değişim olasılıkları belirlendi ve Tablo 1' de gösterildi.

**Tablo 1.** *ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekansları için bir bazdan (sıra) diğer baza (sütun) değişim olasılıkları (Transisyonel değişimler koyu renkli gösterilmiştir).*

	A	T	C	G
A	-	1.82	3.53	<b>15.31</b>
T	1.99	-	<b>35.66</b>	3.1
C	1.99	<b>18.34</b>	-	3.1
G	<b>9.81</b>	1.82	3.53	-

Bazların değişim olasılıklarından, transisyonel ve transversiyonel baz değişimleri (%) hesaplandı. Pürin ve pirimidinler için transisyon/transversiyon oranları belirlenip Tablo 2' de gösterildi. Ayrıca meşe taksonlarının ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 bölgelerine ait nükleotit frekansları (%) hesaplandı ve A+T/U and G+C (%) olarak gösterildi.

Son olarak, belirlenen sekansların *Quercus* taksonları için tür kimliklendirme ve ayırım yeteneklerinin ölçülmesinin yanısıra, *Quercus* cinsini taksonomik ve filogenetik açıdan değerlendirmek amacı ile Maximum Parsimony (MP) dendrogram oluşturuldu.

Sekans hizalandırmalarının sonucu olarak ortaya çıkan boşluklu ve hatalı bölgeler, daha etkili ve anlamlı sonuçlar elde etmek adına programın complete deletion opsiyonu ile çıkarıldı.

### **QUERCUS TAKSONLARININ ITS1-5.8S rRNA GENİ-ITS2 SEKANSLARINDAN ELDE EDİLEN ANALİZ SONUÇLARI**

Geçmişten günümüze kadar, NCBI veri tabanına yüklenen farklı popülasyonlar ve araştırmacılar temelinde *Quercus* türlerine ait ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekans bilgileri toplandı ve bu sekanslar uyumları temelinde hizalandırıldı. İncelenen *Quercus* cinsine ait örneklerin hizalandırılmış sekans uzunluğu, ilgili DNA bölgesi için 632 bp olarak belirlendi. Variable ve parsim-info bölgeler sırasıyla 281 ve 91 nükleotitte gözlemlendi. Başka bir deyişle 5.8S rRNA geninin ITS1 ve ITS2 sekansları ile birlikte, *Quercus* cinsi içerisinde yüksek varyasyonlu nükleotit dizilerine sahip olduğu söylenebilir. Transisyonel baz değişimlerinin %79.12 ile transversiyonel değişimlerden (%20.88) oldukça yüksek olduğu gözlemlendi. Ayrıca bu çalışma kapsamında, pürin,

pirimidin ve genel transisyon/transversiyon oranlarında sırasıyla 4.93, 10.09 ve 3.49 olarak tespit edildi (Tablo 2).

**Tablo 2.** ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekansları temelinde incelenen populasyonların bilgisi.

DNA bölgesi	Pop. (Sayısı)	Hizalandırılmış uzunluk (bp)	Variable bölge	Parsim-info bölge	Transis. değişimler (%)	Transvers. değişimler (%)	Transis./Transvers. Pürin Pirimidin Genel ( $k_1$ ) ( $k_2$ ) (R)	Nükleotit frek. (%) A+T/U G+C
ITS1-5.8S-ITS2	82	632	281	91	79.12	20.88	4.93 10.09 3.49	36.45/63.55

ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 bölgesinin çalışılan meşe taksonları için nükleotit frekansları hesaplanarak, A+T/U (%) ve G+C (%) şeklinde tablo 2' de gösterildi. Buna göre çalışılan barkodlama bölgesinde G+C frekansının % 63.55 ile A+T/U (%36.45)'e göre çok daha yüksek olduğu tespit edildi.

Son olarak Maximum Parsimony analizinden elde edilen dendrogram, ilgili sekans bölgesi için *Quercus* taksonlarını kimliklendirme yeteneğini ölçmek ve sonrasında belirlenen taksonlar için filogenetik ilişkileri ortaya koymak adına oluşturuldu (Şekil 1). MP dendrogram incelendiğinde, ilk olarak tüm meşe taksonlarının sekiyonlar temelinde çok açık bir şekilde kümelendiği söylenebilir. Başka bir deyişle, meşe taksonları ve populasyonlarının, oluşturulan filogenetik ağaçta *Quercus* L., *Cerris* Loudon ve *Ilex* Loudon olarak 3 sekiyonda toplandığı görülmektedir. ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 bölgesinin sekans bilgisi temelinde incelenen meşe örneklerinin, Avrupa'da İspanya'dan başlayarak Gürcistan ve Ermenistan'a kadar uzanan ve güneyde Irak ve İsrail'de içerisine alan geniş bir yayılış alanına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca sekans bilgileri incelenen örnekler, bu geniş coğrafyada farklı populasyonlar temelinde değerlendirilmiştir. Türkiye 3'ü endemic olmak üzere (*Q. aucheri*, *Q. vulcanica* ve *Q. macranthera* subsp. *sypirensis*) toplam 23 *Quercus* taksonu ile temsil edilen, geniş coğrafik alana sahip ülkelerden biridir (Hedge ve Yaltırık, 1982; Yaltırık, 1984). Bu çalışmada meşe çeşitliliği bakımından zengin ve bu bağlamda meşe taksonomisini anlamada en önemli bölgelerden birini oluşturan Türkiye'de, bir çok farklı tür ve populasyonlarla temsil edilmiştir.

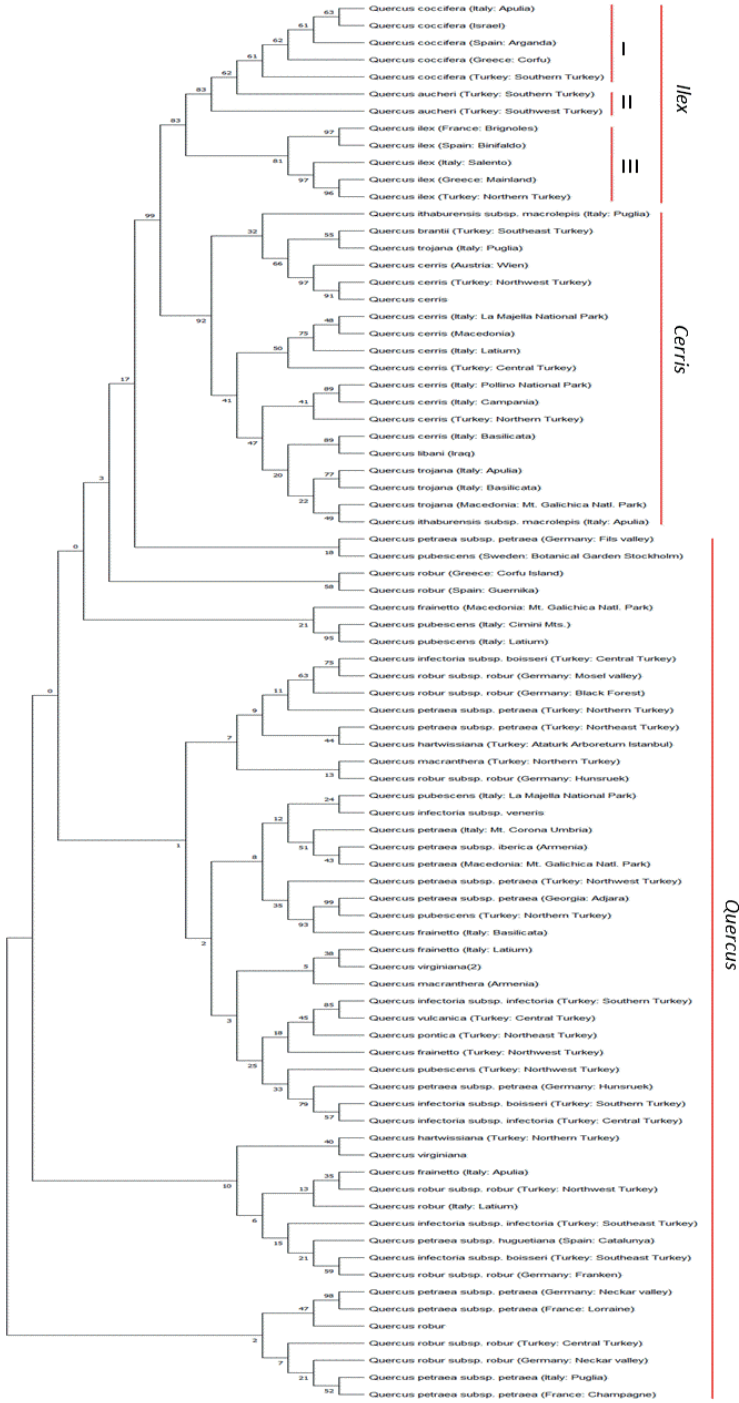
MP dendrogram incelendiğinde, *Ilex* sekiyonu içerisinde değerlendirilen *Q.coccifera*'ya ait 5 populasyonun dendrogramın en üstünde birlikte kümelendiği görülmektedir. Türkiye ve Yunanistan'ın bazı doğu Ege adalarında sınırlı yayılış alanına sahip *Q. aucheri*, Türkiye'ye ait 2 örnekle temsil edilmiş ve dendrogramda birlikte kümelenmiştir. *Q. aucheri* ve *Q. coccifera* örnekleri daha sonra dendrogramda birbirleri ile yakınlık göstermiştir. Fransa,

İspanya, İtalya, Yunanistan ve Türkiye'ye ait 5 *Q. ilex* populasyonu, filogenetik ağaçta birlikte kümelenip ayrı bir grup oluşturmuş ve daha sonra *Q. aucheri* ve *Q. coccifera*'ya ait grupla birleşmiştir. Yılmaz vd. (2017) tarafından herdem yeşil meşelerin morfolojik değişkenliği temelinde yapılan çalışmada, *Q. coccifera* ve *Q. aucheri* populasyonlarının birlikte kümelendiğini ve *Q. ilex* populasyonları ile dendrogramda dışardan bağlandığı görülmektedir. *İlex* seksiyonuna ait bu 3 türün ilişkisi incelendiğinde (Şekil 1), benzer bir durum gözlenmektedir.

*Q. ithaburensis* subsp. *macrolepis*, *Q. brantii*, *Q. trojana*, *Q. cerris* ve *Q. libani*'ye ait farklı lokalitelere sahip toplam 19 örnek, MP dendrogramda birlikte kümelenmiştir. Ayrıca aynı türe ait populasyonların birlikte kümelendiği ve daha sonrasında diğer türlerle birlikte *Cerris* seksiyonu altında gruplandırıldığı görülmektedir (Şekil 1).

Benzer bir durum çok daha fazla örnek ve taksonla temsil edilen *Quercus* seksiyonunda da görülmektedir. ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekanslarından elde edilen meşe türlerine ait filogenetik ağaç, en dışta *Quercus* seksiyonuna ait örnekleri diğer seksiyonlara ait örneklerden ayırmış ve kümelendirmiştir. Genel olarak aynı türün farklı populasyonları birbirine yakınlık göstermekle birlikte, bu bakımdan farklı durumlarda görülmektedir (Şekil 1).

Meşelerde varolan taksonomik problemlerin en önemli sebeplerinden birisi, farklı populasyonlardan oluşan taksonların geniş coğrafik yayılışı ve bunun sonucu morfolojik çeşitlenmenin yanısıra, özellikle aynı alanı paylaşan meşe türleri arasında sıklıkla gözlenen hibridizasyon davranışdır (Bacilieri vd., 1996; Borazan ve Babaç, 2003; Gonzalez-Rodriguez vd., 2004). Örneğin Türkiye'de yaygın bir meşe türü olan *Q. cerris*'in *Q. ithaburensis* ile genellikle hibridleşme davranışı gösterdiği ifade edilir (Yaltırık, 1984; Yılmaz vd., 2011). Benzer bir şekilde, karışık meşe populasyonlarında *Q. robur* ve *Q. petraea* arasında hibridizasyon davranışı Jensen vd. (2009) tarafından çalışılmıştır. Bir diğer *Q. robur* ve *Q. petraea* arasında hibrit bireylerin kimliklendirilmesi üzerine çalışma Samuel (1999) tarafından yapılmıştır. *Quercus* cinsine ait türlerin filogenetik ilişkisini gösteren MP dendrogram incelendiğinde, bu iki tür arasında ki karmaşık ilişki çok açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 1. *Quercus* taksonlarının ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekanslarından elde edilen MP dendrogram.





	2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 5 5 5 5 5 5 5
	0 2 2 2 2 3 2 4 5 6 6 6 7 1 1 1 1 2 2 2 3 3 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 8 8 9 9 0 2 2 2 3 3 3
	9 1 2 3 1 6 9 1 3 8 1 3 7 9 0 7 8 9 4 7 8 2 4 5 6 7 8 0 1 4 5 7 8 4 3 4 3 5 6 7 8 1 4 9
Quercus aucheri (Turkey: Southern Turkey)	CACGTGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus aucheri (Turkey: Southwest Turkey)	CACGTGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus brantii (Turkey: Southeast Turkey)	CACGTGTTCGTCCTTCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris (Macedonia)	CACGTGCCCATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris (Italy: Campania)	CGCATGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris (Italy: Pollino National Park)	CGCATGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris (Italy: Basilicata)	CACGTGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris (Turkey: Central Turkey)	CACGTGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris (Turkey: Northern Turkey)	CACGTGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris (Turkey: Northwest Turkey)	CACGTGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris (Austria: Wien)	CACGTGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris (Italy: La Majella National Park)	CACCTGCCATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris (Italy: Latium)	CACGTGCCATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus cerris	CACGTGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus coccifera (Israel)	CACGTGCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus coccifera (Turkey: Southern Turkey)	CACGTGCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus coccifera (Greece: Corfu)	CACGTGCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus coccifera (Spain: Arganda)	CACGTGCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus coccifera (Italy: Apulia)	CACGTGCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus frainetto (Macedonia: Mt. Galichica Natl. Park)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus frainetto (Italy: Latium)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus frainetto (Italy: Apulia)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus frainetto (Italy: Basilicata)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus frainetto (Turkey: Northwest Turkey)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus hartwissiana (Turkey: Atatürk Arboretum Istanbul)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus hartwissiana (Turkey: Northern Turkey)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus ilex (Italy: Salento)	CACGTGCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus ilex (Turkey: Northern Turkey)	CACGTGCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus ilex (Greece: Mainland)	CACGTGCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus ilex (Spain: Binifaldo)	CACGTGCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus ilex (France: Brignoles)	CACGTGCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus infectoria subsp. boissieri (Turkey: Southern Turkey)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus infectoria subsp. boissieri (Turkey: Central Turkey)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus infectoria subsp. boissieri (Turkey: Southeast Turkey)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus infectoria subsp. verneris	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus infectoria subsp. infectoria (Turkey: Southern Turkey)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus infectoria subsp. infectoria (Turkey: Central Turkey)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus infectoria subsp. infectoria (Turkey: Southeast Turkey)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus ilhaburensis subsp. macrolepis (Italy: Puglia)	CACGTGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus ilhaburensis subsp. macrolepis (Italy: Apulia)	CACGTGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGC
Quercus libani (Iran)	CACGTGCCGTCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus macranthera (Armenia)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus macranthera (Turkey: Northern Turkey)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea (Macedonia: Mt. Galichica Natl. Park)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea (Italy: Mt. Corona Umbria)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea subsp. huguetiana (Spain: Catalunya)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea subsp. ibérica (Armenia)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea subsp. petraea (Germany: Fils valley)	TATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea subsp. petraea (Italy: Puglia)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea subsp. petraea (Germany: Neckar valley)	CATGGCCCGATCCCCGGAAGTGTGCGTGTCCCGGAGTTGCGT
Quercus petraea subsp. petraea (Germany: Hunsruek)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea subsp. petraea (Turkey: Northeast Turkey)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea subsp. petraea (Turkey: Northern Turkey)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea subsp. petraea (France: Lorraine)	CATGGCCCGATCCCCGGAAGTGTGCGTGTCCCGGAGTTGCGT
Quercus petraea subsp. petraea (France: Champagne)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea subsp. petraea (Turkey: Northwest Turkey)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus petraea subsp. petraea (Georgia: Adjara)	TATGGCGTGCATCTCCAGTATGGTGTACCCAGAAATTTAGCT
Quercus pontica (Turkey: Northeast Turkey)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus pubescens (Italy: Gimini Mts.)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus pubescens (Turkey: Northern Turkey)	CATGGCGTTCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus pubescens (Turkey: Northwest Turkey)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus pubescens (Sweden: Botanical Garden Stockholm)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus pubescens (Italy: La Majella National Park)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus pubescens (Italy: Latium)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur (Greece: Corfu Island)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur (Spain: Guernika)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur (Italy: Latium)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur subsp. robur (Germany: Franken)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur subsp. robur (Germany: Black Forest)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur subsp. robur (Germany: Neckar valley)	CATGGCCCGATCCCCAGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur subsp. robur (Germany: Hunsruek)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur subsp. robur (Germany: Mosel valley)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur subsp. robur (Turkey: Central Turkey)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus robur subsp. robur (Turkey: Northwest Turkey)	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus trojana (Macedonia: Mt. Galichica Natl. Park)	CACGTGCCGTTCCTCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus trojana (Italy: Puglia)	CACGTGCCGTTCCTCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus trojana (Italy: Basilicata)	CACGTGCCGTTCCTCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus trojana (Italy: Apulia)	CACGTGCCGTTCCTCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTCGACGA
Quercus virginiana(2)	CACGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus virginiana	CATGGCCCGATCCCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT
Quercus vulcanica (Turkey: Central Turkey)	CACGGCCCGTGTTCCTCCGGCGCGCGTGTGCCCGGGGGTTGCGT

**Şekil 2.** *Quercus cinsine ait örnekler ve ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekanslarına ait Parsimony informative bölgeler (Sayılar değişken nükleotitleri gösterir).*

Variable nükleotit dizileri ve ardından parsimony informative bölgeler, incelenen bitki grubunda taksonların kimliklendirilmesinin yansırsa, taksonomik ve filogenetik ilişkilerin değerlendirilmesinde önemli katkı sağlarlar.

5.8S rRNA geni ve ITS sekansları temelinde incelenen meşe örneklerinde variable ve parsimony informative bölgeler sırasıyla, 281 ve 91 nükleotitte gözlenmiştir. Bu açıdan ilgili sekans bölgesinin meşe taksonlarının ayrımı için yeterli bilgiye sahip olduğu söylenebilir.

Populasyon genetiği temelinde yapılan çalışmalar, tür içi varyasyonların değerlendirilmesi, varolan değişimlerin kaynağı ve nedenlerinin açıklanması, ayrıca hibridizasyonun davranışı hakkında daha kapsamlı ve anlamlı sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu bağlamda bu çalışma, ilgili sekans bölgesine ait *Quercus* türlerinin birlikte ve populasyonlar temelinde ilişkilerinin değerlendirilmesi açısından önem göstermektedir. Ayrıca ilgili barkodlama bölgesinin *Quercus* cinsinde tür kimliklendirme ve filogenetik ilişkilendirme yeteneğinin değerlendirilmesi de yapılmaktadır. Farklı bitki gruplarında hangi DNA sekansının barkodlama için daha fazla yarar sağlayacağı değişmekte ve bu kapsamda ileride yapılacak çalışmalarda doğru barkodlama bölgelerinin seçiminde ve kullanımında bu çalışmanın katkı sağlayacağı söylenebilir.. Bir başka deyişle, ITS1-5.8S rRNA geni-ITS2 sekansları, *Quercus* cinsinin taksonomik ve filogenetik değerlendirmesinde açık bir şekilde tavsiye edilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazar çalışmada kullanılan sekans bilgileri için NCBI'e ve sekans bilgilerini NCBI'da paylaşan yazarlara teşekkür eder.

## EK

FM244282, FM244290, FM243827, EU628555, FM243867, FM243863, FM243856, FM243851, FM243848, FM243847, FM243845, AY226833, AY226832, AF098430, FM244333, FM244320, DQ342352, DQ342346, AY226834, EU628556, EU628549, AY226835, FM244017, FM244016, FM244041, FM244037, EU628561, FM244443, FM244350, DQ342356, DQ342353, FM243945, FM243942, FM243936, KM200968, FM244084, FM244077, FM244064, FM243874, AY226845, MZ470270, EU628562, FM244103, EU628558, EU628552, EU628551, EU628553, FM244149, FM244145, FM244141, FM244138, FM244134, FM244130, FM244127, FM244125, FM244110, FM244050, FM244160, EU628563, FM244251, FM244255, FM244169, AY226846, AY226839, EU628560, EU628559, AY226840, AF098424, FM244250, FM244246, FM244244, FM244242, FM244240, FM244236, FM244231, EU628557, FM243932, FM243925, AY226843, AY456178, AF098427, FM244263

## KAYNAKÇA

- Ajani, Y., Ajani, A., Cordes, J. M., Watson, M. F., Downie, S. R. (2008). Phylogenetic analysis of nrDNA ITS sequences reveals relationships within five groups of Iranian Apiaceae subfamily Apioideae. *Taxon*, 57 (2): 383-401.
- Alvarez, I. and Wendel, J. F. (2003). Ribosomal ITS sequences and plant phylogenetic inference. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 29: 417-434.
- Bacilieri, R., Ducouso, A., Petit, R. J., Kremer, A. (1996). Mating system and asymmetric hybridization in a mixed stand of European oaks. *Evolution*, 50(2): 900-908.
- Bellarosa, R., Simeone, M. C., Papini, A., Schirone, B. (2005). Utility of ITS sequence data for phylogenetic reconstruction of Italian *Quercus* spp. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 34: 355-370.
- Borazan, A. and Babaç, M. T. (2003). Morphometric leaf variation in oaks (*Quercus*) of Bolu, Turkey. *Annales Botanici Fennici*, 40: 233-242.
- Denk, T. and Grimm, G. W. (2010). The oaks of western Eurasia: Traditional classifications and evidence from two nuclear markers. *Taxon*, 59(2): 351-366.
- Ellison, N. W., Liston, A., Steiner, J. J., Williams, W. M., Taylor, N. L. (2006). Molecular phylogenetics of the clover genus (*Trifolium*—Leguminosae). *Mol. Phylogenet. Evol.*, 39(3): 688-705.
- Erol, O., Kaya, H. B., Şık, L., Tuna, M., Can, L., Tanyolaç, M. B. (2014). The genus *Crocus*, series *Crocus* (Iridaceae) in Turkey and 2 East Aegean islands: a genetic approach. *Turkish Journal of Biology*, 38: 48-62.
- Govaerts, R. and Frodin, D. G. (1998). World checklist and bibliography of Fagales (Betulaceae, Corylaceae, Fagaceae and Ticodendraceae). Great Britain: Royal Botanic Gardens, Kew.
- Gonzalez-Rodriguez, A., Arias, D. M., Valencia, S., Oyama, K. (2004). Morphological and RAPD analysis of hybridization between *Quercus affinis* and *Q. laurina* (Fagaceae), two Mexican red oaks. *Am. J. Bot.*, 91(3): 401-409.
- Hedge, I. C. and Yaltırık, F. (1982). *Quercus* L. In: Davis PH, editor. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 7. Edinburgh: Edinburgh University Press, pp. 659-683.
- Hokanson, S. C., Isebrands, J. G., Jensen, R. J., Hancock, J. F. (1993). Isozyme variation in oaks of the Apostle Islands in Wisconsin: Genetic structure and levels of inbreeding in *Quercus rubra* and *Quercus ellipsoidalis* (Fagaceae). *A. J. Bot.*, 80: 1349-1357.
- Jensen, J., Larsen, A., Nielsen, L. R., Cottrell, J. (2009). Hybridization between *Q. robur* and *Q. petraea* in a mixed oak stand in Denmark. *Ann. For. Sci.*, 66(7): 706.
- Jonah, P. M., Bello, L. L., Lucky, O., Midau, A., Moruppa, S. M. (2011). Review: the importance of molecular markers in plant breeding programmes. *Global Journal of Science Frontier Research*, 11: 0975-5896.

- Kremer, A. and Petit, R. J. (1993). Gene diversity in natural populations of oak species. *Ann. For. Sci.*, 50: 186-202.
- Kremer, A., Dupouey, J. L., Deans, J. D., Cottrell, J., Csaikl, U., Finkeldey, R., Espinel, S., Jensen, J., Kleinschmit, J., Van Dam, B., Ducousso, A., Forrest, I., De Heredia, U. L., Lowe, A. J., Tutkova, M., Munro, R. C., Steinhoff, S., Badaeu, V. (2002). Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea* in stable across western European mixed oak stands. *Ann. Forest Sci.*, 59: 777-787.
- Laakılı, A., Belkadi, B., Gaboun, F., Yatrib, C., Makhouloufi, M., El Antry, S., Medraoui, L., Laamarti, A., Filali-Maltouf, A. (2016). Analysis of dendrometric diversity among natural populations of cork oak (*Quercus suber* L.) from Morocco. *Turk. J. Agric. For.*, 40: 127-135.
- Manos, P. S., Zhou, Z., Cannon, C. H. (2001). Systematics of Fagaceae: phylogenetic tests of reproductive trait evolution. *Int J Plant Sci.*, 162: 1361-1379.
- NCBI: National Centre of Biotechnology Information, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>.
- Neophytou, C., Aravanopoulos, F. A., Fink, S., Dounavi, A. (2010). Detecting interspecific and geographic differentiation patterns in two interfertile oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) using small sets of microsatellite markers. *For. Ecol. Manag.*, 259: 2026-2035.
- Ngoc, N. V., Duy, N. V., Phuong, N. T. M., Binh, H. T. (2022). Evaluation of DNA barcodes in discriminating *Quercus* species from LAM DONG, VIETNAM. *Vietnam Journal of Biotechnology*, 20(4): 621-631.
- Pang, X., Liu, H., Wu, S., Yuan, Y., Li, H., Dong, J., Liu, Z., An, C., Su, Z., Li, B. (2019). Species Identification of Oaks (*Quercus* L., Fagaceae) from Gene to Genome. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(23): 5940.
- Samuel, R. (1999). Identification of hybrids between *Q. petraea* and *Q. robur* (Fagaceae): results obtained with RAPD markers confirm allozyme studies based on the Got- 2 locus. *Plant Syst. Evol.*, 217: 137-146.
- Simeone, M. C., Piredda, R., Papini, A., Vessella, F., Schirone, B. (2013). Application of plastid and nuclear markers to DNA barcoding of Euro-Mediterranean oaks (*Quercus*, Fagaceae): problems, prospects and phylogenetic implications. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 172(4): 478-499.
- Sramko, G., Molnar, A. V., Hawkins, J. A., Bateman, R. M. (2014). Molecular phylogeny and evolutionary history of the Eurasian orchid genus *Himantoglossum* s.l. (Orchidaceae). *Ann. Bot.*, 114: 1609-1626.
- Tamura, K., Stecher, G., Kumar, S. (2021). MEGA 11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7): 3022-3027.
- Uslu, E. and Bakış, Y. (2014). Morphometric analyses of the leaf variation within *Quercus* L. Sect. *Cerris* Loudon in Turkey. *Dendrobiology*, 71: 109-117.
- Yaltırık, F. (1984). Türkiye meşeleri teşhis kılavuzu. İstanbul: Yenilik Basımevi.

- Yılmaz, A., Uslu, E., Babaç, M. T. (2011). Cytogenetic studies on *Quercus* L. (Fagaceae) species belonging to *Ilex* and *Cerris* section in Turkey. *Caryologia*, 64(3): 297-301.
- Yılmaz, A., Uslu, E., Babaç, M. T. (2017). Morphological variability of evergreen oaks (*Quercus*) in Turkey. *Bangladesh J. Plant Taxon*, 24(1): 39-47.
- Yılmaz, A. (2018). Cytogenetic Relationships of Turkish Oaks. *Cytogenetics-Past, Present and Further Perspectives*, IntechOpen, London-United Kingdom.
- Yılmaz, A. (2019). *Quercus* cinsine ait türlerde matK geni/trnK gen intronu ve rbcL geninin DNA barkodlama ve filogenetik ilişkilerin değerlendirilmesinde önemi. 1<sup>st</sup>. International Congress of Medical Sciences and Biotechnology, Uşak.
- Yılmaz, A. (2020a). The importance in DNA barcoding of the regions which is covering rRNA genes and ITS sequences in the genus *Quercus* L. *Bangladesh J. Plant Taxon*, 27(2): 261-271.
- Yılmaz, A. (2020b). *Quercus* L. Cinsine Ait Türlerde Kloroplast DNA'ya Ait psbA-trnH IGS Bölgesinin Kullanılarak Filogenetik İlişkilerin Değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8: 1185-1192.
- Yılmaz, A. (2021). The Evaluations and Comparisons of Nuclear and Chloroplast DNA Regions Based on Species Identification and Phylogenetic Relationships of *Cro-cus* L. Taxa. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2): 1504-1518.





## *Bölüm 12*

### **ADANA'NIN YÜREĞİR İLÇESİ MUSTAFA KEMAL PAŞA BULVARINDA GÜRÜLTÜ KİRLİLİĞİ VE GÜRÜLTÜ DOZU DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ**

*Ömer SÖĞÜT<sup>1</sup>*

*Engin AKTAŞ<sup>2</sup>*

1 Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 46100 Kahramanmaraş, Türkiye, ORCID ID:0000-0003-1987-1116

2 Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 46100 Kahramanmaraş, Türkiye, ORCID ID: 0009-0002-8777-8247

## 1. Giriş

Bir enerji türü olan ses, maddenin titreşimleriyle üretilir ve basınç değişimleriyle iletilir. Bu nedenle ses dalgalarına basınç dalgaları da denir. Ses yaşamımızda önemli bir olgudur. Ancak ses gürültüye dönüştüğü zaman katlanılmaz olabilir ve çeşitli olumsuz sağlık etkilerine neden olabilir. Aslında fiziksel olarak gürültü ile ses arasında bir fark yoktur. Ancak gürültü, insanlar üzerinde olumsuz etki yapan, dinleyene bir anlam ifade etmeyen ve hoşla gitmeyen sesler olarak tanımlanabilir. Bu tanıma bakıldığında, sesin gürültü niteliği taşıması için mutlaka yüksek ses seviyesinde olması gerekmediği anlaşılmaktadır. Bir sesin alıcı tarafından rahatsız edici yani gürültü olarak algılanmasının nedenleri arasında sesin frekansı, süresi, noktasal, düzlemsel veya çizgisel kaynaktan yayılıp yayılmadığı gibi etkenlerle birlikte gürültüye maruz kalan kişinin yaşı, fiziki ve ruhsal durumu ve sesin bulunduğu ortamda zamana göre dağılımı gibi faktörler sayılabilir (Özyonar ve Peker, 2008). Ancak genel olarak ses düzeyi 65 dB(A) ve üzerinde olduğu zaman insanların çoğu, ortaya çıkan sestense rahatsızlık duymaktadır (Karabiber, 1999). Dünya sağlık örgütü (DSÖ), çevresel gürültünün büyük bir halk sağlığı düşmanı olarak görülmesi gerektiğini rapor etmiş ve gürültü kirliliğinin olumsuz etkileri ile ilgili çalışmalar yapılması için teşvikler yapmıştır (Shehi ve ark., 2022). Gürültünün insanlar üzerindeki olumsuz etkileri, genelde fizyolojik ve psikolojik olmak üzere iki şekilde olmaktadır. Fizyolojik etkiler arasında en yaygın olanı işitme kayıplarıdır. Gürültü insanlarda birçok zararlı etkilere neden olabilir. Bu etkilerin ortaya çıkıp-çıkması, maruz kalma türüne, maruziyet süresine ve maruz kalan organ gibi birçok faktöre bağlıdır. Gürültü kirliliği kan basıncının ve kalp atışlarının artması, kalp-damar hastalıkları, kas reflekslerinin oluşması ve uyku bozuklukları gibi olumsuz sağlık etkilerine neden olabilir (Belojevic ve ark., 2008; Miedema ve Vos, 1998; Muzet, 2007; Passchier-Vermeer ve ark., 2000; Babisch, 2005). Gürültü herkesi etkileyen bir olgudur. Günlük yaşamımızda sürekli olarak gürültüye maruz kalıyoruz. Çevrede farklı gürültü kaynakları vardır ancak bunlar genellikle faaliyetlere, konuma ve günün saatine bağlıdır (Muzet,



2007). Sağlık kişinin beden, ruhen ve sosyal yönden tam iyilik hali olarak tanımlanabilir. Çevresel gürültünün ana kaynakları arasında karayolu, demiryolu ve hava trafiği, endüstriler, inşaat ve kamu işleri, inşaat faaliyetleri, trafikte bulunan ve giderek artan araç sayısı, nüfus artışı gibi birçok faktör sayılabilir (DSÖ, 1999; Roozbahani ve ark., 2009; Ryherd ve ark., 2008). Çevresel gürültü konut gürültüsü veya ev gürültüsü olarak da adlandırılır. Başka bir ifadeyle çevresel ya da topluluk gürültüsü endüstriyel işyerlerindeki gürültünün dışında tüm kaynaklardan yayılan gürültü olarak tanımlanabilir. Gürültü gözle görülemez, kokmaz ve kaynak kapatıldığında çevrede hiçbir iz bırakmadan kaybolur. Gürültü kirliliği ekosistemleri ve çevreyle ilgili faaliyetleri olumsuz yönde etkileyebilir.

Farklı ses basınç aralıklarını gürültü olarak algılamak kişiden kişiye farklılık gösterebilir. Kişilerin algılayabileceği ses basıncı aralığı çok geniş olduğu için bu aralık seviyeleri desibel olarak logaritmik ölçekte tespit edilir (Muzet, 2007). Bu nedenle, ses basınç düzeylerinin aritmetik ortalaması alınmaz. Çevremizde işittiğimiz seslerin çoğu birçok frekansın karışımından ya da bileşiminden oluşur. Frekans Hertz (Hz) olarak ölçülür ve saniyedeki titreşim sayısı anlamındadır. İnsanlar genel olarak 20-20000 Hz aralığındaki sesleri işitirler. Dünya sağlık örgütüne göre insanların gün boyunca yaşadıkları çevrede maruz kaldıkları gürültü seviyesinin 55 dB'nin ve gece boyunca 30 dB'nin altında kalması gerektiğini rapor etmiştir (Helmer ve ark., 1999; Shaaban ve Abouzaid, 2021; Amran ve ark., 2021). Dünya Sağlık Örgütü yönergesine göre karayolu trafik gürültü seviyesinin gündüz 53 dBA'nın, gece ise 45 dBA'nın altına olmasını tavsiye etmiştir (DSÖ, 2018). Çevre, tüm canlıların birbirleriyle etkileşim içinde, birlikte yaşadıkları biyolojik, kültürel, sosyal ve fiziki ortam olarak tanımlanabilir. Güvenlik ve yaşamı kolaylaştırmak adına yapılan tüm faaliyetler bu alan içinde gerçekleştirilir. Ancak bu faaliyetlerin olumlu katkıları olurken çevre kirliliği gibi birçok olumsuz katkıları da olur. Çevre kirliliği çevrenin özelliklerine ve kaynaklarına göre gruplandırılabilir. Çevre kirliliği gürültü, radyasyon, hava, su, toprak, ışık kirliliği olarak sayılabilir (Polat ve Buluş-Kırıkkaya, 2007). Ulaşımın vazgeçilmezlerinden biri olan karayolu trafik

gürültüsü kentsel alanlarda sürekli büyüyen çevre sorunlarından biridir. Bu araştırma bu konuya dikkat çekmek ve farkındalık oluşturmak için yapıldı.

Günümüzde çözülmeyi bekleyen en önemli çevre sorunlarından biri gürültü kirliliğidir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı Adana'nın Yüreğir ilçesinde bulunan Mustafa Kemal Paşa Bulvarının 3200 m uzunluğundaki kısmı boyunca gürültü kirlilik düzeyini tespit etmek, gürültü doz seviyesini (D) hesaplamak ve bu konu hakkında farkındalık oluşturmaktır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Ölçümlerin Yapılması**

Adana'nın Yüreğir ilçesinde bulunan Mustafa Kemal Paşa Bulvarının 3200 m uzunluğundaki kısmı boyunca gürültü kirlilik düzeyini tespit etmek için Testo 815 gürültü ölçer cihazı kullanıldı. Ölçümlere başlamadan önce Testo 815 ses seviyesi veya gürültü ölçer,  $\pm 0.5$  dB hassasiyete sahip olan CEM SC-05 ses seviyesi kalibratörü ile kalibre edildi. Ölçümler Mustafa Kemal Paşa Bulvarının 3200 m uzunluğundaki kısmında 400 m aralıklarla, 8 noktada bir hafta boyunca, 30-80 dB, 50-100 dB ve 80-130 dB ses düzeyi seviyelerinde, 12:00 ile 17:00 saatleri arasında yapıldı. Ölçüm noktalarında cihaz yerden 1.5 m ve kenarlardan 1.5 m uzaklıkta tutularak bir tripot üzerine yerleştirildi. Ölçümler esnasında cihaz ölçüm yapan kişiden 50 cm uzaklıkta tutuldu. Her bir ölçüm üç kez tekrarlandı ve ortalaması alındı. Ölçümlerden elde edilen gürültü düzeyleri Tablo 1'de verildi. Şekil 1'de Testo 815 gürültü ölçer cihazı ile CEM SC-05 ses seviyesi kalibratörünün fotoğrafı ve Şekil 2'de Mustafa Kemal Paşa Bulvarı ile ölçüm noktalarını gösteren uydu haritası verildi. Kullanılan desibel metrede A ve C frekans ağırlıklarına sahiptir. Frekans ağırlığı A, standart ses seviyesi ölçümleri için kullanılır ve bu ağırlıklandırma, işitsel olarak telafi edilmiş ses seviyesi olarak da adlandırılan, insan kulağının hissettiği ses basıncına karşılık gelir. Bir sesin düşük frekans düzeyleri değerlendirilecekse C frekans ağırlıklandırması kullanılır. Bu çalışmada A frekans ağırlığı kullanıldı.



Şekil 1. (a)Testo 815 ses seviyesi ölçer ve (b) CEM SC-05 ses seviyesi kalibratörünün fotoğrafı



Şekil 2. Mustafa Kemal Paşa Bulvarı

## 2.2. Eşdeğer Gürültü Seviyesinin ( $L_{eq}$ ) Hesaplanması

Ses şiddeti veya gürültü ölçümlerinde eşdeğer gürültü seviyesi ( $L_{eq}$ ) hesaplanmalıdır. Çünkü birçok ölçüm durumunda, geleneksel bir ses seviyesi ölçerin geniş ölçüde dalgalanan ekran verileri, doğru ses seviyesinin tespit edilmesini son derece zorlaştırabilir. Eşdeğer gürültü seviyesi  $L_{eq}$  belirli bir süre boyunca devam eden ses enerjisinin veya ses

basınçlarının ortalama değerini veren, dB(A) cinsinden bir gürültü ölçөгüdür ve aşağıdaki denklemle hesaplanabilir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008; Bayraktar ve Mutlu, 2021; Parbat ve Nagarnaik, 2007).

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad (1)$$

burada  $L_{eq}$  eşdeğer gürültü seviyesidir.  $n$  gürültü ölçümlerinin sayısıdır.  $L_i$  ölçülen gürültü seviyesi ve birimi dB(A)'dır.

### 2.3. Gürültü Dozu ve Gürültü Dozunun Hesaplanması

Gürültü dozu, gürültü seviyesinin sabit olmasına veya farklı gürültü seviyesi periyotlarından oluşmasına bağlı olarak iki şekilde hesaplanabilir: L ses seviyesi tüm çalışma süresi (vardiya) boyunca sabit ise, gürültü dozu D yüzde olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$D = 100x \frac{C}{T} \quad (2)$$

burada D yüzde olarak doz miktarıdır. C saat olarak günlük mesai süresidir ve T ölçülen ses seviyesine (L) karşılık gelen referans zaman seviyesidir. Ancak günlük gürültü maruziyeti farklı gürültü seviyelerindeki periyotlardan oluşuyorsa, yüzde olarak günlük D dozu aşağıdaki formüle göre hesaplanır ve D 100'e eşit veya onu geçemez (NIOSH, 1998; Field ve Long, 2018).

$$D = \left[ \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right] x 100 \quad (3)$$

burada  $C_n$  belirli bir gürültü seviyesindeki toplam maruz kalma süresidir ve  $T_n$  o seviyedeki gürültünün tehlikeli hale geldiği maruz kalma süresidir (o seviye için referans süre). İlk denklem maruz kalanlar için doz yüzde olarak belirler ve izin verilen maksimum doz %100'dür. Referans süre seviyesi T aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır (Field ve Long, 2018).

$$T = \frac{8}{2^{\frac{(L-90)}{5}}} \quad (4)$$

burada T referans süresidir ve L ölçülen ses seviyesi olan dB(A) maruziyetidir. Günlük doz ise aşağıdaki formüle göre 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalamaya (TWA) dönüştürülebilir (NIOSH, 1998).

$$TWA = 10 \log \left( \frac{D}{100} \right) + 85 \quad (5)$$

85 dB(A) önerilen maruz kalma sınırıdır ve bu seviyenin üzerindeki maruz kalmalar tehlikeli olarak kabul edilir. Ancak sürekli, değişken, aralıklı veya darbeleri (dürtüsel) gürültüye maruz kalmanın 140 dB(A)'yı aşmaması gerekir (NIOSH, 1998; Field ve Long, 2018).

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Adana'nın Yüreğir ilçesinde bulunan Mustafa Kemal Paşa Bulvarınının 3200 m uzunluğundaki kısmı boyunca gürültü maruziyet düzeyi tespit etmek için Testo-815 gürültü ölçüm cihazı kullanıldı ve gürültü doz seviyesini (D) hesaplandı. Her bir ölçüm noktasında Testo-815 gürültü ölçüm cihazının sahip olduğu 30-80 dB; 50-100 dB; 80-130 dB aralıkları kullanılarak üçer ölçüm yapıldı. Ölçüm noktalarında cihaz yerden 1.5 m ve kenarlardan 1.5 m uzaklıkta tutularak bir tripot üzerine yerleştirildi. Her bir ölçüm 2 dakika yapıldı. Bu şekilde üç ölçüm yapıldı ve bu ölçümlerin ortalaması alındı. 32-80 dB, 50-100 dB ve 80-130 dB ağırlıklandırma aralıklarında yapılan ses seviyesi ölçüm değerleri Tablo 1'de verildi. Hesaplanan eşdeğer gürültü düzeyi (Leq) 72.051 ile 84.60 dBA arasında değişmektedir. Ölçüm yapılan bütün noktalar için hesaplanan Leq değerlerinin tümü T.C. Çevre ve Orman Bakanlığının 65 dB(A) ve DSÖ'nün açık hava yaşam alanı için belirlediği sınır değeri olan 55 dB(A)'dan oldukça büyüktür. Gürültü dozu (D); 32-80 frekans ağırlıklandırma aralığında 0.46 ile 1.34 arasında, 50-100 frekans ağırlıklandırma aralığında 0.37 ile 6.06 arasında ve 80-130 frekans ağırlıklandırma aralığında 0.74 ile 3.37 arasında değişmektedir. Günlük dozunun 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama (TWA) değeri 85 dB(A)'nın altındadır.

Tablo 2 ve Şekil 3-4'den görüldüğü gibi, 32-80 frekans ağırlıklandırma aralığında pazartesi günü sekiz noktada için hesaplanan eşdeğer gürültü seviyesi 69.23-75.94 dB(A) aralığında, Salı günü 68.87-85.40 dB(A) aralığında, Çarşamba günü 65.63-86.24 dB(A) aralığında, Perşembe günü 63.54-83.49 dB(A) aralığında, Cuma günü 66.46-82.80

dB(A) aralığında, Cumartesi günü 69.45-85.57 dB(A) aralığında ve Pazar günü 70.82-80.49 dB(A) aralığında değişmektedir. Tablo 2 ve Şekil 3-4'den görüldüğü gibi, 50-100 frekans ağırlıklandırma aralığında pazartesi günü sekiz noktada için hesaplanan eşdeğer gürültü seviyesi 69.17-82.97 dB(A) aralığında, Salı günü 69.04-89.51 dB(A) aralığında, Çarşamba günü 63.82-77.36 dB(A) aralığında, Perşembe günü 66.04-84.81 dB(A) aralığında, Cuma günü 63.30-88.82 dB(A) aralığında, Cumartesi günü 70.09-91.21 dB(A) aralığında ve Pazar günü 69.51-104,80 dB(A) aralığında değişmektedir. Tablo 2 ve Şekil 3-4'den görüldüğü gibi, 80-130 frekans ağırlıklandırma aralığında pazartesi günü sekiz noktada için hesaplanan eşdeğer gürültü seviyesi 68.99-83.94 dB(A) aralığında, Salı günü 67.98-84.77 dB(A) aralığında, Çarşamba günü 66.64-87.87 dB(A) aralığında, Perşembe günü 71.63-91.45 dB(A) aralığında, Cuma günü 68.51-84.45 dB(A) aralığında, Cumartesi günü 70.37-84.41 dB(A) aralığında ve Pazar günü 77.84-89.85 dB(A) aralığında değişmektedir. Sonuç olarak, 32-80 frekans ağırlıklandırma aralığı için ölçümlerden hesaplanan eşdeğer gürültü seviyesinin en büyük olduğu maruziyet Çarşamba günü 86.24 dB(A) olarak 1. noktada, 50-100 frekans ağırlıklandırma aralığında, Pazar günü 104.80 dB(A) olarak 6. noktada ve 80-130 frekans ağırlıklandırma aralığında ise Perşembe günü 91.45 dB(A) olarak 6. noktada olduğu görülmektedir. Ancak genel olarak Tablo 1'deki ölçüm sonuçlarından ve Tablo 2'de verilen eşdeğer gürültü seviyelerine göre üç ağırlıklandırma aralığı için yapılan ölçümlerden gürültü seviyesinin yaklaşık olarak her gün aynı seviyede olduğu ( bazı noktalar hariç) söylenebilir.

Tablo 3 ve şekil 4'den görüldüğü gibi, 32-80 ses seviyesi ağırlıklandırma aralığında en büyük gürültü doz maruziyeti Çarşamba günü tespit edilirken en küçük gürültü doz maruziyeti Pazartesi günü tespit edilmiştir. 50-100 ses seviyesi ağırlıklandırma aralığında en büyük gürültü doz maruziyeti Pazar günü ölçülürken en küçük gürültü doz maruziyeti Çarşamba günü ölçülmüştür. 80-130 ses seviyesi ağırlıklandırma aralığında en büyük gürültü doz maruziyeti Perşembe günü tespit edilirken en küçük gürültü doz maruziyeti Çarşamba günü tespit edilmiştir.

Tablo 4 ve şekil 5'den görüldüğü gibi, 32-80 ses seviyesi ağırlıklandırma aralığında günlük dozun 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalamasının (TWA) en yüksek değeri Çarşamba günü için ölçülen verilerden hesaplanırken en küçük değer pazarertesi günü hesaplanmıştır. 50-100 ses seviyesi ağırlıklandırma aralığında TWA'nın en küçük değeri Çarşamba günü tespit edilirken en büyük değeri Pazar günü tespit edildi. 80-130 ses seviyesi ağırlıklandırma aralığında TWA'nın en büyük değeri Perşembe günü için yapılan ölçümlerden hesaplanırken, en küçük değeri Salı, Cuma ve Cumartesi günleri için hesaplandı.

Mevcut (kullanılan) kara yolları için kara yolu çevresel gürültü sınır değerleri 4 Haziran 2010 cuma günü 27601 sayılı resmî gazetede, Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinde yayınlandı. Bu yönetmenlikte gürültüye hassas kullanımlardan eğitim, kültür ve sağlık alanları ile yazlık ve kamp yerlerinin ağırlıklı olduğu alanlarda gündüz, akşam ve gece için sınır değerler sırasıyla 65, 60 ve 55 dB(A) ile sınırlandı. Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan konutların yoğun olarak bulunduğu alanlarda gündüz, akşam ve gece için sınır değerler sırasıyla 68, 63 ve 58 dB(A) olarak belirlendi. Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlarda, işyerlerinin ve konutların yoğun olduğu alanlarda gündüz, akşam ve gece olarak sınır değerler sırasıyla 70, 65 ve 60 dB(A) olarak verilirken endüstriyel alanlarda gündüz, akşam ve gece için sınır değerler sırasıyla 72, 67 ve 62 dB(A) ile sınırlandırılmıştır. DSÖ'nün Avrupa bölgesi için çevresel gürültü kurallarına göre trafik gürültüsünün gündüz 53 dB(A) ve gece için 45 dB(A)'dan daha küçük olması önerilmektedir (DSÖ, 2018). Avustralya Hükümeti Sağlık ve Yaşlı Bakımı Bakanlığının 2018 yıldaki çevresel gürültünün sağlığa etkileri ile ilgili raporunda gece boyunca oluşan eşdeğer gürültü seviyesinin 55 dB(A) ve gündüz gürültü seviyesinin 60 dB(A) ile sınırlandırılması önerilmektedir (Australian Government Department of Health and Aged Care, 2018). Tablo 1 ve Tablo 2'deki veriler incelendiğinde Adana'nın Yüreğir ilçesinde bulunan Mustafa Kemal Paşa Bulvarının 3200 m uzunluğundaki kısmı boyunca tespit edilen noktalarda

ölçülen ses seviyesi ve hesaplanan eşdeğer gürültü düzeyinin tümü yukarıda belirlenene sınır değerlerinden büyüktür. Bu nedenle bu cadde boyunca yetkililer tarafından gürültü azaltma önlemleri alınmalıdır. Karayolu gürültüsünü olumsuz yönde etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir: Lastik tipi, motor gücü ve yapısı (dizel veya benzinli), taşıt tipi (ağır, orta ve hafif taşıt grupları), yolların bakımı durumu, egzoz ve susturucu, araç yoğunluğu, kavşak ve trafik ışık miktarı, klakson ve korna tipi ve özelliği, asfalt tipi (Kurra, 2009; Savaş, 2019). Literatürde yapılan bir çalışmaya göre yol yapımında kullanılan normal asfalt betonu ile poroz asfalt betonu arasında 80 km/saat hızla giden bir araç için OECD'nin 1995'deki raporuna göre 4 dBA fark olduğu rapor edilmiştir (İyınam ve ark. 1998). Başka bir araştırmada poroz asfaltın trafik gürültüsünü azaltmada klasik normal asfalt betona göre 3 ile 7 dBA düzeyinde düşürdüğü rapor edilmiş (Ergün, 2001).

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafında gürültü kirliliğinin olumsuz sağlık etkilerini tanımlamış ve hastalık kontrol ve önleme merkezlerine göre gürültü kirliliği göz bebeği genişlemesi, işitme kaybı, stres, kalp atım hızında artış, adrenalin üretiminde artış, yüksek tansiyon, baş ağrıları, dinlenme ve uyku bozuklukları, tiroit hormonunun üretiminde artış, üretkenlik ve zihinsel sağlık etkileri ve kişinin yaşam kalitesinde genel bir azalma, mide ve karın hareketinde artışı, konuşma ile parazit gibi çeşitli olumsuz sağlık etkilerine neden olabilecek genişleyen bir halk sağlığı sorunu olarak tanımlanmıştır (DSÖ, 1994; web1-2; Passchier-Vermeer ve Passchier, 2000). Gürültünün olumsuz etkileri ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bunlardan birinde, 2003 yılında gürültünün okuldaki çocuklar üzerindeki etkileri ile ilgili bir inceleme yapılmış ve gürültünün çocukların okuldaki performansı üzerinde olumsuz etkisi olduğunu, gürültüden en çok etkilenenlerin ilkökul yaş aralığındaki daha büyük çocukların olduğunu rapor edilmiş (Shield ve Dockrell, 2003; MacKenzie, 2000; Hay, 1995). 2008 yılında Özyonar ve Peker, Sivas kent merkezindeki çevresel gürültü kirliliğinin ile ilgili bir çalışma yapılmış ve kent merkezinde ölçülen gürültü düzeyinin



Çevre ve Orman Bakanlığının Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetiminde tanımlanan gürültü limit değeri 65 dBA ile DSÖ tarafından tanımlanan 55 dB(A) daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Özyonar ve Peker, 2008; Atmaca ve Peker, 1999). Literatürde gürültü ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Lan ve ark., 2024; Baclet ve ark., 2023; Kaya, 2022; Freitas ve ark., 2019; Kahveci ve Yücel, 2018; Mumcu, 2019; Aktürk ve ark., 2003; Lan ve ark., 2020; Riedel ve ark., 2019; Pascale ve ark., 2023).

*Tablo 1. 32-80 dB, 50-100 dB ve 80-130 dB ses seviyesi ağırlıklandırma aralıkları için yapılan ölçümler (ortalama  $\pm\sigma$ , n=3)*

N	Konum	A ağırlığı aralıkları (dBA)	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
1	Lot:37.00393 Lon:35.3662 6	32-80	80.23 $\pm$ 2.61	74.46 $\pm$ 3.92	87.06 $\pm$ 10.56	73.13 $\pm$ 3.41	71.07 $\pm$ 2.78	75.50 $\pm$ 9.42	77.17 $\pm$ 3.10
		50-100	80.03 $\pm$ 1.30	73.30 $\pm$ 3.87	73.50 $\pm$ 1.21	76.00 $\pm$ 6.67	72.03 $\pm$ 3.38	72.23 $\pm$ 6.31	74.50 $\pm$ 1.83
		80-130	78.83 $\pm$ 4.69	71.43 $\pm$ 5.05	74.90 $\pm$ 2.26	87.50 $\pm$ 8.60	77.43 $\pm$ 6.16	72.80 $\pm$ 6.72	81.67 $\pm$ 4.36
2	Lot:37.00532 Lon:35.3635 4	32-80	80.75 $\pm$ 3.93	78.16 $\pm$ 1.57	80.30 $\pm$ 4.13	72.60 $\pm$ 1.99	71.80 $\pm$ 6.62	81.33 $\pm$ 3.01	76.33 $\pm$ 3.89
		50-100	80.83 $\pm$ 8.25	81.70 $\pm$ 2.82	73.90 $\pm$ 1.15	80.06 $\pm$ 8.76	68.86 $\pm$ 6.75	80.33 $\pm$ 3.95	84.60 $\pm$ 14.85
		80-130	78.47 $\pm$ 8.42	78.00 $\pm$ 2.12	76.73 $\pm$ 3.81	83.73 $\pm$ 9.86	73.56 $\pm$ 1.46	81.76 $\pm$ 6.27	84.50 $\pm$ 13.46
3	Lot:37.00763 Lon:35.3615 3	32-80	73.60 $\pm$ 3.72	78.83 $\pm$ 1.95	76.66 $\pm$ 2.55	68.06 $\pm$ 3.10	74.73 $\pm$ 8.70	73.26 $\pm$ 5.16	77.63 $\pm$ 5.93
		50-100	79.40 $\pm$ 10.33	81.93 $\pm$ 4.82	73.90 $\pm$ 1.15	81.53 $\pm$ 5.65	78.56 $\pm$ 18.41	83.33 $\pm$ 7.48	77.83 $\pm$ 9.53
		80-130	80.90 $\pm$ 11.85	78.10 $\pm$ 2.21	76.73 $\pm$ 3.82	88.76 $\pm$ 10.36	76.80 $\pm$ 2.78	83.26 $\pm$ 8.03	83.67 $\pm$ 8.39
4	Lot:37.00846 Lon:35.3580 4	32-80	73.90 $\pm$ 4.88	80.10 $\pm$ 2.44	92.20 $\pm$ 8.79	79.63 $\pm$ 12.25	74.40 $\pm$ 1.90	82.43 $\pm$ 10.68	78.27 $\pm$ 3.62
		50-100	72.33 $\pm$ 6.04	77.13 $\pm$ 3.37	76.00 $\pm$ 1.45	74.83 $\pm$ 2.39	76.46 $\pm$ 7.42	75.00 $\pm$ 5.74	76.10 $\pm$ 6.79
		80-130	79.36 $\pm$ 10.00	79.20 $\pm$ 2.88	88.43 $\pm$ 11.03	85.43 $\pm$ 12.09	76.36 $\pm$ 2.47	77.63 $\pm$ 5.39	87.47 $\pm$ 10.50
5	Lot:37.00746 Lon:35.3528 7	32-80	69.80 $\pm$ 6.41	73.96 $\pm$ 1.32	78.06 $\pm$ 3.98	74.73 $\pm$ 3.13	79.46 $\pm$ 11.25	81.66 $\pm$ 11.98	79.50 $\pm$ 1.47
		50-100	75.20 $\pm$ 4.37	83.23 $\pm$ 3.92	76.80 $\pm$ 3.11	77.93 $\pm$ 11.87	71.73 $\pm$ 5.08	76.83 $\pm$ 6.76	79.63 $\pm$ 4.11
		80-130	84.07 $\pm$ 8.18	79.13 $\pm$ 4.35	80.80 $\pm$ 1.61	85.43 $\pm$ 8.95	77.26 $\pm$ 9.66	81.93 $\pm$ 6.11	84.93 $\pm$ 3.15
6	Lot:37.00744	32-80	74.73 $\pm$ 5.18	74.66 $\pm$ 1.62	74.03 $\pm$ 4.02	77.66 $\pm$ 7.29	72.23 $\pm$ 5.23	72.20 $\pm$ 7.05	77.27 $\pm$ 6.48

6	Lon:35.3475	50-100	76.96±2.80	86.00±12.01	72.76±7.40	70.70±2.8 8	81.76±14.46	81.30±17.50	88.77±22.62
		80-130	77.70±4.84	77.43±0.87	87.43±9.66	86.33±13. 25	78.90±13.76	75.76±4.6 7	88.03±2.25
7	Lot:37.00811 Lon:35.3434 5	32-80	76.96±5.63	76.30±1.67	69.26±4.44	73.06±2.1 0	72.56±9.75	78.47±6.8 7	75.83±1.63
		50-100	72.66±5.29	79.66±2.49	68.50±2.76	81.56±11. 66	68.23±9.95	75.00±2.8 9	79.00±4.91
		80-130	73.83±2.39	78.56±8.75	71.36±2.46	80.56±6.7 7	73.46±7.65	78.97±7.91	81.50±9.97
8	Lot:37.00930 Lon:35.3397 2	32-80	74.53±6.34	84.20±9.63	72.26±3.96	71.73±8.1 9	76.96±11.55	73.50±3.93	79.23±9.66
		50-100	81.03±10.48	81.56±12.27	75.60±10.05	74.23±6.1 1	67.80±2.97	79.67±8.44	78.40±4.52
		80-130	77.16±2.25	85.10±8.31	81.33±6.95	74.56±6.4 2	75.00±5.74	81.30±12.70	84.80±7.66
<b>Ortalama</b>		32-80	75.56±4.84	77.58±3.02	78.73±5.3 0	73.83±5.1 8	74.15±7. 22	77.29±7. 26	77.65±4. 47
		50-100	77.31±6.11	80.56±5. 70	73.87±6.1 1	77.11±7.0 0	73.18±8. 55	88.38±7. 38	79.85±8. 65
		80-130	78.79±6.5 5	78.37±4. 32	79.71±5.2 0	84.04±9.5 4	75.47±6. 21	79.18±7. 23	84.57±7. 47

N=Noktalar

Tablo 2. 32-80 dB, 50-100 dB ve 80-130 dB ses seviyesi ağırlıklandırma aralıkları için hesaplanan haftalık ortalama  $L_{eq}$  (dB(A)) değeri

N	Konum	A ağırlığı aralıkları (dBA)	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
1	Lot:37.00393 Lon:35.36626	32-80	75.56	70.23	86.24	68.64	66.46	74.35	72.65
		50-100	74.93	69.04	68.78	74.27	67.55	70.09	69.51
		80-130	75.40	67.98	69.67	85.59	75.15	70.37	77.84
2	Lot:37.00532 Lon:35.36354	32-80	75.94	73.11	76.37	67.69	69.30	76.78	72.05
		50-100	80.63	77.02	68.77	80.14	66.37	76.26	91.14
		80-130	77.75	73.13	72.59	85.09	68.51	79.60	89.85
3	Lot:37.00763 Lon:35.36153	32-80	69.23	73.89	71.93	63.54	74.82	69.57	74.63
		50-100	81.44	78.57	68.77	78.80	88.82	81.43	78.66
		80-130	83.94	73.25	72.59	89.75	71.76	82.77	83.53
4	Lot:37.00846 Lon:35.35804	32-80	70.57	75.36	90.41	83.49	69.46	84.83	74.04
		50-100	69.40	72.77	70.93	70.06	75.03	72.16	74.09
		80-130	80.23	74.64	87.87	89.47	71.62	74.69	87.35
5	Lot:37.00746 Lon:35.35287	32-80	67.83	68.87	74.09	70.27	82.50	85.57	74.43
		50-100	71.53	79.20	72.23	80.43	68.57	74.49	75.42
		80-130	83.67	75.26	75.78	84.98	78.58	79.58	80.44
6	Lot:37.00744 Lon:35.34756	32-80	71.03	69.64	69.83	75.46	68.78	70.15	74.98
		50-100	72.28	89.51	71.03	66.04	83.45	91.21	104.80
		80-130	73.85	72.26	87.13	91.45	84.45	72.31	83.18

7	Lot:37.00811 Lon:35.34345	32-80	74.02	71.29	65.63	68.17	72.86	76.45	70.82
		50-100	69.17	74.95	63.82	84.81	69.86	70.46	75.39
		80-130	68.99	78.56	66.64	78.81	72.55	78.46	82.41
8	Lot:37.00930 Lon:35.33972	32-80	72.23	85.40	67.99	69.59	80.20	69.45	80.49
		50-100	82.97	85.49	77.36	71.77	63.30	79.69	74.74
		80-130	72.31	84.77	79.83	71.63	72.16	84.41	83.40
Ortalama		32-80	72.051	73.48	75.31	70.86	73.05	75.89	74.26
		50-100	75.29	78.32	70.21	75.79	72.87	76.97	80.47
		80-130	77.02	74.98	76.51	84.60	74.35	77.77	83.50

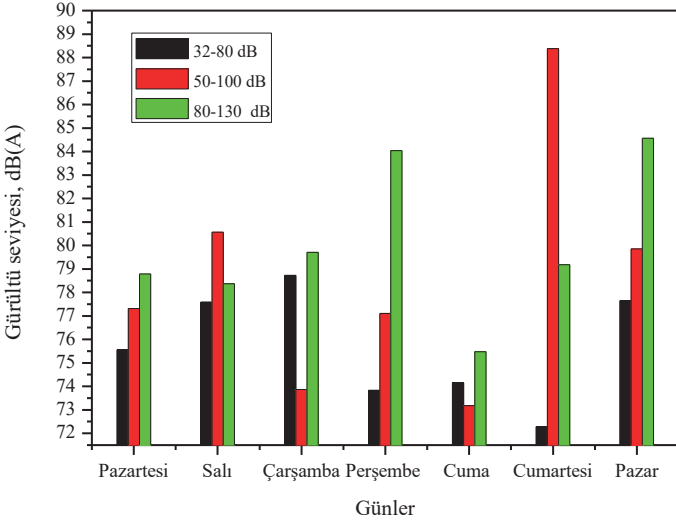
N=Noktalar

Tablo 3. Sekiz ölçüm noktasının günlere göre beş saatlik gürültü dozu maruziyeti (D)

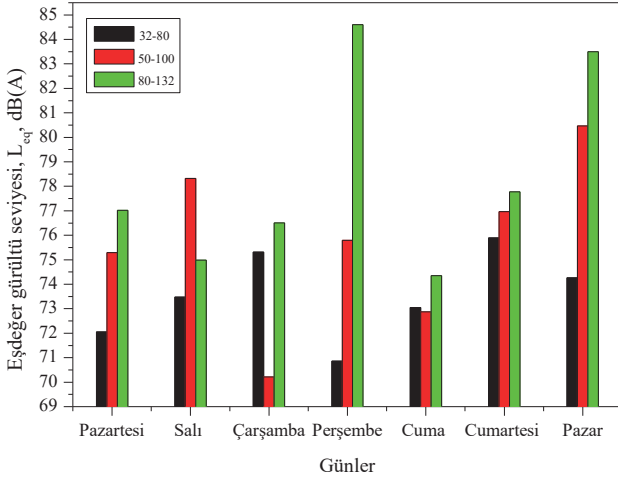
Frekans ağırlıklandırma aralıkları, dB(A)	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
32-80	0.46	0.69	1.34	0.52	0.64	1.02	0.64
	%46	%69	%134	%52	%64	%102	%64
50-100	0.85	0.91	0.37	0.94	1.02	1.38	6.06
	%85	%91	%37	%94	%102	%138	%606
80-130	1.05	0.79	1.30	3.37	0.74	0.88	2.29
	%105	%79	%130	%337	%74	%88	%229

Tablo 4. Günlük dozun 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama (TWA) değerleri

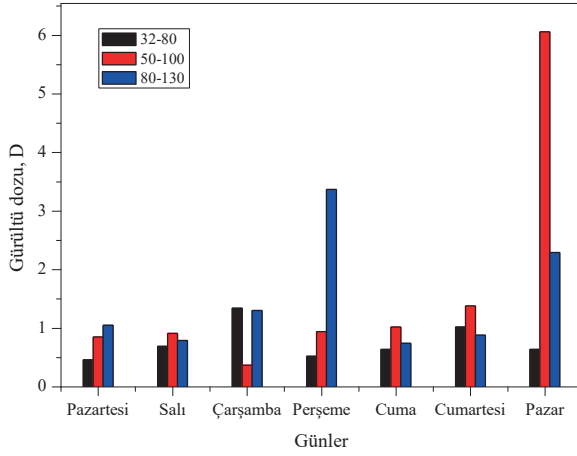
Frekans ağırlıklandırma aralıkları, dB(A)	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
32-80	61	63	66	62	63	65	63
50-100	64	65	61	65	65	66	73
80-130	65	64	66	70	64	64	69



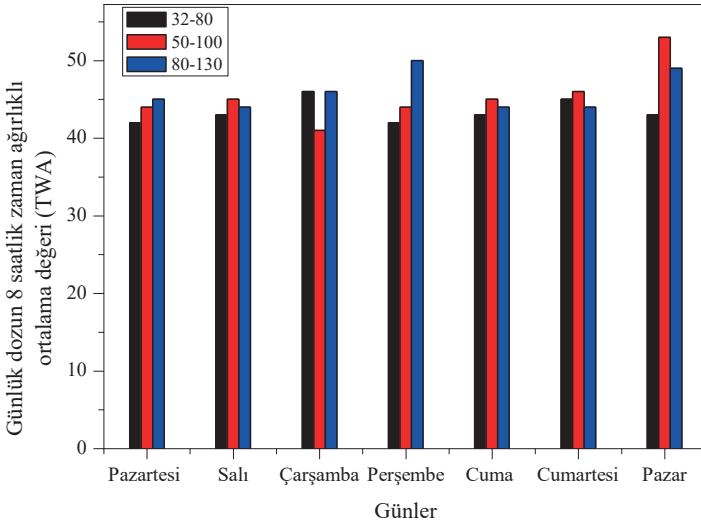
Şekil 3. Gürültü seviyelerinin günlere göre değişimi



Şekil 3. Eşdeğer gürültü seviyesinin günlere göre değişimi



Şekil 4. Sekiz ölçüm noktasının günlere göre beş saatlik gürültü doz maruziyetinin (D) günlere göre değişimi



Şekil 5. Günlük dozun 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama (TWA) değerlerinin günlere göre değişimi

## Kaynaklar

- Amran M., Fediuk R., Murali G., Vatin N., Al-Fakih A., Ye H., 2021. Sound-Absorbing Acoustic Concretes: A Review 2021, *Sustainability* 2021, September 27, 13(19), doi:10,3390/Sustainability, 2021,10712.
- Australian Government Department of Health and Aged Care, 2018. The health effects of environmental noise, Publications Number: 12214.
- Atmaca E., Peker İ., 1999. Sivas'ta Trafik Gürültüsü. *Ekoloji* 8, 30, 3-8.
- Aktürk N., Akdemir O., Üzkurt İ., 2003. Trafik Işık Sürelerinin Neden Olduğu Çevresel Taşıt Gürültüsü, *Gazi Ün..Müh.-Mim.Fak.Dergisi* 8(1), 71-87.
- Baclet S., Khoshkhhah K., Pourmoradnasseri M., Rumppler R., Hadachi A., 2023. Near-real-time dynamic noise mapping and exposure assessment using calibrated microscopic traffic simulations. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 124, 103922.
- Bayraktar Ö.M., Mutlu A., 2021. Balıkesir Üniversitesi Kampüsüne Ait Gürültü Seviyelerinin Cadnaa İle Modellenmesi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 26(3), 813-828.
- Belojevic G., Jakovljevic B., Stojanov V., Paunovic K., Ilic J., 2008. Urban road-traffic noise and blood pressure and heart rate in preschool children, *Environ Int* 34, 226-31, doi:16/j.envint.2007.08.003.
- Babisch W., 2005, Guest editorial: noise and health, *Environ Health Perspect* 113, A14-15.
- Chouksey A.K., Kumar B., Parida M., Pandey A.D., Verma G., 2024. Measurement and prediction of road traffic noise at different floor levels of buildings in a mid-sized Indian city, *Journal of Building Engineering* 92, 109711.
- DSÖ, 2018. Environmental noise guidelines for the European Region. WHO Regional Office for Europe, UN City, Marmorvej 51, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark.
- DSÖ, 1994. Assessing human health risks of chemicals. Derivation of guidance values for health based exposure limits. World Health Organization, Geneve.
- Ergün M., 2001. Turistik Bölgelerde Şehir içi Ulaşımından Kaynaklanan Gürültü Sorununa Yeni Bir Çözüm, *Geçirimli Yol Kaplamaları, Ulaşım Sempozyumu, İstanbul/Türkiye.*
- Field H.L., Long J.M., 2018. Sound and Noise In: Introduction to Agricultural Engineering Technology, Springer, Cham.

- Freitas E., Silva L., Vuye C., 2019. The influence of pavement degradation on population exposure to road traffic noise. *Coatings* 9 (5), 298.
- Helmer R., Berglund B., Lindvall T., Schwela D.H., 1999. Guidelines for community noise, Comnoise-1, World Health Organization, Geneva, (Guidelines for community noise) DSÖ- expert task force meeting held in London, United Kingdom, in April 1999/World Health Organization , Stockholm University and Karolinska Institute 1995.
- Hay B., 1995. A pilot study of classroom noise levels and teachers reactions, *Voice* 4, 127-134.
- İyınam S., Ergün M., İyınam A.F., 1998. Kentiçi Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Gürültünün Olumsuz Etkileri ve Çözüm Önerileri” *ASFALT* 98, 2.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Türkiye.
- NIOSH, 1998. Occupational Noise Exposure Revised Criteria, U,S, Department of Health and Human Services, Public Health Service Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Cincinnati, OH 45226, DHHS (NIOSH) Publication No, 98-126.
- Kaya R., 2022. Sesin Kullanım Alanları, Gürültünün Canlılar Üzerindeki Etkileri ve Batman İli Gürültü Haritalandırılması, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, p.54.
- Kahveci B., ve Yücel M., 2018. Sesin Kullanım Alanları, Gürültünün Canlılar Üzerindeki Etkileri ve Batman İli Gürültü Haritalandırılması, II. Uluslararası Multidisiplinler Çalışmaları Kongresi 4-5 Mayıs 2018, Adana, Türkiye.
- Karabiber Z., 1999. Gürültü denetiminde ulusal ve uluslararası politikalar, In: 3, Ulusal çevre mühendisliği kongresi bildirileri, 25-26 Kasım 1999, İzmir.
- Lan Z., He C., Cai M., 2020. Urban road traffic noise spatiotemporal distribution mapping using multisource data. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 82, 102323.
- Lan Z., Li F., Cai M., 2024. Road traffic noise exposure assessment based on spatiotemporal data fusion, *Transportation Research Part D* 127, 104044.
- Miedema H.M., Vos H., 1998, Exposure-response relationships for transportation noise, *J Acoust Soc Am* 104, 3432-3445.
- Muzet A., 2007. Environmental noise, sleep and health, *Sleep Med Rev* 11, 135-142. doi:16/j.smr.2006.09.001.

- MacKenzie D., 2000. Noise sources and levels in UK schools. Proc. International symposium on Noise Control and Acoustics for Educational Buildings, Proc Turkish Acoustical Society, Istanbul, May 2000, 97-106.
- Mumcu P., 2019. Çeşitli Frekanstaki Seslerin Canlılar Üzerinde Etkisi, Uzmanlık Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Nababan D.S., Utary C., Akbar M., 2022. Analysis of Noise Levels Due to Vehicle Traffic Sounds in the Environment Around Merauke City Arterial Roads Before and During the Pandemic, MATEC Web of Conferences 372, 05012.
- OECD, 1995. Climate Change, Economic Instruments and Income Distribution, OECD, Paris.
- Özyonar F., Peker İ., 2008. Sivas Kent Merkezindeki Çevresel Gürültü Kirliliğinin Araştırılması, Ekoloji 18, 69, 75-80.
- Özyonar F., Peker İ., 2008. Sivas Kent Merkezindeki Çevresel Gürültü Kirliliğinin Araştırılması, Ekoloji 18, 69, 75-80
- Polat S., Buluş-Kırıkkaya E., 2007. İlk ve Ortaöğretim Okullarındaki Ses Düzeyleri, İzalasyon Dergisi, 66, 78-82.
- Pascale A., Macedo E., Guarnaccia C., Coelho M.C., 2023. Smart mobility procedure for road traffic noise dynamic estimation by video analysis. Appl. Acoust. 208,109381.
- Parbat D.K., ve Nagarnaik B.P., 2007. Assessment and ANN modelling of noise levels at major road intersections in an Indian intermediate city, Journal of Research in Science, Computing and Engineering, 4(3), 39-49, doi:10.3860/jrsce.v4i3.632.
- Passchier-Vermeer W., Passchier W.F., 2000. Noise exposure and public health, Environ Health Perspect 108, 123-31.
- Polat H.H., Sümer H., Demirkol H., Özarslan E., Özer C., Sümer M., Tel A., Tüfekçioğlu E., 1994. Sivas'ta Trafik Gürültüsü, Ekoloji Çevre Dergisi 12, 8-12.
- Riedel N., Kockler H., Scheiner J., Kamp I., Erbel R., Loerbroks A., Claßen T., Bolte G., 2019. Urban road traffic noise and noise annoyance-a study on perceived noise control and its value among the elderly. Eur. J. Pub. Health 29 (2), 377-379
- Ryherd E.E., Wayne K.P. and Ljungkvist L., 2008. Characterizing noise and perceived work environment in a neurological intensive care unit," The Journal of the Acoustical Society of America 123(2), 747-756.



Roobahani M., Mohammadi P., Nassiri and Shalkouhi P., 2009. Risk assessment of workers exposed to noise pollution in a textile plant, *Int J Environ Sci Tech* 6, 591-596.

Shaaban K., Abouzaid A., 2021. Assessment of traffic noise near schools in a developing country, *Transport, Res, Procedia* 55, 1202-1207.

Shehi S., Bafi M., Karaboja I., Xhexhi K., 2022. Noise Pollution Analysis in External Masonries of Heavy Traffic Roads, Case Study Tirana, Albania, *International Journal of Modern Research in Engineering and Technology* 7(2), 13-19.

Shield B.M. and Dockrell J.E., 2003. The Effects Of Noise On Children At School: A Review, *J. Building Acoustics* 10(2), 97-106.

2002/49/EC/2008 Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Savaş S., 2019. İstanbul Kavacık Mevkiinde Tem Otoyolundan Kaynaklanan Gürültünün Haritalanması ve Gürültü Perdesi Modelinin Uygulanması, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, p 57.

Web1: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-title-iv-noise-pollution>

Web2: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-title-iv-noise-pollution>





## Bölüm 13

### **4-BOYUTLU ÖKLİD UZAYINDA BİRİNCİ TİP GENİŞLETİLMİŞ DARBOUX ÇATISI İLE İLİŞKİLİ BETCHOV-DA RİOS SOLİTON DENKLEMİ**

*Ahmet KAZAN<sup>1</sup>*

*Mustafa ALTIN<sup>2</sup>*

---

1 Doç.Dr., Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Doğanşehir Vahap Küçük Meslek Yüksekokulu, Malatya, Türkiye, ahmet.kazan@ozal.edu.tr, 0000-0002-1959-6102

2 Doç.Dr., Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bingöl, Türkiye  
maltin@bingol.edu.tr, 0000-0001-5544-5910

## 1. GİRİŞ

Soliton yüzeyler, diferansiyel geometri ve matematiksel fizik alanlarında önemli bir çalışma konusu olarak özellikle son yıllarda dikkat çekmektedir. Bu tür yüzeyler, doğrusal olmayan dalga denklemleriyle bağlantılı olup, özellikle akışkanlar mekaniği, optik ve manyetohidrodinamik gibi çeşitli fiziksel sistemlerin matematiksel modellerinde kendine yer bulmaktadır. Bunun yanında, soliton teorisinin klasik uygulamaları arasında yer alan Betchov-Da Rios denklemi, akışkanlar mekaniği ve vortisite dinamiği alanlarında önemli bir denklemdir. İlk olarak 1960'larda Betchov ve da Rios tarafından ortaya çıkarılan bu denklem, akışkanlardaki ince vortex filamentler için matematiksel bir model sağlar. Denklemin temel amacı, bir akışkan içindeki ince vortex yapılarının zaman içinde nasıl değiştiğini tanımlamaktır. Fiziksel olarak incelendiğinde vortisite kavramı, akışkanın içinde dönen bir hareketi temsil eder ve vortex filament, ince ve uzun bir tüp şeklindeki bir dönme hareketidir. Bu tür yapıların davranışını anlamak, özellikle türbülanslı akışkanlar ve süper akışkanlar gibi karmaşık akışkan sistemlerinde oldukça önemlidir. Betchov-Da Rios denklemi, bu vortisite yapılarının geometrik özelliklerini ve bu yapılar üzerinde etkili olan kuvvetlerin (örneğin gerilim, basınç, vb) zamanla nasıl değiştiğini betimler. Bu denklem, özellikle ince vortex filament boyunca eğrilik ve torsiyon gibi geometrik büyüklüklerin değişimini modellemek için kullanılır. Betchov-Da Rios denklemi

$$\mathcal{M}_t(s, t) = \mathcal{M}_s(s, t) \times \mathcal{M}_{ss}(s, t) \quad (1)$$

şeklinde ve bu denklemde;

- $\mathcal{M}(s, t)$  eğriyi tanımlayan vektördür ve  $s$  eğrinin parametresi,  $t$  ise zaman değişkenidir,
- $\mathcal{M}_s(s, t)$  eğrinin birinci türevini, yani tanjant vektörünü ifade eder,
- $\mathcal{M}_{ss}(s, t)$  ise eğrinin ikinci türevini, yani eğrilik vektörünü ifade eder,
- $\times$  ifadesi ise  $\vec{u} = (u_1, u_2, u_3)$  ve  $\vec{v} = (v_1, v_2, v_3)$  vektörlerinin

$$\vec{u} \times \vec{v} = \det \begin{bmatrix} e_1 & e_2 & e_3 \\ u_1 & u_2 & u_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

şeklinde tanımlı vektörel çarpım operatörüdür.

Bu denklemin fiziksel anlamda, ince vortex filament kıvrımlarındaki değişimlerin, hem eğrilik hem de torsiyon gibi geometrik özellikler üzerinden zamanla nasıl geliştiğini anlatır. Denklemin sol tarafı tüpün zamanla değişimini, sağ tarafı ise eğrilik ve torsiyonun bir kombinasyonu olarak vortisitinin değişimini ifade eder.

3-buyutlu Öklid uzayının bir genelleştirilmesi olarak düşünülebilen 4-boyutlu Öklid uzayı  $E^4$  te ise Betchov Da-Rios denklemi

$$\mathcal{M}_t = \mathcal{M}_s \times \mathcal{M}_{ss} \times \mathcal{M}_{sss} \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır.

Burada  $\vec{u} = (u_1, u_2, u_3, u_4)$ ,  $\vec{v} = (v_1, v_2, v_3, v_4)$  ve  $\vec{w} = (w_1, w_2, w_3, w_4)$  şeklindeki üç vektörün vektörel çarpımı

$$\vec{u} \times \vec{v} \times \vec{w} = \det \begin{bmatrix} e_1 & e_2 & e_3 & e_4 \\ u_1 & u_2 & u_3 & u_4 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \\ w_1 & w_2 & w_3 & w_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Burada  $\mathcal{M}$ , eğrinin yer vektörünü temsil eder ve alt indisler eğrinin  $s$  ve  $t$  parametrelerine götürevlerini göstermektedir.

Betchov-Da Rios denklemi ile ilgili çeşitli çalışmalar için, Aminov, 2001; Barros vd., 2007; Betchov, 1965; Da Rios, 1906; Ganchev & Milousheva, 2008; Grbovic & Nesovic, 2016; Hasimoto, 1972; Hasimoto, 1971; Li vd., 2023; Moffatt & Ricca, 1991; Ricca, 1992; Wintgen, 1979 vb. çalışmaları incelenebilir.

Ayrıca,  $E^4$  te birim normal vektör alanı  $\mathbf{N}$  ile yönlendirilmiş, yönlendirilebilir bir hiperyüzey  $\mathcal{M}$  ve  $\beta$  da  $\mathcal{M}$  üzerinde yer alan,  $C^n$  sınıfından ( $n \geq 4$ ) bir Frenet eğrisi olsun. (Bu eğri, yay uzunluğu parametresi  $s$  ile tanımlanmıştır.) Bu taktirde eğrinin birim tanjant vektör alanı  $T$  ile hiperyüzeyin eğri üzerindeki birim normal vektör alanı  $N$

$$T = \beta' \text{ ve } N(s) = \mathbf{N}(\beta(s)) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilirler.  $\beta$  Frenet eğrisi boyunca birinci tip genişletilmiş Darboux çatı alanını aşağıdaki şekilde inşa edebiliriz:

Eğer  $\{N, T, \beta''\}$  kümesi lineer bağımsızsa, Gram-Schmidt ortonormalleştirme yöntemi kullanılarak  $\{N, T, E\}$  ortonormal kümesi elde edilir. Burada

$$E = \frac{\beta'' - \langle \beta'', N \rangle N}{\|\beta'' - \langle \beta'', N \rangle N\|} \quad (6)$$

ifadesiyle tanımlanır.

Bu durumda,  $D = N \times T \times E$  olarak tanımlarsak,  $\beta$  nın her noktasında birbirine dik olan  $T, E, D$  ve  $N$  şeklinde dört birim vektör alanı elde ederiz. Böylece,  $\beta$  eğrisi boyunca Frenet çatı alanı yerine yeni bir ortonormal çatı alanı  $\{T, E, D, N\}$  çatısını oluşturmuş oluruz. Burada  $E(s)$  ve  $D(s)$  nin her  $s$  için  $\mathcal{M}$  hiperyüzeyine de teğet olduğu açıktır. Bu nedenle,  $\{T(s), E(s), D(s)\}$  kümesi,  $\beta(s)$  noktasındaki hiperyüzeyin teğet hiperdüzlemini gerer. Bu yeni çatı alanına "birinci tip genişletilmiş Darboux çatı alanı" ya da kısaca "birinci tip  $ED$ -çatı alanı" denmektedir ve bu çatı alanlarının türev denklemleri ise

$$\begin{bmatrix} T' \\ E' \\ D' \\ N' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \kappa_g^1 & 0 & \kappa_n \\ -\kappa_g^1 & 0 & \kappa_g^2 & \tau_g^1 \\ 0 & -\kappa_g^2 & 0 & \tau_g^2 \\ -\kappa_n & -\tau_g^1 & \tau_g^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ E \\ D \\ N \end{bmatrix} \quad (7)$$

şeklinde verilebilir (Altın & Kazan, 2022; Aslan & Ünlütürk, 2020; Barros vd., 1999; Düldül, 2018; Düldül, 2019; Düldül & Düldül, 2019; Düldül vd., 2017; Erdoğan vd., 2023; Kazan, 2022; Little, 1969).

Bu çalışmada, dört boyutlu Öklid uzayı  $E^4$  te, Betchov-Da Rios denklemi ile ilişkili soliton yüzeylerinin  $s$ -parametre eğrisi için birinci tip genişletilmiş Darboux çatı alanının türev formülleri elde edilecektir. Ayrıca, bu türev denklemleri yardımıyla bazı sonuçlar da verilecektir.

## 2. $E^4$ TE BİRİNCİ TİP GENİŞLETİLMİŞ DARBOUX ÇATISINA GÖRE BETCHOV-DA RIOS SOLİTON DENKLEMİ

**TEOREM:**  $\mathcal{M} = \mathcal{M}(s, t)$   $s$ -parametre eğrisi her  $t$  için birim hızlı olsun. Eğer  $\mathcal{M} = \mathcal{M}(s, t)$   $E^4$  te birinci tip genişletilmiş Darboux çatısına göre Betchov-Da Rios denkleminin bir çözümü ise, bu taktirde birinci tip genişletilmiş Darboux çatısının türev denklemleri

$$\frac{\partial}{\partial s} \begin{bmatrix} T \\ E \\ D \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \kappa_g^1 & 0 & \kappa_n \\ -\kappa_g^1 & 0 & \kappa_g^2 & \tau_g^1 \\ 0 & -\kappa_g^2 & 0 & \tau_g^2 \\ -\kappa_n & -\tau_g^1 & \tau_g^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ E \\ D \\ N \end{bmatrix} \quad (8)$$

ve

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} T \\ E \\ D \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ -a_{12} & 0 & a_{23} & a_{24} \\ -a_{13} & -a_{23} & 0 & a_{34} \\ -a_{14} & -a_{24} & -a_{34} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ E \\ D \\ N \end{bmatrix} \quad (9)$$

dir.

Burada  $\kappa_n(s, t) = \kappa_n$ ,  $\frac{\partial \kappa_n(s, t)}{\partial s} = \dot{\kappa}_n$ ,  $\frac{\partial^2 \kappa_n(s, t)}{\partial s^2} = \ddot{\kappa}_n$ ,  $\frac{\partial^3 \kappa_n(s, t)}{\partial s^3} = \ddot{\kappa}_n$ ,  $\frac{\partial \kappa_n(s, t)}{\partial t} = \kappa_n$ ,  $\frac{\partial^2 \kappa_n(s, t)}{\partial s \partial t} = \overline{\kappa}_n$  ve diğer fonksiyonlar için de benzer notasyonlar kullanılmak üzere,

$$a_{12} = -\kappa_n(\kappa_g^2(\tau_g^1 \kappa_n - 2\kappa_g^1) + \kappa_g^1(\tau_g^1 \tau_g^2 - \kappa_g^2) + \kappa_n \tau_g^2 + 2\tau_g^2 \kappa_n), \quad (10)$$

$$a_{13} = \kappa_g^1(\kappa_g^2 \tau_g^2 + \tau_g^1) - \kappa_n(\kappa_n(\kappa_g^2 \tau_g^2 - \tau_g^1) - 2\tau_g^1 \dot{\kappa}_n + \ddot{\kappa}_n) + \kappa_g^1((\kappa_g^2 - \tau_g^2) \kappa_n + 2\tau_g^1 \dot{\kappa}_n + \ddot{\kappa}_n), \quad (11)$$

$$a_{14} = \kappa_g^1(\kappa_g^2(\tau_g^1 \kappa_n - 2\kappa_g^1) + \kappa_g^1(\tau_g^1 \tau_g^2 - \kappa_g^2) + \kappa_n \tau_g^2 + 2\tau_g^2 \kappa_n), \quad (12)$$

$$a_{23} = -\frac{1}{\kappa_n(-\kappa_g^1 \kappa_g^2 + \tau_g^2 \kappa_n)} (-\kappa_n^2 \tau_g^1 + \kappa_g^3 \kappa_n^2 (-\tau_g^1 \kappa_n + 4\dot{\kappa}_n) + \kappa_g^3 \kappa_n^2 (\tau_g^1 \tau_g^2 - \kappa_g^2) + 2\tau_g^2 \kappa_n^2 \dot{\kappa}_n \tau_g^1 + 3\kappa_n^3 \dot{\kappa}_n^2 \tau_g^1 + \kappa_n^5 \tau_g^2 + 3\tau_g^1 \kappa_n^2 \dot{\kappa}_n \tau_g^2 + 2\tau_g^2 \kappa_n^4 \dot{\kappa}_n - \kappa_g^1 \dot{\kappa}_n + 3\tau_g^1 \tau_g^2 \kappa_n \dot{\kappa}_n + 5\tau_g^1 \kappa_n^2 \dot{\kappa}_n^2 - 3\kappa_n \dot{\kappa}_n \tau_g^2 \dot{\kappa}_n + 2\kappa_n \tau_g^2 \dot{\kappa}_n^2 - 2\tau_g^2 \kappa_n^3 - \kappa_g^2 \kappa_n^2 (3\kappa_n \tau_g^2 + 5\tau_g^2 \dot{\kappa}_n) + \kappa_n \overline{\kappa}_n + \tau_g^1 \tau_g^2 \kappa_n^2 \dot{\kappa}_n - 6\kappa_n^2 \dot{\kappa}_n^2 +$$

$$\begin{aligned}
& \tau_g^1 \kappa_n^3 \ddot{\kappa}_g^2 - 4\kappa_n^2 \dot{\kappa}_g^1 \ddot{\kappa}_g^2 - \kappa_g^2 (\kappa_g^{2^2} (-2\kappa_n \dot{\tau}_g^2 + \tau_g^2 \dot{\kappa}_n) + \\
& \tau_g^{1^2} (-\kappa_n \dot{\tau}_g^2 + \tau_g^2 \dot{\kappa}_n) - \kappa_n^2 (\kappa_n \dot{\tau}_g^2 + 2\tau_g^2 \dot{\kappa}_n) + \tau_g^1 (-\dot{\kappa}_g^2 \dot{\kappa}_n + \\
& \kappa_n (-2\tau_g^2 \dot{\tau}_g^1 + \dot{\kappa}_g^2)) + \kappa_g^2 (\tau_g^1 \dot{\kappa}_n + \kappa_n (\tau_g^1 (\tau_g^{2^2} - \kappa_n^2) + \\
& 2\kappa_n \dot{\kappa}_g^1 - 4\tau_g^2 \dot{\kappa}_g^2 - 2\dot{\tau}_g^1))) + 5\kappa_n^2 \dot{\kappa}_n \dot{\tau}_g^2 + 6\kappa_n^2 \tau_g^2 \dot{\kappa}_n + \\
& 4\tau_g^2 \kappa_n \dot{\kappa}_n \dot{\kappa}_n + \kappa_g^2 (\tau_g^{1^2} \kappa_n^2 \dot{\kappa}_g^1 - 2\tau_g^{2^2} \kappa_n^2 \dot{\kappa}_g^1 - 2\kappa_n^4 \dot{\kappa}_g^1 - \\
& 3\tau_g^2 \kappa_n^3 \dot{\kappa}_g^2 + 10\kappa_n^2 \tau_g^1 \dot{\kappa}_n + 2\dot{\kappa}_g^1 \kappa_n^2 - 3\kappa_n \dot{\kappa}_n \dot{\kappa}_g^1 + 3\kappa_n^3 \dot{\tau}_g^1 + \\
& \tau_g^1 \kappa_n (\kappa_n^4 + 2(\dot{\kappa}_g^2 + \dot{\kappa}_n^2) + 6\kappa_n \dot{\kappa}_n) - 4\kappa_n^2 \ddot{\kappa}_g^1) + \kappa_n^3 \ddot{\tau}_g^2 + \\
& 2\tau_g^2 \kappa_n^2 \ddot{\kappa}_n + \kappa_g^1 (-\tau_g^{2^2} \kappa_n^2 \dot{\kappa}_g^2 - \kappa_n^4 \dot{\kappa}_g^2 + \tau_g^{1^2} \kappa_n (2\tau_g^2 \dot{\kappa}_g^1 + \kappa_n \dot{\kappa}_g^2) + \\
& 2\kappa_g^{2^2} \kappa_n (\tau_g^2 (-\tau_g^1 \kappa_n + 3\dot{\kappa}_g^1) + 3\kappa_n \dot{\kappa}_g^2) + 3\kappa_n^2 \tau_g^1 \tau_g^2 + \\
& \kappa_g^{2^3} \kappa_n \dot{\kappa}_n + 3\tau_g^2 \kappa_n \tau_g^1 \dot{\kappa}_n + \dot{\kappa}_g^2 \kappa_n^2 - \kappa_n \dot{\kappa}_n \dot{\kappa}_g^2 + \text{gt}_2 \kappa_n^2 \tau_g^1 + \\
& \tau_g^1 (\kappa_n (-2\dot{\kappa}_g^1 \dot{\kappa}_g^2 + 3\tau_g^2 \dot{\kappa}_n + 2\kappa_n \dot{\tau}_g^2) + \tau_g^2 (\kappa_n^4 - 3\kappa_n^2 + \\
& 3\kappa_n \dot{\kappa}_n)) - \kappa_n^2 \ddot{\kappa}_g^2 + \kappa_g^2 (-5\tau_g^2 \kappa_n^2 \tau_g^2 + 2\tau_g^1 \kappa_n (\kappa_n \tau_g^1 + \dot{\kappa}_g^1) - \dot{\kappa}_n \dot{\kappa}_n + \\
& \kappa_n (6\dot{\kappa}_g^1 \tau_g^1 - 3\tau_g^{2^2} \dot{\kappa}_n + 2\ddot{\kappa}_n) ), \tag{13}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{24} = & \frac{1}{\kappa_n} (-\kappa_g^{2^2} \tau_g^2 \kappa_n^2 + \dot{\kappa}_g^1 + \tau_g^1 \tau_g^2 \kappa_n \dot{\kappa}_g^1 + \tau_g^1 \kappa_n^2 \dot{\kappa}_g^2 - 3\kappa_n \dot{\kappa}_g^1 \dot{\kappa}_g^2 + \\
& \kappa_g^{1^2} (\kappa_g^{2^2} \tau_g^2 + \tau_g^1 (\tau_g^1 \tau_g^2 - \dot{\kappa}_g^2) + \kappa_g^2 \tau_g^1) + 4\kappa_n \tau_g^2 \dot{\kappa}_n + 2\tau_g^2 \kappa_n^2 + \\
& \kappa_g^2 (2\kappa_n^2 \tau_g^1 - 2\dot{\kappa}_g^1 \dot{\kappa}_n + \kappa_n (4\tau_g^1 \dot{\kappa}_n - 3\dot{\kappa}_g^1)) + \kappa_n^2 \tau_g^2 + \\
& 2\tau_g^2 \kappa_n \dot{\kappa}_n + \kappa_g^1 (\kappa_g^{2^3} \kappa_n - \dot{\kappa}_g^2 \dot{\kappa}_n + \tau_g^2 (\kappa_n \tau_g^1 + 3\tau_g^1 \dot{\kappa}_n) + \\
& \kappa_n (2\tau_g^1 \tau_g^2 - \dot{\kappa}_g^2) + \kappa_g^2 ((\tau_g^{1^2} - \tau_g^{2^2}) \kappa_n + \dot{\kappa}_n) ) \tag{14}
\end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned}
a_{34} = & \left( \frac{1}{\kappa_n^2 (-\kappa_g^1 \kappa_g^2 + \tau_g^2 \kappa_n)} \right) (\kappa_g^{1^4} \kappa_n^2 (-\tau_g^1 \tau_g^2 + \dot{\kappa}_g^2) - \kappa_g^{1^3} (\kappa_g^{2^2} (\kappa_n \tau_g^2 - \\
& \tau_g^2 \dot{\kappa}_n) + \tau_g^{1^2} (\kappa_n \tau_g^2 - \tau_g^2 \dot{\kappa}_n) + \kappa_n^2 (\kappa_n \tau_g^2 + 2\tau_g^2 \dot{\kappa}_n) + \\
& \tau_g^1 (\dot{\kappa}_g^2 \dot{\kappa}_n + \kappa_n (2\tau_g^2 \tau_g^1 - \dot{\kappa}_g^2)) + \kappa_g^2 (\tau_g^1 \kappa_n^3 - \tau_g^1 \dot{\kappa}_n + \\
& \kappa_n (-2\kappa_n \dot{\kappa}_g^1 + 2\tau_g^2 \dot{\kappa}_g^2 + \dot{\tau}_g^1))) + \tau_g^2 \kappa_n^2 (\kappa_g^{2^2} \kappa_n (\tau_g^1 \kappa_n - 3\dot{\kappa}_g^1) + \\
& \tau_g^{2^2} \kappa_n \dot{\kappa}_g^1 - 2\tau_g^1 \dot{\kappa}_g^1 + \text{gt}_2 \kappa_n^2 \dot{\kappa}_g^2 - 2\tau_g^1 \dot{\kappa}_n^2 + 2\kappa_g^2 \kappa_n (\kappa_n \tau_g^2 + \\
& 2\tau_g^2 \dot{\kappa}_n) + \dot{\kappa}_n \dot{\kappa}_g^1 - \kappa_n (4\tau_g^1 \dot{\kappa}_n + \kappa_n \dot{\tau}_g^1) - 2\tau_g^1 \kappa_n \dot{\kappa}_n - \dot{\kappa}_g^1 \dot{\kappa}_n + \\
& \kappa_n \ddot{\kappa}_g^1) - \kappa_g^{1^2} (\tau_g^{2^2} \kappa_n^2 \dot{\kappa}_g^2 - \kappa_n^4 \dot{\kappa}_g^2 + \tau_g^{1^2} \kappa_n (2\tau_g^2 \dot{\kappa}_g^1 + \kappa_n \dot{\kappa}_g^2) + \\
& \kappa_g^{2^2} \kappa_n (2\tau_g^2 \dot{\kappa}_g^1 + 3\kappa_n \dot{\kappa}_g^2) + 3\kappa_n^2 \tau_g^1 \tau_g^2 + 3\tau_g^2 \kappa_n \tau_g^1 \dot{\kappa}_n + \dot{\kappa}_g^2 \kappa_n^2 - \\
& \kappa_n \dot{\kappa}_n \dot{\kappa}_g^2 + 2\tau_g^2 \kappa_n^2 \tau_g^1 + \tau_g^1 (-\tau_g^{2^3} \kappa_n^2 + \kappa_n (-2\dot{\kappa}_g^1 \dot{\kappa}_g^2 + 3\tau_g^2 \dot{\kappa}_n +
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& 2\kappa_n(\kappa_g^2\tau_g^1 + \tau_g^2)) + \tau_g^2(\kappa_n^4 - 3\kappa_n^2 + 3\kappa_n\dot{\kappa}_n)) - \kappa_n^2\ddot{\kappa}_g^2 + \\
& \kappa_g^2(-\kappa_n\dot{\kappa}_n + \kappa_n(2\kappa_g^1\tau_g^1 - \tau_g^2\kappa_n\tau_g^2 + \ddot{\kappa}_n)) - \kappa_g^1(\kappa_g^2\kappa_n^2\dot{\kappa}_g^1 - \\
& \kappa_g^2\kappa_n^3\tau_g^2 + \kappa_n^5\tau_g^2 + 2\tau_g^2\kappa_n^4\dot{\kappa}_n - \dot{\kappa}_n(\kappa_g^1 + 2\tau_g^2\kappa_n^2) + \kappa_n(\overline{\kappa}_g^1 + \\
& \kappa_n(3\kappa_g^1(\tau_g^1\tau_g^2 - \dot{\kappa}_g^2) + 2\tau_g^2\dot{\kappa}_n + 4\tau_g^2\dot{\kappa}_n)) + \kappa_g^2(\tau_g^1\kappa_n^2\dot{\kappa}_g^1 + \\
& 3\tau_g^2\kappa_n^2\dot{\kappa}_g^1 - 2\kappa_n^4\dot{\kappa}_g^1 + \tau_g^2\kappa_n^3\dot{\kappa}_g^2 + 6\kappa_n^2\tau_g^1\dot{\kappa}_n + 2\kappa_g^1\kappa_n^2 - \\
& 2\kappa_n\dot{\kappa}_n\dot{\kappa}_g^1 + 2\kappa_n^3\tau_g^1 - \kappa_n\dot{\kappa}_g^1\dot{\kappa}_n + \tau_g^1\kappa_n^2(-2\tau_g^2\kappa_n + \kappa_n^3 + \\
& 4\dot{\kappa}_n) - 3\kappa_n^2\ddot{\kappa}_g^1) + \kappa_n^3(3\kappa_g^2\tau_g^1 - 3\tau_g^2\tau_g^2 + \tau_g^1\dot{\kappa}_g^2 + \tau_g^2) + \\
& \kappa_n^2(-\tau_g^1 - 3\tau_g^3\dot{\kappa}_n + \tau_g^1(3\kappa_g^1\tau_g^2 + 5\dot{\kappa}_g^2\kappa_n) - 6\dot{\kappa}_g^2\dot{\kappa}_g^1 - 4\kappa_g^1\dot{\kappa}_g^2 + \\
& 5\dot{\kappa}_n\tau_g^2 + 6\tau_g^2\dot{\kappa}_n + 3\tau_g^2(2\kappa_g^1\tau_g^1 + \tau_g^1\dot{\kappa}_g^1 + \ddot{\kappa}_n)) \quad (15)
\end{aligned}$$

dir.

**İSPAT:** Eğer  $\mathcal{M} = \mathcal{M}(s, t)$ , her  $t$  için  $s$ -parametre eğrisi  $\mathcal{M} = \mathcal{M}(s, t)$  birim hızlı bir eğri olmak üzere, Betchov-Da Rios denkleminin bir çözümü ise, bu taktirde (7) numaralı eşitlikten birinci tip genişletilmiş Darboux çatısının  $s$  ye göre türev denklemleri

$$\begin{aligned}
T_s(s, t) &= \kappa_g^1(s, t)E(s, t) + \kappa_n(s, t)N(s, t) \\
E_s(s, t) &= -\kappa_g^1(s, t)T(s, t) + \kappa_g^2(s, t)D(s, t) + \tau_g^1(s, t)N(s, t) \quad (16) \\
D_s(s, t) &= -\kappa_g^2(s, t)E(s, t) + \tau_g^2(s, t)N(s, t) \\
N_s(s, t) &= -\kappa_n(s, t)T(s, t) - \tau_g^1(s, t)E(s, t) + \tau_g^2(s, t)D(s, t)
\end{aligned}$$

şeklinde olup, buradan (8) ifadesi açıktır.

Şimdi birinci tip genişletilmiş Darboux çatısının  $t$  ye göre türev denklemlerini elde edelim. Bunun için

$$\begin{aligned}
T_t(s, t) &= a_{11}T(s, t) + a_{12}E(s, t) + a_{13}D(s, t) + a_{14}N(s, t) \\
E_t(s, t) &= a_{21}T(s, t) + a_{22}E(s, t) + a_{23}D(s, t) + a_{24}N(s, t) \\
D_t(s, t) &= a_{31}T(s, t) + a_{32}E(s, t) + a_{33}D(s, t) + a_{34}N(s, t) \\
N_t(s, t) &= a_{41}T(s, t) + a_{42}E(s, t) + a_{43}D(s, t) + a_{44}N(s, t)
\end{aligned}$$

denklemlerindeki  $a_{ij}$ ,  $i, j \in \{1,2,3,4\}$ , diferensiyellenebilir fonksiyonlarını bulmalıyız.

$$\langle T, T \rangle = \langle E, E \rangle = \langle D, D \rangle = \langle N, N \rangle = 1$$

ve

$$\langle T, E \rangle = \langle T, D \rangle = \langle T, N \rangle = \langle E, D \rangle = \langle E, N \rangle = \langle D, N \rangle = 0$$

ifadelerinden  $a_{ii}(s, t) = 0$  ve  $a_{ij}(s, t) = -a_{ji}(s, t)$  ( $i \neq j$ ) olur ve dolayısıyla

$$\begin{aligned} T_t(s, t) &= a_{12}E(s, t) + a_{13}D(s, t) + a_{14}N(s, t) \\ E_t(s, t) &= -a_{12}T(s, t) + a_{23}D(s, t) + a_{24}N(s, t) \\ D_t(s, t) &= -a_{13}T(s, t) - a_{23}E(s, t) + a_{34}N(s, t) \\ N_t(s, t) &= -a_{14}T(s, t) - a_{24}E(s, t) - a_{34}D(s, t) \end{aligned} \quad (17)$$

yazabiliriz. Burada belirtmeliyiz ki bundan sonra kısalık olması için  $(s, t)$  ifadelerini  $a_{ij}(s, t)$ ,  $T(s, t)$  ve diğer ifadelerde yazmayacağız. Ayrıca  $\frac{\partial f}{\partial s}$  ifadesi yerine  $f_s$  ve benzer şekilde  $\frac{\partial^2 f}{\partial s \partial t}$  yerine  $f_{st}$  vb kısaltmalar kullanacağız.

Şimdi (17) ifadesindeki  $a_{12}$ ,  $a_{13}$ ,  $a_{14}$ ,  $a_{23}$ ,  $a_{24}$  ve  $a_{34}$  fonksiyonlarını bulalım.

$$\mathcal{M}_s = T \quad (18)$$

olup (16)'dan da

$$\mathcal{M}_{ss} = \kappa_g^1 E + \kappa_n N \quad (19)$$

ve

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_{sss} &= \left(-\kappa_g^{1^2} - \kappa_n^2\right)T + \left(-\tau_g^1 \kappa_n + \kappa_g^1\right)E + \left(\kappa_g^1 \kappa_g^2 - \tau_g^2 \kappa_n\right)D + \\ &\left(\kappa_g^1 \tau_g^1 + \kappa_n\right)N \end{aligned} \quad (20)$$

bulunur.

(18)-(20) ve (3) numaralı Betchov-Da Rios denkleminde

$$\mathcal{M}_t = \left(\kappa_n(\kappa_g^1 \kappa_g^2 - \tau_g^2 \kappa_n)\right)E + \left(\kappa_g^{1^2} \tau_g^1 + \kappa_n(\tau_g^1 \kappa_n - \kappa_g^1) + \kappa_g^1 \kappa_n\right)D$$

$$+ \left( \kappa_g^1 (-\kappa_g^1 \kappa_g^2 + \tau_g^2 \kappa_n) \right) N \quad (21)$$

elde edilir. Diğer taraftan (17) ve (18) den

$$\mathcal{M}_{st} = a_{12}E + a_{13}D + a_{14}N \quad (22)$$

ve (16) ve (21) den

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_{ts} = & \left( -\kappa_n \left( \kappa_g^2 \left( \tau_g^1 \kappa_n - 2\dot{\kappa}_g^1 \right) + \kappa_g^1 \left( \tau_g^1 \tau_g^2 - \dot{\kappa}_g^2 \right) + \kappa_n \tau_g^2 + \right. \right. \\ & \left. \left. 2\tau_g^2 \dot{\kappa}_n \right) \right) E + \left( \kappa_g^1 \left( \kappa_g^2 \tau_g^2 + \tau_g^1 \dot{\kappa}_n \right) - \kappa_n \left( \kappa_n \left( \kappa_g^2 \tau_g^2 - \tau_g^1 \dot{\kappa}_n \right) - 2\tau_g^1 \dot{\kappa}_n + \right. \right. \\ & \left. \left. \kappa_g^1 \ddot{\kappa}_n \right) + \kappa_g^1 \left( \left( \kappa_g^2 - \tau_g^2 \right) \kappa_n + 2\tau_g^1 \dot{\kappa}_n + \dot{\kappa}_n \right) \right) D + \left( \kappa_g^1 \left( \kappa_g^2 \left( \tau_g^1 \kappa_n - 2\dot{\kappa}_g^1 \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. \kappa_g^1 \left( \tau_g^1 \tau_g^2 - \dot{\kappa}_g^2 \right) + \kappa_n \tau_g^2 + 2\tau_g^2 \dot{\kappa}_n \right) \right) N \end{aligned} \quad (23)$$

olur. 2. mertebeden diferensiyellenebilir bir  $f$  fonksiyonu için  $f_{st} = f_{ts}$  olduğunu biliyoruz. Bu nedenle  $\mathcal{M}_{st} = \mathcal{M}_{ts}$  ifadesi (22) ve (23) denklemlerinde kullanılırsa (10), (11) ve (12) eşitliklerine ulaşılmış olur.

Şimdi de  $T_{st} = T_{ts}$  ve  $E_{st} = E_{ts}$  için ifadeler elde edelim.

$T_{st} = T_{ts}$  eşitliği ile birlikte

$$\begin{aligned} T_{st} = & \left( -a_{12}\kappa_g^1 - a_{14}\kappa_n \right) T + \left( -a_{24}\kappa_n + \dot{\kappa}_g^1 \right) E + \left( a_{23}\kappa_g^1 - a_{34}\kappa_n \right) D + \\ & \left( a_{24}\kappa_g^1 + \dot{\kappa}_n \right) N \end{aligned} \quad (24)$$

ve

$$\begin{aligned} T_{ts} = & \left( -a_{12}\kappa_g^1 - a_{14}\kappa_n \right) T + \left( -a_{13}\kappa_g^2 - a_{14}\tau_g^1 + a_{i2} \right) E + \\ & \left( a_{12}\kappa_g^2 - a_{14}\tau_g^2 + a_{i3} \right) D + \left( a_{12}\tau_g^1 + a_{13}\tau_g^2 + a_{i4} \right) N \end{aligned} \quad (25)$$

ifadeleri kullanılırsa

$$-a_{24}\kappa_n + \dot{\kappa}_g^1 = -a_{13}\kappa_g^2 - a_{14}\tau_g^1 + a_{i2} \quad (26)$$

$$a_{23}\kappa_g^1 - a_{34}\kappa_n = a_{12}\kappa_g^2 - a_{14}\tau_g^2 + a_{i3} \quad (27)$$

$$a_{24}\kappa_g^1 + \dot{\kappa}_n = a_{12}\tau_g^1 + a_{13}\tau_g^2 + a_{i4} \quad (28)$$

bulunur. (26) numaralı eşitlikte (10), (11) ve (12) kullanılırsa  $a_{24}$  fonksiyonu (14) şeklinde elde edilir.

$E_{st} = E_{ts}$  ifadesi,

$$E_{st} = \left(-a_{13}\kappa_g^2 - a_{14}\tau_g^1 - \dot{\kappa}_g^1\right)T + \left(-a_{12}\kappa_g^1 - a_{23}\kappa_g^2 - a_{24}\tau_g^1\right)E + \\ \left(-a_{13}\kappa_g^1 - a_{34}\tau_g^1 + \dot{\kappa}_g^2\right)D + \left(-a_{14}\kappa_g^1 + a_{34}\kappa_g^2 + \tau_g^1\right)N \quad (29)$$

ve

$$E_{ts} = \left(-a_{24}\kappa_n - a_{12}\right)T + \left(-a_{12}\kappa_g^1 - a_{23}\kappa_g^2 - a_{24}\tau_g^1\right)E + \\ \left(-a_{24}\tau_g^2 + \dot{a}_{23}\right)D + \left(a_{23}\tau_g^2 - a_{12}\kappa_n + \dot{a}_{24}\right)N \quad (30)$$

eşitlikleri kullanılırsa da

$$-a_{13}\kappa_g^2 - a_{14}\tau_g^1 - \dot{\kappa}_g^1 = -a_{24}\kappa_n - \dot{a}_{12} \quad (31)$$

$$-a_{13}\kappa_g^1 - a_{34}\tau_g^1 + \dot{\kappa}_g^2 = -a_{24}\tau_g^2 + \dot{a}_{23} \quad (32)$$

$$-a_{14}\kappa_g^1 + a_{34}\kappa_g^2 + \tau_g^1 = a_{23}\tau_g^2 - a_{12}\kappa_n + \dot{a}_{24} \quad (33)$$

bulunur. (31) numaralı eşitlik (26) ile aynıdır. (33) ile (27) birlikte düşünülerek (10), (11), (12) ve (14) kullanılırsa  $a_{23}$  ve  $a_{34}$  fonksiyonları (13) ve (15) şeklinde elde edilir. ■

**TEOREM:** Eğer  $\mathcal{M} = \mathcal{M}(s, t)$   $s$ -parametre eğrisi her  $t$  için birim hızlı ve  $\mathcal{M} = \mathcal{M}(s, t)$ ,  $E^4$  te birinci tip genişletilmiş Darboux çatısına göre Betchov-Da Rios denkleminin bir çözümü ise, bu taktirde

$$\kappa_g^1{}^3 \left( \kappa_g^2{}^2 \tau_g^2 + \tau_g^1 \left( \tau_g^1 \tau_g^2 - \dot{\tau}_g^2 \right) + \kappa_g^2 \dot{\tau}_g^1 \right) + \kappa_n \left( \kappa_n + \kappa_g^2 \left( \left( \tau_g^1{}^2 + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \tau_g^2{}^2 \right) \kappa_n{}^2 - 3\tau_g^1 \kappa_n \dot{\kappa}_g^1 + 2\dot{\kappa}_g^1{}^2 \right) + \kappa_n \left( \tau_g^1 \kappa_n - \dot{\kappa}_g^1 \right) \tau_g^2 + \tau_g^2 \left( -2\kappa_g^1 \kappa_n + \right. \\ \left. \kappa_n \left( -\kappa_n \dot{\tau}_g^1 + \dot{\kappa}_g^1 \right) \right) \right) + \kappa_g^1 \left( -2\kappa_g^2{}^2 \tau_g^2 \kappa_n{}^2 + \tau_g^1{}^2 \tau_g^2 \kappa_n{}^2 + \tau_g^2{}^3 \kappa_n{}^2 + \kappa_g^1 + \right. \\ \left. \kappa_n \dot{\kappa}_g^1 \kappa_g^2 - \tau_g^1 \kappa_n \left( 3\tau_g^2 \dot{\kappa}_g^1 + \kappa_n \dot{\kappa}_g^2 \right) + \kappa_n \dot{\tau}_g^2 \kappa_n + 2\tau_g^2 \kappa_n{}^2 + \kappa_g^2 \left( \kappa_n{}^2 \dot{\tau}_g^1 - \right. \right. \\ \left. \left. 2\kappa_g^1 \kappa_n + \kappa_n \left( 3\tau_g^1 \dot{\kappa}_n - \dot{\kappa}_g^1 \right) \right) - \tau_g^2 \kappa_n \dot{\kappa}_n \right) + \kappa_g^1{}^2 \left( \kappa_g^2{}^3 \kappa_n + \kappa_n \left( -\tau_g^2 \dot{\tau}_g^1 + \right. \right. \\ \left. \left. \tau_g^1 \dot{\tau}_g^2 \right) + \left( 3\tau_g^1 \tau_g^2 - \dot{\kappa}_g^2 \right) \dot{\kappa}_n + \kappa_g^2 \left( \left( \tau_g^1{}^2 - 2\tau_g^2{}^2 \right) \kappa_n + \dot{\kappa}_n \right) \right) = 0 \quad (34)$$

eşitliği sağlar.

**İSPAT:** (28) numaralı eşitlikte (10), (11) ve (12) kullanılırsa  $a_{24}$  fonksiyonu alternatif olarak (14) numara dışında

$$\begin{aligned}
 a_{24} = & \frac{1}{\kappa_g^1} (-\kappa_n - \kappa_g^2 ((\tau_g^1)^2 + \tau_g^2)^2 \kappa_n^2 - 3\tau_g^1 \kappa_n \dot{\kappa}_g^1 + 2\kappa_g^1)^2 + \\
 & \tau_g^2 \kappa_n^2 \tau_g^1 - \tau_g^1 \kappa_n^2 \tau_g^2 + \kappa_n \kappa_g^1 \tau_g^2 + 2\tau_g^2 \kappa_g^1 \kappa_n - \tau_g^2 \kappa_n \ddot{\kappa}_g^1 + \\
 & \kappa_g^1^2 (\kappa_g^2 \tau_g^2 + 2\tau_g^2 \tau_g^1 + \tau_g^1 \tau_g^2 - \ddot{\kappa}_g^2) + \kappa_g^1 (\kappa_g^2 \tau_g^2 \kappa_n - \tau_g^1 \tau_g^2 \kappa_n - \\
 & 4\kappa_g^1 \kappa_g^2 + 2\tau_g^1 (2\tau_g^2 \kappa_g^1 + \kappa_n \kappa_g^2) + 3\tau_g^2 \kappa_n + \kappa_g^2 (\kappa_n \tau_g^1 + \tau_g^1 \kappa_n - 2\kappa_g^1) + \\
 & \kappa_n (-\tau_g^2^3 + \ddot{\tau}_g^2) + 3\tau_g^2 \ddot{\kappa}_n)) \quad (35)
 \end{aligned}$$

şeklinde de elde edilebilir. O halde, (14) ve (35) numaralı eşitliklerden (34) sonucuna ulaşılır. ■

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Diferensiyel geometri ve matematiksel fizik alanlarında, önemli uygulama alanlarına sahip olan ve son yıllarda oldukça yoğun bir şekilde çalışılmakta olan konular olan soliton yüzeyleri ve Betchov-Da Rios denklemleri ile ilgili olan bu çalışmada, dört-boyutlu Öklid uzayında Betchov-Da Rios denklemi yardımıyla bir soliton yüzeyinin  $s$ -parametre eğrisi için birinci tip genişletilmiş Darboux çatı alanına ait türev denklemleri elde edilerek ayrıca bir de sonuç verilmiştir.  $s$ -parametre eğrimizin asimptotik bir eğri olması durumunda, birinci tip genişletilmiş Darboux çatı alanında  $\kappa_n = 0$  alınarak veya  $s$ -parametre eğrimizin eğrilik çizgisi (line of curvature) olması durumunda ise  $\tau_g^1 = \tau_g^2 = 0$  alınarak da türev denklemleri elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Altın, M., & Kazan, A. (2022). Tubular Hypersurfaces According to Extended Darboux Frame Field of First Kind in  $E^4$ . *Turkish Journal of Science*, 7(2), 75-84.
- Aminov, Y. (2001). *The geometry of submanifolds*. CRC Press.
- Aslan, M. Ç., & Ünlütürk, Y. (2020). On the variational curves due to the ED-frame field in Euclidean 4-space. *Turkish Journal of Mathematics*, 44(4), 1442-1452.
- Barros, M., Cabrerizo, J. L., Fernández, M., & Romero, A. (2007). Magnetic vortex filament flows. *Journal of Mathematical Physics*, 48(8).
- Barros, M., Ferrández, A., Lucas, P., & Meroño, M. A. (1999). Solutions of the Betchov-Da Rios soliton equation: a Lorentzian approach. *Journal of Geometry and Physics*, 31(2-3), 217-228.
- Betchov, R. (1965). On the curvature and torsion of an isolated vortex filament. *Journal of Fluid Mechanics*, 22(3), 471-479.
- Da Rios, L. S. (1906). On the motion of an unbounded fluid with a vortex filament of any shape. *Rend. Circ. Mat. Palermo*, 22, 117-132.
- Düldül, B. U. (2018). A new method for finding the shape operator of a hypersurface in Euclidean 4-space. *Filomat*, 32(17), 5827-5836.
- Düldül, B. U. (2019). Smarandache Curves According to the Extended Darboux Frame in Euclidean 4-Space. *Journal of Computer Science & Computational Mathematics*, 9(2), 17-22.
- Düldül, B. U., & Düldül, M. (2019). Extended Darboux frame curvatures of Frenet curves lying on parametric 3-surfaces. *Kuwait Journal of Science*, 46(1), 15-23.
- Düldül, M., Düldül, B. U., Kuruoğlu, N., & Özdamar, E. (2017). Extension of the Darboux frame into Euclidean 4-space and its invariants. *Turkish journal of Mathematics*, 41(6), 1628-1639.
- Erdoğan, M., Li, Y., & Yavuz, A. (2023). Betchov-Da Rios equation by null Cartan, pseudo null and partially null curve in Minkowski spacetime. *Bull. Korean Math. Soc.*, 60(5), 1265-1280.

- Ganchev, G., & Milousheva, V. (2008). On the theory of surfaces in the four-dimensional Euclidean space. *Kodai Mathematical Journal*, 31(2), 183-198.
- Grbović, M., & Nešović, E. (2016). On Bäcklund transformation and vortex filament equation for null Cartan curve in Minkowski 3-space. *Mathematical Physics, Analysis and Geometry*, 19, 1-15.
- Hasimoto, H. (1972). A soliton on a vortex filament. *Journal of Fluid Mechanics*, 51(3), 477-485.
- Hasimoto, H. (1971). Motion of a vortex filament and its relation to elastica. *Journal of the Physical Society of Japan*, 31(1), 293-294.
- Kazan, A. (2022). Canal hypersurfaces according to one of the extended Darboux frame field in Euclidean 4-space. *Thermal Science*, 26(4 Part A), 3029-3041.
- Li, Y., Erdoğan, M., & Yavuz, A. (2023). Differential geometric approach of Betchov-Da Rios soliton equation. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 52(1), 114-125.
- Little, J. A. (1969). On singularities of submanifolds of higher dimensional Euclidean spaces. *Annali di Matematica Pura ed Applicata*, 83, 261-335.
- Moffatt, H. K., Ricca, R. L. (1991). Interpretation of Invariants of the Betchov-Da Rios Equations and of the Euler Equations. In: Jiménez, J. (eds) *The Global Geometry of Turbulence*. NATO ASI Series, vol 268. Springer, Boston, MA.
- Ricca, R. L. (1992). Physical interpretation of certain invariants for vortex filament motion under LIA. *Phys. Fluids A*, 4(5), 938-944.
- Wintgen, P. (1979). Sur l'inégalité de Chen-Wilmore. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 288, 993-995.