

# FEN BİLİMLERİ VE MATEMATİKTE

ULUSLARARASI ARAŞTIRMALAR

*Aralık 2022*

EDİTÖRLER

PROF. DR. FİLİZ ÖZBAŞ GERÇEKER  
PROF. DR. HASAN AKGÜL  
DOÇ. DR. HAYRİ BABA

 SERÜVEN  
YAYINEVİ

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

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

**Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2022**

**ISBN • 978-625-6399-06-8**

**© 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:** Yalı Mahallesi İstikbal Caddesi No:6

Güzelbahçe / İZMİR

**Telefon / Phone:** 05437675765

**web:** www.seruvenyayinevi.com

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

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

# **Fen Bilimleri ve Matematikte Uluslararası Araştırmalar**

Aralık 2022

## Editörler

Prof. Dr. Filiz ÖZBAŞ GERÇEKER

Prof. Dr. Hasan AKGÜL

Doç. Dr. Hayri BABA



# İÇİNDEKİLER

## Bölüm 1

ÖKARYOTİK MODEL SACCHAROMYCES CEREVISIAE  
MAYASINDA GEMİFLOKSASİN İNDÜKLÜ HÜCRE ÖLÜMÜ  
Ayşenur GÜLER, Berna KAVAKCIOĞLU YARDIMCI ..... 1

## Bölüm 2

C-15 TİPİ HOIR<sub>2</sub> BİLEŞİĞİNİN YAPISAL, ELEKTRONİK VE  
ELASTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ  
Cihan KÜRKÇÜ, Abdullah CANDAN ..... 17

## Bölüm 3

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ MEVZUATINDA RADYASYON  
GÜVENLİĞİ  
Ayşe ÇÖMÜ, Emel ECE..... 29

## Bölüm 4

OPTOELEKTRONİK MALZEMELERİN HOMO-LUMO ENERJİ  
SEVİYELERİNİN TAYİNİNDE DİFERANSİYEL ANALİZ  
YÖNTEMİNİN KULLANIMI  
Ahmet BATTAL..... 47

## Bölüm 5

TEK ADIMLI D SABİT NOKTA İTERASYON YÖNTEMİNİN  
YAKINSAKLIK VE YAKINSAKLIK DENKLİĞİ SONUÇLARI  
Kadri DOĞAN ..... 59

## Bölüm 6

NANOTEKNOLOJİ VE UYGULAMA ALANLARI  
Neslihan ÇELEBİ ..... 73

## Bölüm 7

SİVAS İLİ ARI POLENİN BAZI ÖZELLİKLERİ VE  
APİTERAPİDE KULLANIM POTANSİYELİ  
Burak DEMİRCİ, Sevgi DURNA DAŞTAN ..... 95

## Bölüm 8

### YARI HEUSLER VIRBİ BİLEŞİĞİNİN YARI METALİK ÖZELLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI: İLK PRENSİPLER ÇALIŞMASI

Abdullah CANDAN, Cihan KÜRKCÜ ..... 105

## BÖLÜM 9

### ITS2 İKİNCİL YAPI VE TÜR SINIRLANDIRMA: OLIGOCHAETA (NAIS SPP.) ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRMESİ

Deniz MERCAN ..... 117

:

## Bölüm 10

### CAENORHABDİTİS ELEGANS MODEL ORGANİZMASINDA TRANSKRİPTOM VE METABOLOM ANALİZLERİ

Şeyda BERK, Ayşe Nur PEKTAŞ ..... 131

## Bölüm 11

### ADSORPSİYON İZOTERMİ VE TERMODİNAMİĞİNİN DENEYSEL VERİLERE DAYANARAK İNCELENMESİ

Nilgün Onursal..... 145

## Bölüm 12

### TOR GRYPUS KARACİĞER DOKUSU YAĞ ASİDİ İÇERİĞİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ

Semra KAÇAR, Mehmet BAŞHAN..... 159

## Bölüm 13

### TÜRKİYE'DE YAYILIŞ GÖSTEREN CLADONIA FOLIACEA GRUP ÜYELERİ VE DESKRİPSİYONLARI

Mustafa KOCAKAYA, Zekiye KOCAKAYA ..... 173

## Bölüm 14

### ADİYAMAN ŞEHİR MERKEZİ İÇME SULARINDA DOĞAL RADYONÜKLİD KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ VE POPÜLASYON DOZLARI

Mehmet Fatih AYDIN, Ömer SÖĞÜT ..... 187

Bölüm 15

ASİDOFİLİK MİKROORGANİZMALAR VE BİYOTEKNOLOJİK  
POTANSİYELLERİ

Havva Esra TÜTÜNCÜ, Nurcan VARDAR YEL .....211

Bölüm 16

ANTIÖKSİDAN MADDELERİN İSKEMİ/REPERFÜZYON  
HASARI VE MEKANİZMASI ÜZERİNE ETKİLERİ

Sevinç AYDIN .....225

Bölüm 17

GIDA ENDÜSTRİSİNDE NANOTEKNOLOJİ VE UYGULAMA  
ALANLARI

Neslihan ÇELEBİ .....245

Bölüm 18

TOR GRYPUS GONAT DOKUSU YAĞ ASİDİ İÇERİĞİNİN  
MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ

Semra KAÇAR .....261





“

# Bölüm 1

**ÖKARYOTİK MODEL *SACCHAROMYCES  
CEREVISIAE* MAYASINDA  
GEMİFLOKSASİN İNDÜKLÜ HÜCRE  
ÖLÜMÜ**

*Ayşenur GÜLER<sup>1</sup>,  
Berna KAVAKCIOĞLU YARDIMCI<sup>2</sup>*

”

<sup>1</sup> Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Kınıklı, 20070, Denizli, Türkiye, 0000-0001-7276-0189

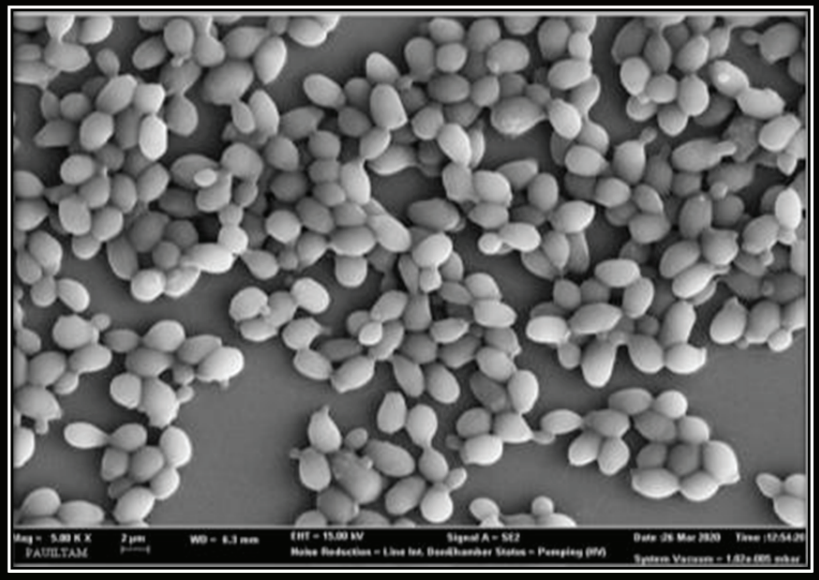
<sup>2</sup> Pamukkale Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 20070, Denizli, Türkiye-0000-0003-0719-9094, \*Sorumlu Yazar: byardimci@pau.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Antibiyotikler, başta bakteriler olmak üzere bazı mikroorganizmaların neden olduğu enfeksiyonları tedavi etmek için kullanılan bir grup ilaca verilen isimdir. Çeşitli mekanizmalar üzerinden etki gösterdiği mikroorganizmaları öldüren antibiyotikler biyosidal, proliferasyonu inhibe edenler ise biyostatik işlev gösterir (Kayaalp, 2005). Diğer yandan tedavi edici rolleriyle kullanımları neredeyse kaçınılmaz hale gelen antibiyotiklerin sağlıklı/normal fonksiyon gösteren hücreleri de hasara uğrattıkları bilinmektedir. Bu çalışmada, Nifuroksazid, Sefiksim, Trimetoprim/Sülfametoksazol ve Gemifloksasin olmak üzere dört farklı antibiyotik etken maddesinin ökaryotik model *Saccharomyces cerevisiae* mayası üzerindeki olası toksik etkileri araştırılmıştır. Nifuroksazid, insan ve hayvanlarda kolit ve ishali tedavi etmek için kullanılan bir bağırsak antiseptiği olup kimyasal yapısı fenol içeren bir 5-nitrofurandır. İlaç, metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* (Fernandes ve diğerleri, 2012) gibi gram-pozitifler ve *Klebsiella pneumoniae*, *E. coli* (Squella ve diğerleri, 1996) gibi gram-negatif bakterilere karşı antibiyotik etkinliğine sahiptir. Bu ilacın aktivasyonu ve etki mekanizması ile ilgili literatür bilgisi sınırlıdır, ancak patojenik organizmalarda nükleik asit metabolizmasını bozduğu bilinmektedir (Tritilanunt ve Vanprapar, 1991). Ayrıca son yıllarda meme, kolorektal ve melanoma kanserinin ilerlemesi ve metastazını inhibe etmede etkili olduğu kanıtlanmıştır (Yang vd., 2015; Zhu vd., 2016; Ye vd., 2018). Üçüncü kuşak Sefalosporin grubuna ait olan Sefiksim, bakteriyel alt solunum yolu enfeksiyonlarında, pnömoni, otit veya sinüzit vakalarında, deri, kemik veya eklem enfeksiyonlarında, üriner sistem enfeksiyonlarında ve bakteriyel menenjit tedavisinde kullanılan gram negatif bakterilere etkin yanıt verebilen beta-laktamaza dirençli antibiyotiklerdir (Yıldız vd., 2014). Sefalosporinler, bakterisid etkilerini penisilinlerde olduğu gibi hücre duvar sentezinde rolü olan Penisilin Bağlayan Proteinleri (PBP) inhibe ederek ve otolitik enzimleri aktive ederek gösterirler (Akkan vd., 2011). Öncül metaboliti PABA (p-amino benzoik asit) olan folik asit bakteriler için esansiyeldir. Anti-metabolit sulfonamidler, PABA yerine geçerek nükleik asit sentezini inhibe eder ve bakteriyostatik etki gösterirler. Trimetoprim diğer bir antimetabolittir ve dihidrofolat redüktazı inhibe edip dihidrofolatın tetrahidrofolata (DHFR) dönüşmesini engelleyerek folik asit metabolizmasını bozar. Sonuçta pürin bazları ve timidin yapımını sağlayan enzimlerin kofaktörü olan tetrahidrofolat türevleri yapılamaz ve bakterilerde DNA ve RNA sentezi bozulur (Gallien, 1973). Fluorokinolon sınıfından bakterisid etkili bir antibiyotik olan Gemifloksasin ise bakterilerin çoğalması için gerekli olan ve DNA'yı negatif süpersarmal hale getiren DNA giraz ile topoizomeraz IV enzimlerini inhibe ederek DNA sentezini

engellemek suretiyle etki etmektedir. Böylece bakteriler bölünemezler ve anormal şekilde uzayarak ölürler (Günel ve Erdem, 2014).

*S. cerevisiae* mayası pürüzsüz, düz, parlak veya mat koloniler oluşturan ve tomurcuklanarak üreyen bir mikroorganizmadır (Şekil 1). Kısa hayat döngüsü, kolay kültürlenebilmesi, hızlı üretimi ve gen aktarımında sağladığı avantajlar ile hem moleküler biyoloji ve genetik hem de tıbbi araştırmalar için kullanımı gittikçe yaygınlaşan önemli bir ökaryotik model organizmadır. Maya ve daha yüksek organizmalar arasındaki temel hücresel süreçlerin yüksek derecede korunması, maya hücresini insan hastalıklarını araştırmak için uygun bir model organizma haline getirmiştir. Çalışmamız kapsamında elde edilen sonuçlar, çalışılan etken maddeler arasından sadece gemifloksasin ajanının maya hücre canlılığını istatistiksel olarak anlamlı şekilde inhibe ettiğini ve söz konusu anti-proliferatif etkinin ağırlıklı olarak nekrotik ölüme dayandığını göstermiştir.



Şekil 1. Doğal tür *S. cerevisiae* maya hücrelerinin taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüsü (Pamukkale Üniversitesi, İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (İLTAM) tarafından çekilmiştir).

### 1.1 Hücre Ölüm Türleri

Çok hücreli organizmalarda, mitoz bölünme aracılığıyla üretilen yeni hücreler ile hasarlı ya da gereksiz olması nedeniyle elimine edilen hücre popülasyonları arasındaki homeostatik dengenin sürdürülmesi için daimî bir uğraş vardır. Sürekli devam eden bu hücresel proliferasyon/ölüm döngüsü, parmaklar gibi uzuvlarımızın gelişiminde gerekli olduğu gibi

(Zakeri ve Ahuja, 1997), bu döngüdeki regülasyon bozuklukları çeşitli hastalıklara neden olmaktadır (D'Arcy, 2019). Bu noktada, fizyolojik ya da patolojik açıdan istenmeyen hücrelerin, bir seri ardışık biyokimyasal ve moleküler olayları kapsayan kontrollü/programlı olarak veya hücrenel içeriğin çevre dokulara yayılmasıyla sonuçlanan dolayısıyla kontrolsüz şekilde elimine edildiği uzun süreden beri bilinmektedir (Kerr vd., 1972). Bahsi geçen hücre ölüm türlerinden programlanmış hücre ölümünün başlıca bilinen üç formu olup bunlar arasından en iyi karakterize edilene apoptotik hücre ölümüdür (Portt vd., 2011).

### 1.1.1. Tip 1 Programlanmış Hücre Ölümü: Apoptoz

Apoptoz, hasarlı hücrelerin normal işleyen hücrelere müdahale etmemek için intihar etmesine izin veren genetik olarak programlanmış bir mekanizma olarak tanımlanabilmektedir. Apoptotik hücre ölümü, doku homeostazisi ve hasarlı hücrelerin yok edilmesinde hayati bir işleve sahiptir. Hem artan hem de yetersiz apoptoz, sırasıyla nörodejeneratif hastalıklar ve kanser dâhil olmak üzere çeşitli insan hastalıklarına yol açabilmektedir (Danial ve Korsmeyer, 2004). Memeli apoptotik hücre ölümü sırasında; hücre küçülmesi, piknoz, yoğun sitoplazma, sıkıca paketlenmiş organeler, kromatin yoğunlaşması ve hücre yüzeyi mikrovilli kaybı gibi çeşitli morfolojik değişikliklerin meydana geldiği ışık ve elektron mikroskobu çalışmaları ile tespit edilmiştir (Häcker, 2000).

Farklı moleküler mekanizmalar tarafından oldukça hassas bir şekilde regüle edilen apoptoz, başlıca iki yoldan indüklenebilmektedir. Bunlardan ilki; hücre zarında bulunan ölüm reseptörlerinin aktivasyonu ile gerçekleşen dışsal (ekstrinsik) yolak ve temelde Bcl-2 protein ailesi tarafından regüle edilen içsel (intrinsik/mitokondriyal) yolaktır. İki yolak birbiriyle ilişkilidir ve bir yolakta aktif hale gelen faktör diğer yolağı etkileyebilmektedir (Kerr vd., 1972; Saikumar vd., 1999; Elmore, 2007; Hengartner, 2000).

Ekstrinsik yolakta, hücreyi ölüme götürecektir olan sinyal hücre membranında bulunan reseptörler aracılığıyla hücre içine iletilir. Diğer bir deyişle, membran yüzeyindeki ölüm reseptörleri adı verilen moleküller, ölüm sinyallerini tanırlar ve ekstrinsik apoptoz yolağını tetiklerler (Danial ve Korsmeyer, 2004; Elmore, 2007; Hengartner, 2000). Ölüm reseptörleri, tümör nekroz faktörü adı verilen ailenin üyeleridir. En iyi bilinen ölüm reseptörü örnekleri Fas ve TNF reseptörleridir. Ölüm reseptörleri, bir domaini hücre içi diğer domaini ise hücre dışına bakan ve hücre içi kısmında prokaspaz-8'in aktifleşmesini sağlayan iyi korunmuş bir ölüm domaini ihtiva eden yüzey reseptörleri olup 8 üyesi tanımlanmıştır (Kerr vd., 1972; Elmore, 2007; Hengartner, 2000; Jin ve El-Deiry, 2005). Hücre zarındaki reseptörlere ligandlarının bağlanmasıyla, reseptör konformasyon değişimi-

mine uğramaktadır. Bu değişim sonucunda aktifleşen reseptörler, hücrenin iç kısmında bulunan bazı moleküllerle etkileşerek ölüm indükleyici sinyalleşme kompleksi (DISC) adı verilen protein kompleksini oluşturmaktadır (Hengartner, 2000; Jin ve El-Deiry, 2005; Chinnaiyan vd., 1995). Bu kompleks inaktif prokaspaz-8'i hidrolizlemekte ve aktif kaspaz-8'i açığa çıkarmaktadır (Chinnaiyan vd., 1995; Riedl ve Shi, 2004) Aktif kaspaz-8 ise kaspaz-3 gibi ölümcül kaspazları aktive etmekte ve ölümcül kaspazların aktivasyonu ise hücre apoptozu ile sonuçlanmaktadır (Miyashita vd., 1994; Riedl ve Shi, 2004; Kumar, 2007; Lamkanfi vd., 2007).

Öte yandan mitokondriyel yolak olarak da bilinen intrinsik yolak, çeşitli uyarılar tarafından mitokondri dış zarının permeabilite geçiş porlarındaki bazı değişiklikler sonucu kaspaz-9'un aktifleşmesi ile apoptozu indüklemektedir. İntrinsik apoptoz uyarılarına; hipoksi, ısıl şok, metabolik bozukluklar ve hücre döngüsü bozuklukları, hücre içi pH azalışı, hücre içi kalsiyum düzeyi artışı, UV radyasyonu, c-myc, c-FOS, p53, PTEN gibi onkogenlerin ve tümör supresor genlerin ekspresyonundaki değişiklikler, hücre iskeletindeki bozukluklar, DNA hasarı, büyüme faktörü ve sitokin noksanlığı, hatalı katlanmış proteinler ve oksidatif stres örnek olarak verilebilir (Alberts vd., 2002; Danial ve Korsmeyer, 2004; Klener vd., 2006; Kerr vd., 1972; Saikumar vd., 1999; Elmore, 2007; Blain ve Massague, 2002; Viglietto vd., 2002). Normal koşullarda, mitokondriyal zarlar arası boşlukta bulunan sitokrom c gibi pro-apoptotik proteinler, uyarıcı faktörlerin varlığında sitoplazmaya salınarak kaspaz kaskadını başlatmaktadır. En iyi bilinen sitokrom c, sitoplazmik bir protein olan Apaf-1'e bağlanıp apoptozom kompleksini oluşturarak prokaspaz-9'u aktive etmektedir. Aktif kaspaz-9, kaspaz aktivasyonunu indükleyerek intrinsik yolak üzerinden apoptozu başlatmaktadır (Shi, 2002; Tsujimoto, 1998; Zou, 1999).

## 1.2 Mayalarda Apoptoz

*S. cerevisiae* mayası genetiği değiştirilebildiği ve kolay kullanım imkanı sağladığı için yıllar içinde tercih edilen popüler bir araştırma aracı haline gelmiştir. 1996 yılında *S. cerevisiae* genomunun DNA baz dizileri tamamen açıklığa kavuşturulmuştur (Hieter vd., 1996; Johnston, 1996; Mewes vd., 1997). Maya genetiğinin avantajlarının yanı sıra, maya ve daha yüksek organizmalar arasındaki temel hücresel süreçlerin yüksek derecede korunması, maya hücrelerini insan hastalıklarını araştırmak için uygun bir model organizma haline getirmiştir. Apoptotik hücre ölümünün yüksek ökaryotların yanı sıra mayalarda da gerçekleştiğinin keşfedilmesi ise 1997 yılına kadar uzanmaktadır (Madeo vd., 1997). Yapılan çalışmalar, *S. cerevisiae* mutantının proteazomal bozunma yollarında hücre bölünme döngüsü genindeki CDC48'in tipik apoptoz belirteci özelliği gösterdiğini ortaya koymuştur. Annexin V ile membran boyama ile dUTP

çentik uçlu etiketleme teknikleri kullanılarak sitoplazmik membranın dış tabakasındaki fosfatidil serin maruziyeti, DNA fragmentasyonu, kromatin kondensasyonu ve fragmentasyonunun tespit edilmesi apoptozun temel adımlarını gerçekleştiren moleküler mekanizmaların mayada da var olduğunu göstermesi açısından bir ilktir (Madeo vd., 1997). Son on yılda ise, birbiri ardına bulunan önemli kanıtlar, mayaların, yüksek ökaryotlar ile ciddi anlamda benzerlik derecesine sahip içsel apoptotik yanıtlara girme yetenekleri olduğunu göstermiştir (Madeo vd., 2004). Yüksek memeli apoptotik proteinlerinin mayalardaki ortologları ve fonksiyonları Tablo-1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** İnsan apoptotik proteinlerinin maya hücrelerindeki ortologları (Kavakcioğlu, 2017).

İnsan	Maya	Fonksiyonu ( <a href="http://www.yeastgenome.org">www.yeastgenome.org</a> )
VCP	CDC48	ER ile ilişkili ubikitin bağımlı protein bozunma sisteminin bir parçası olan poliubikitinlenmiş proteinlerin salınmasında yer alan çeşitli multiprotein ATPaz kompleksinin bir bileşenidir.
Cyt c	CYC1	Mitokondriden salınımı sonucu başlatıcı kaspazlardan kaspaz-9 aktivasyonunu indükler ve apoptoz başlatılır.
Endo G	NUC1	RNAz, DNA endo- ve ekzonükleolitik aktivitelere sahip temel mitokondriyal nükleazdır. Çeşitli hücresel prosesler sırasında genomik DNA’nın parçalanmasından sorumlu memeli EndoG ortologunu kodlar.
AIF	AIF1	Hücre apoptotik stimülasyonlara maruz kaldığında mitokondriden çekirdeğe transloke olarak apoptozu indükler. Redüktaz olarak kabul edilen memeli apoptozis indükleyici faktör homologudur.
IAP	BIR1	Bir1p genellikle apoptozis inhibitörü proteinlerinde bulunan bir protein motifi olan üç bakulovirüs IAP tekrar bölgesi içermektedir.
HtrA2/Omi	NMA111	Serin proteaz ve genel moleküler şaperonlar apoptozun gelişimi ve ısı stresine yanıt vermede rol oynarlar. Lipid homeostazisine katkıda bulunabilirler. Memeli Omi/HtrA2 serin proteaz ailesine dizi benzerliği mevcuttur.
Apoptozis İndükleyici Faktör (AIF)-Homoloğu ve Mitokondri İlişkili Protein	NDI1	Apoptotik stres üzerine mitokondride N-terminal bölünmesi ile aktive edilir, ardından apoptozu indüklemek için sitoplazmaya transloke olur.
Kaspazlar	MCA1	Apoptotik hücre ölüm prosesinde hücresel substratların hidrolizinden sorumlu önemli bir Ca <sup>2+</sup> -bağımlı sistein proteazdır. Bu protein apoptotik sinyaller alındığında spesifik substratlarına bağlanır.

## 2. YÖNTEM

### 2.1 *Saccharomyces cerevisiae* Suşunun Rutin Bakım Koşulları

Vahşi tip maya suşunun rutin bakımı amacıyla YPDA besi yeri (pH:5,6) kullanılmıştır. YPDA besi yeri 10 g/L maya ekstraktı, 20 g/L

pepton, 20 g/L glukoz ve 20 g/L bakteriyolojik agar içermektedir. YPDA besi yerine ekimi yapılan maya suşlarının proliferasyonu için 5 gün boyunca 30 °C’de inkubasyon gerçekleştirilmiştir.

## **2.2 *Saccharomyces cerevisiae* Suşunun Büyüme ve Stres Koşulları**

Vahşi tip maya suşunun büyüme ortamı olarak 10 g/L maya ekstraktı, 20 g/L pepton, 20 g/L glukoz içeren YPD besi yeri (pH:5,6) kullanılmıştır. İno-kulasyon, 660 nm’deki optik yoğunluğu 0,2 olan spor süspansiyonunun 10 mL’sinin 250 mL’lik erlenlerdeki 100 mL’lik besi yerine eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Maya hücreleri erken eksponansiyel faza gelince kadar 180 rpm ajitasyonda 30 °C’de inkubasyon gerçekleştirilmiştir. Erken eksponansiyel faza ulaşan maya hücrelerinin besi yerine değişen derişimlerde antibiyotik etken maddeleri doğrudan ilave edilmiştir. 24 saatlik muamele periyodunun ardından biyokimyasal analizler için hücreler uygun koşullarda saklanmıştır.

## **2.3 *Saccharomyces cerevisiae* Hücrelerinin Proliferasyon Yüzdelerinin Belirlenmesi**

Antibiyotik etken maddesi uygulanmış maya popülasyonundaki büyüme-te olan/prolifere olan hücrelerin yüzdelerini belirlemek amacıyla 660 nm’de spektrofotometrik absorbans okuması yapılmıştır. Hücre proliferasyonunun inhibisyon yüzdesinin belirlenmesi amacıyla kontrol için okunan absorbans değeri %100 kabul edilip ajan uygulanmış gruplardaki yüzde hesaplanmıştır.

## **2.4 Annexin V-PI Analizi**

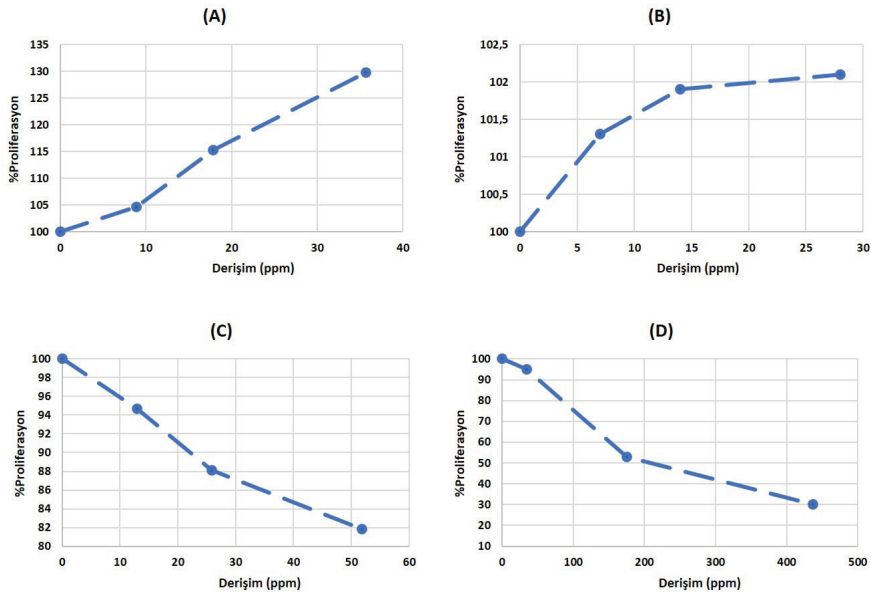
Erken apoptoz, geç apoptoz, nekroz gibi hücre ölüm karakterinin belirlenmesi ve birbirinden ayırt edilebilmesi amacıyla ticari bir kit kullanılmış ve kitteki prosedür takip edilmiştir. Annexin V proteini apoptozun erken safhasında membranın iç yüzeyinden dış yüzeyine transloke olan fosfatidilserine yüksek ilgisi sebebiyle bağlanabilmektedir. Apoptozun geç safhası ile nekrotik ölümün belirlenmesinde ise propidyum iyodür (PI) kullanılmakta ve bu safhada membran yapısı bozulan hücrelerin sitozolleri PI ile boyanmaktadır.

# **3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

## **3.1 Nifuroksazid, Sefiksim, Trimetoprim/Sülfametoksazol ve Gemifloksasin İndüklü Toksikite**

Çalışmada ilk olarak nifuroksazid, sefiksim, trimetoprim/sülfametoksazol ve gemifloksasin etken maddelerinin maya hücre proliferasyonu üzerinde herhangi bir etkilerinin olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla erken eksponansiyel faz maya hücreleri 0-40 ppm nifuroksazid, 0-30 ppm sefiksim, 0-60

ppm trimetoprim/sülfametoksazol (1:5) ve 0-450 ppm gemifloksasin etken maddesi ile 24 saat süreyle muamele edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 2’de görülmektedir. Verilerden görüldüğü gibi, sefiksim ve trimetoprim/sülfametoksazol etken maddeleri hücre proliferasyonu üzerinde anlamlı bir toksik etki göstermemiştir. Nifuroksazidin ise maya hücre proliferasyonunda anlamsız artışa sebep olmuştur. Söz konusu üç farklı etken maddenin daha yüksek derişimlerinde de herhangi anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Antibiyotik etken maddeleri arasında sadece gemifloksasin ajanının maya hücre proliferasyonunu istatistiksel olarak anlamlı şekilde inhibe ettiği belirlenmiştir. 35, 175 ve 437,5 ppm gemifloksasin ile 24 saatlik inkubasyon sonucunda maya hücre proliferasyonunun kontrol grubuna kıyasla sırasıyla yaklaşık %95, 53 ve 30 değerlerine azaldığı tespit edilmiştir. 2019 yılında Sidorov ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen güncel bir çalışmada nifuroksazid analoglarının *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus haemolyticus* ve *Pseudomonas* gibi bakteri türleri üzerinde toksik etki gösterdiği ancak *Candida albicans* ve *Cryptococcus neoformans* olmak üzere iki farklı maya hücre proliferasyonu üzerinde etkisinin olmadığı gösterilmiş olup ekibimiz tarafından elde edilen sonuçlarla uyumludur. Literatürde, diğer üç antibiyotik etken maddesinin maya türleri üzerindeki etkilerine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanamamıştır.



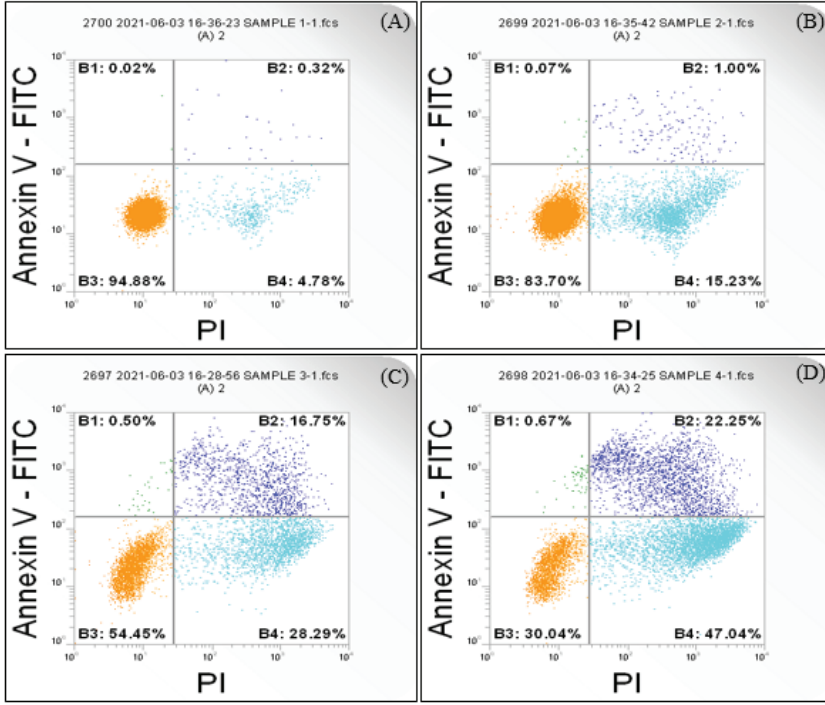
Şekil 2. Değişen derişimlerde nifuroksazid (A), sefiksim (B), trimetoprim/sülfametoksazol (C) ve gemifloksasin (D) uygulamalarına bağlı olarak maya hücre canlılığı yüzdeleri.



### 3.2 Gemifloksasin İndüklü Hücre Ölüm Türlerinin Kantifikasyonu

Çalışma kapsamında maya hücre proliferasyonu üzerinde etkili olduğu belirlenen gemifloksasin antibiyotik etken maddesinin toksik etkisinin ağırlıklı olarak hangi hücre ölüm türü üzerinden yürüdüğü tespit edilmiştir. Bu amaçla erken-geç apoptotik ve nekrotik hücre popülasyonlarının ayrılabilirdiği flow sitometrik Annexin V-PI testinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3’de sunulmuştur.

Şekil 3’de görülen A paneli, ajan uygulanmamış kontrol grubu hücrelerinin dağılımını göstermektedir. Görüldüğü gibi kontrol grubunda hücrelerin %94,88’i canlılığını korumaktadır. B, C ve D panelleri ise sırasıyla 35, 175 ve 437,5 ppm gemifloksasin etken maddesi uygulanmış örneklerin dağılımını göstermektedir. Artan gemifloksasin derişimine bağılı olarak hücre canlılığı sırasıyla %83,70, 54,45 ve 30,04 değerlerine düşmüş olup elde edilen bu değerlerin yüzde hücre proliferasyon değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Her üç derişim için erken apoptotik hücre popülasyonu yok denecek kadar az iken ajan derişimi arttıkça geç apoptotik hücre popülasyonu da kademeli olarak artmıştır. Bununla birlikte antibiyotik etken maddesi gemifloksasinin *S. cerevisiae* hücrelerinde ağırlıklı olarak nekrotik ölümü indüklediği görülmektedir. En yüksek ajan derişimi için erken ve geç apoptotik hücre popülasyonunun yüzdesi 22,92 iken nekrotik karakterli hücrelerin yüzdesi 47,04 olarak belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. 0 (A), 35 (B), 175 (C) ve 437,5 ppm (D) gemifloksasin uygulamalarına bağlı olarak indüklenen hücre ölüm türlerinin Annexin V-PI testi ile kantifikasyonu.

#### 4. SONUÇ

Günümüze kadar yapılan araştırmalarda, fluorokinolin türevi Gemifloksasinin, solunum sistemi enfeksiyonlarına (Tüberküloz, KOAH, Pnömoni, Akut Bakteriyel Sinüzit) sebep olan gram negatif ve gram pozitif bakteriler, anaerob bakteriler ile pnömokoklara karşı güçlü etkinlik gösterdiği ve etki spektrumu hayli geniş bir kinolon olduğu belirtilmektedir. Kinolonların konsantrasyona bağlı etki gösterdiği ve yüksek konsantrasyonlarda bakterisidal etki gösterdikleri de bildirilmektedir (Rubinstein ve Keynan, 2013; Ulutan, 2013). Bakterilerde DNA sentezini bozmak suretiyle bakterisidal etki gösteren kinolonların çok yüksek konsantrasyonlarda RNA ve protein sentezini inhibe ettikleri ve bakterilerdeki temel hedeflerinin DNA giraz (topoizomeraz II) ve topoizomeraz IV enzimleri olduğu yapılan çalışmalar ile ifade edilmektedir (Kim vd., 1998). DNA replikasyonu, rekombinasyonu ve onarım sürecinden DNA giraz sorumludur. Topoizomeraz IV ise replikasyon sürecinde meydana gelen DNA ipliklerinin birbirinden ayrılarak yavru hücrelere geçişini sağlamaktadır. Bu iki önemli enzim kinolon grubu antibiyotiklerin hedefindedir (Ruiz, 2003). Çalışmalardan elde edilen veriler fluorokinolon türevi antibiyotik-

lerin maya ve kf topoizomerazları için de benzer etki oluşturabileceğini düşündürmektedir (Shen vd., 1989; Sugar vd., 1997). Çalışmamızda gemifloksasinin maya hücresi üzerinde de etkili olduğu ve ağırlıklı olarak nekrotik ölüm üzerinden toksik etkisini gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte fluorokinolin türevi gemifloksasinin maya ve mantarlar üzerindeki etki mekanizması tam olarak aydınlatılmamış olup daha ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

## **5. TEŞEKKÜR**

Flow sitometrik analizler için IDA YAŞAM TEKNOLOJİLERİ'ne teşekkür ederiz.

## KAYNAKÇA

- Akkan, T., Kaya, A., & Dinçer, S. (2011). Hastane atık sularıyla kontamine edilen deniz suyundan izole edilen gram negatif bakterilerin sefalosporin grubu antibiyotiklere karşı direnç düzeyleri. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 4(1), 18-21.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2002). Posttranscriptional controls. In *Molecular Biology of the Cell. 4th edition*. Garland Science.
- Blain, S. W., & Massague, J. (2002). Breast cancer banishes p27 from nucleus. *Nature medicine*, 8(10), 1076-1078.
- Chinnaiyan, A. M., O'Rourke, K., Tewari, M., & Dixit, V. M. (1995). FADD, a novel death domain-containing protein, interacts with the death domain of Fas and initiates apoptosis. *Cell*, 81(4), 505-512.
- D'Arcy, M. S. (2019). Cell death: a review of the major forms of apoptosis, necrosis and autophagy. *Cell biology international*, 43(6), 582-592.
- Danial, N. N., & Korsmeyer, S. J. (2004). Cell death: critical control points. *Cell*, 116(2), 205-219.
- Elmore, S. (2007). Apoptosis: a review of programmed cell death. *Toxicologic pathology*, 35(4), 495-516.
- Fernandes, M. B., Gonçalves, J. E., Scotti, M. T., de Oliveira, A. A., Tavares, L. C., & Storpirtis, S. (2012). Caco-2 cells cytotoxicity of nifuroxazide derivatives with potential activity against Methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA). *Toxicology in Vitro*, 26(3), 535-540.
- Gallien, R. (1973). Antibacterial action of trimethoprim-sulfamethoxazole. *The Journal of Infectious Diseases*, S486-S497.
- Günel, E., & Erdem, H. (2014). Kinolonlar. *İç Hastalıkları Dergisi*, 21, 69-85.
- Häcker, G. (2000). The morphology of apoptosis. *Cell and tissue research*, 301(1), 5-17.
- Hengartner, M. O. (2000). The biochemistry of apoptosis. *Nature*, 407(6805), 770-776.
- Hieter, P., Bassett, D. E., & Valle, D. (1996). The yeast genome—a common currency. *Nature genetics*, 13(3), 253-255.
- McBride, W. J. H. (2010). Mandell, Douglas and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases 7th edition.
- Jin, Z., & El-Deiry, W. S. (2005). Overview of cell death signaling pathways. *Cancer biology & therapy*, 4(2), 147-171.
- Johnston, M. (1996). Genome sequencing: The complete code for a eukaryotic cell. *Current Biology*, 6(5), 500-503.

- Kavakcıoğlu Yardımcı, B. (2017). *The investigation of the clotrimazole induced apoptosis mechanism in Saccharomyces cerevisiae*. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kayaalp, S. O. (2005). *Rasyonel tedavi yönünden tıbbi farmakoloji*. Hacettepe Taş Kitapçılık Limited Şti..
- Kerr, J. F., Wyllie, A. H., & Currie, A. R. (1972). Apoptosis: a basic biological phenomenon with wideranging implications in tissue kinetics. *British journal of cancer*, 26(4), 239-257.
- Kim, M. (1998). Y, Paek K-S, Choo YS. SB-265805 (LB20304a): selectivity between bacterial DNA gyrase and human topoisomerase II [abstract no. F-89 & poster]. In *38th Interscience Conference on Antimicrobial Agents and Chemotherapy* (pp. 24-27).
- Klener Jr, P., Andera, L., Klener, P., Necas, E., & Zivný, J. (2006). Cell death signalling pathways in the pathogenesis and therapy of haematologic malignancies: overview of apoptotic pathways. *Folia biologica*, 52(1/2), 34.
- Kumar, S. (2007). Caspase function in programmed cell death. *Cell Death & Differentiation*, 14(1), 32-43.
- Lamkanfi, M., Festjens, N., Declercq, W., Berghe, T. V., & Vandenabeele, P. (2007). Caspases in cell survival, proliferation and differentiation. *Cell Death & Differentiation*, 14(1), 44-55.
- Madeo, F., Fröhlich, E., & Fröhlich, K. U. (1997). A yeast mutant showing diagnostic markers of early and late apoptosis. *The Journal of cell biology*, 139(3), 729-734.
- Madeo, F., Herker, E., Wissing, S., Jungwirth, H., Eisenberg, T., & Fröhlich, K. U. (2004). Apoptosis in yeast. *Current opinion in microbiology*, 7(6), 655-660.
- Mewes, H., Albermann, K., Bähr, M., Frishman, D., Gleissner, A., Hani, J., ... & Zollner, A. (1997). Overview of the yeast genome. *Nature*, 387(6632), 7-8.
- Miyashita, T., Krajewski, S., Krajewska, M., Wang, H. G., Lin, H. K., Liebermann, D. A., ... & Reed, J. C. (1994). Tumor suppressor p53 is a regulator of bcl-2 and bax gene expression in vitro and in vivo. *Oncogene*, 9(6), 1799-1805.
- Portt, L., Norman, G., Clapp, C., Greenwood, M., & Greenwood, M. T. (2011). Anti-apoptosis and cell survival: a review. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1813(1), 238-259.
- Riedl, S. J., & Shi, Y. (2004). Molecular mechanisms of caspase regulation during apoptosis. *Nature reviews Molecular cell biology*, 5(11), 897-907.
- Rubinstein, E., & Keynan, Y. (2013). Quinolones for mycobacterial infections. *International journal of antimicrobial agents*, 42(1), 1-4.

- Ruiz, J. (2003). Mechanisms of resistance to quinolones: target alterations, decreased accumulation and DNA gyrase protection. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 51(5), 1109-1117.
- Saikumar, P., Dong, Z., Mikhailov, V., Denton, M., Weinberg, J. M., & Venkatalaham, M. A. (1999). Apoptosis: definition, mechanisms, and relevance to disease. *The American journal of medicine*, 107(5), 489-506.
- Shen, L. L., Mitscher, L. A., Sharma, P. N., O'donnell, T. J., Chu, D. W., Cooper, C. S., ... & Pernet, A. G. (1989). Mechanism of inhibition of DNA gyrase by quinolone antibacterials: a cooperative drug-DNA binding model. *Biochemistry*, 28(9), 3886-3894.
- Shi, Y. (2002). Mechanisms of caspase activation and inhibition during apoptosis. *Molecular cell*, 9(3), 459-470.
- Sidorov, N. G., Kravchenko, A. D., Poddubikov, A. V., & Arzumanian, V. G. (2019). Synthesis and study of the antimicrobial activity of nifuroxazide derivatives. *Microbiology Independent Research Journal*, 6(1), 10-17.
- Squella, J. A., Letelier, M. E., Lindermeier, L., & Nunez-Vergara, L. J. (1996). Redox behaviour of nifuroxazide: generation of the one-electron reduction product. *Chemico-biological interactions*, 99(1-3), 227-238.
- Sugar, A. M., Liu, X. P., & Chen, R. J. (1997). Effectiveness of quinolone antibiotics in modulating the effects of antifungal drugs. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 41(11), 2518-2521.
- Tsujimoto, Y. (1998). Role of Bcl-2 family proteins in apoptosis: apoptosomes or mitochondria?. *Genes to cells*, 3(11), 697-707.
- Ulutan, F. (2003). Yeni kinolonlar ve solunum sistemi infeksiyonlarında kullanımı. *Flora*, 8(1), 32-39.
- Vanprapar, N., & Tritilanunt, S. (1991). Nifuroxazide in Diarrhea. *J Infect Dis Antimicrob Agents*, 8(2).
- Viglietto, G., Motti, M. L., Bruni, P., Melillo, R. M., D'alessio, A., Califano, D., ... & Santoro, M. (2002). Cytoplasmic relocalization and inhibition of the cyclin-dependent kinase inhibitor p27Kip1 by PKB/Akt-mediated phosphorylation in breast cancer. *Nature medicine*, 8(10), 1136-1144.
- Yang, F., Hu, M., Lei, Q., Xia, Y., Zhu, Y., Song, X., ... & Wei, Y. (2015). Nifuroxazide induces apoptosis and impairs pulmonary metastasis in breast cancer model. *Cell death & disease*, 6(3), e1701-e1701.
- Ye, T. H., Yang, F. F., Zhu, Y. X., Li, Y. L., Lei, Q., Song, X. J., ... & Wei, Y. Q. (2018). Inhibition of Stat3 signaling pathway by nifuroxazide improves antitumor immunity and impairs colorectal carcinoma metastasis. *Cell death & disease*, 8(1), e2534-e2534.
- Yıldız, İ., Varkal, M. A., & Ünüvar, E. (2014). Günümüzde sefalosporinler ve antibiyotik direnci. *Çocuk Dergisi*, 14(1), 22-27.

- Zakeri, Z. F., & Ahuja, H. S. (1997). Cell death/apoptosis: normal, chemically induced, and teratogenic effect. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 396(1-2), 149-161.
- Zhu, Y., Ye, T., Yu, X., Lei, Q., Yang, F., Xia, Y., ... & Wei, Y. (2016). Nifuroxazide exerts potent anti-tumor and anti-metastasis activity in melanoma. *Scientific reports*, 6(1), 1-13.
- Zou, H., Li, Y., Liu, X., & Wang, X. (1999). An APAF-1· cytochrome c multimeric complex is a functional apoptosome that activates procaspase-9. *Journal of Biological Chemistry*, 274(17), 11549-11556.





“

## Bölüm 2

### **C-15 TİPİ HOIR<sub>2</sub> BİLEŞİĞİNİN YAPISAL, ELEKTRONİK VE ELASTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

*Cihan KÜRKÇÜ<sup>1</sup>, Abdullah CANDAN<sup>2</sup>*

”

---

1 Doç. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 0000-0003-3597-1950, ckurku@ahievran.edu.tr

2 Doç. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 0000-0003-4807-3017, cndn14@gmail.com

## GİRİŞ

Laves fazı, mükemmel korozyon ve sürünme direnci, manyetik ve elektriksel özellikler gibi birçok istisnai fonksiyonel özelliğe sahiptir. Ayrıca manyetik malzemeler, manyeto-optik malzemeler ve hidrojen depolama malzemeleri olarak da kullanılırlar (Klein, Pickett, Papaconstantopoulos, & Boyer, 1983; Okaniwa, Shindo, Yoshida, & Takasugi, 1999; Thoma et al., 1997; Von Keitz & Sauthoff, 2002). Laves fazlar, intermetalik fazlardır. Genel formülü  $AB_2$  şeklindedir. A, bir alkali metal, alkalın toprak metali, lantanit, aktinit veya geçiş elementi grupları olan III-B ve IV-B gibi bir elektropozitif elementi olabilir. B ise, A'dan daha az elektropozitif olan bir geçiş elementidir. Örneğin VII-B ve VIII-B grubunu oluşturan metallere olabilir. Bu malzeme türü ilk olarak 1927 yılında James Friauf tarafından keşfedilmiştir (Friauf, 1927a, 1927b). Atomların dizilişlerine göre 3 farklı kristal yapıya sahiptir. Bu yapılar, uzay grubu Fd-3m olan C15 ( $MgCu_2$ ) tipi yüzey merkezli kübik yapı ile uzay grubu  $P6_3/mmc$  olan C14 ( $MgZn_2$ ) tipi hegzagonal yapı ve C36 ( $MgNi_2$ ) tipi double hegzagonal yapıdır (Benabadji & Faraoun, 2013; Charifi, Reshak, & Baaziz, 2008; Levinson, Zahradnik, Bergh, MacVicar, & Bostock, 1978; Lishi, Yonghua, & Runyue, 2017; Liu et al., 2012; Nie, Du, & Xu, 2010; Ormeci et al., 1996; Thoma et al., 1997; Yakoubi, Baraka, & Bouhafs, 2012). Laves fazının üç yapısından, C15 tipi Laves fazının yüzey merkezli kübik yapıya sahip olmasından dolayı diğer iki yapıya göre daha iyi deforme edilebilirlik göstermesi beklenmektedir (Zhang et al., 2011). Bu çalışmanın amacı,  $HoIr_2$  bileşiğinin Fd-3m fazı için yapısal hesaplamalar gerçekleştirilerek örgü sabiti değerinin hesaplanması ve daha sonra elektronik ve elastik özelliklerinden malzemenin türü, sertliği ve mekanik kararlılığı hakkında bilgi edinmektir. Bu çalışmada elde edilen pek çok veri ilk olarak bu çalışmada hesaplanmıştır. Bu sayede elde edilen sonuçların literatürdeki eksikliği gidererek özellikle deneysel çalışanlara yol göstereceğini düşünmekteyiz.

## HESAPLAMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada  $HoIr_2$  bileşiğinin yapısal, elektronik ve elastik özellikleri Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT) çerçevesinde Quantum-ESPRESSO kodu (Baroni, Giannozzi, & Testa, 1987) kullanılarak incelenmiştir. Hesaplamalarda değiş tokuş-korelasyon enerjisi olarak genelleştirilmiş gradyant yaklaşımı ve Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) parametresi kullanıldı (Perdew, Burke, & Ernzerhof, 1996). Gerekli yapı optimizasyonu yapıldıktan sonra

HoIr<sub>2</sub> için Birinci Brillouin bölgesinde k-noktası değerleri  $12 \times 12 \times 12$  olarak belirlendi. Hesaplamalarda kesilim enerjisi olarak 50 Ry yeterli görüldü. Ayrıca, yakınsama toleransı,  $10^{-6}$  eV/atom değerinde sabitlendi ve 0,02 Ry'lik smearing parametre değeri alınarak hesaplandı (Methfessel & Paxton, 1989).

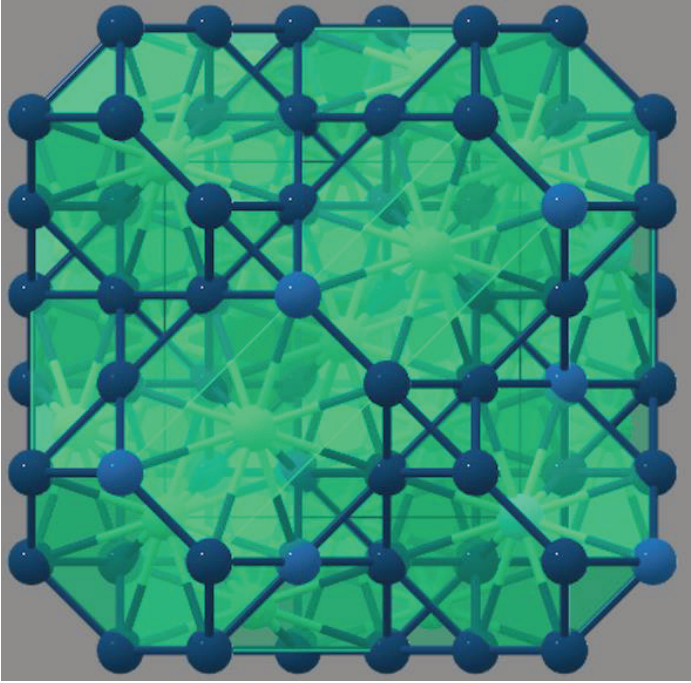
## BULGULAR

### Yapısal Özellikler

Bu çalışmada kullanılan C15 tipi Laves fazlardan biri olan HoIr<sub>2</sub>, uzay grubu Fd-3m olan kübik yapıda kristalleşir. Başlangıçta, hesaplamalara başlamak için deneysel örgü sabiti değeri bulundu. Daha sonra bu parametreler minimum enerjiye ulaşana kadar değiştirildi. Bu nedenle, toplam enerjiyi en aza indirerek birim hücre geometrilerinin ayrıntılı yapısal optimizasyonları gerçekleştirildi. HoIr<sub>2</sub>'nin Fd-3m yapısı için örgü parametresi değeri  $a_0 = 7.560$  Å olarak hesaplandı ve çalışmada ilgili yerlerde bu değer kullanıldı. HoIr<sub>2</sub>'nin Fd-3m yapısında Ho atomları 8a (1/2, 0, 1/2) Wyckoff konumlarına yerleşirken Ir atomları 16d (1/8, 5/8, 1/8) Wyckoff konumlarına yerleşmiştir. Tablo I'de, HoIr<sub>2</sub> için hesaplanan örgü sabiti değeri, yoğunluk ve formasyon entalpisi değeri gibi yapısal özellikler verilmiştir. HoIr<sub>2</sub>'nin Fd-3m kristal yapısının görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.

**Tablo 1:** Hesaplanan Örgü Sabiti ( $a_0$ ), Yoğunluk ( $\rho$ ) ve Formasyon Entalpisi ( $\Delta H_f$ ) Değerleri

	Kaynak	$a_0$ (Å)	$B_0$ (GPa)	$B'_0$	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\Delta H_f$ (eV/atom)
HoIr <sub>2</sub>	Bu çalışma	7.560	205.20	4.83	16.888	-0.818
	Teori	7.57	-	-	16.83	-0.836
	Deneysel	-	-	-	-	-0.786



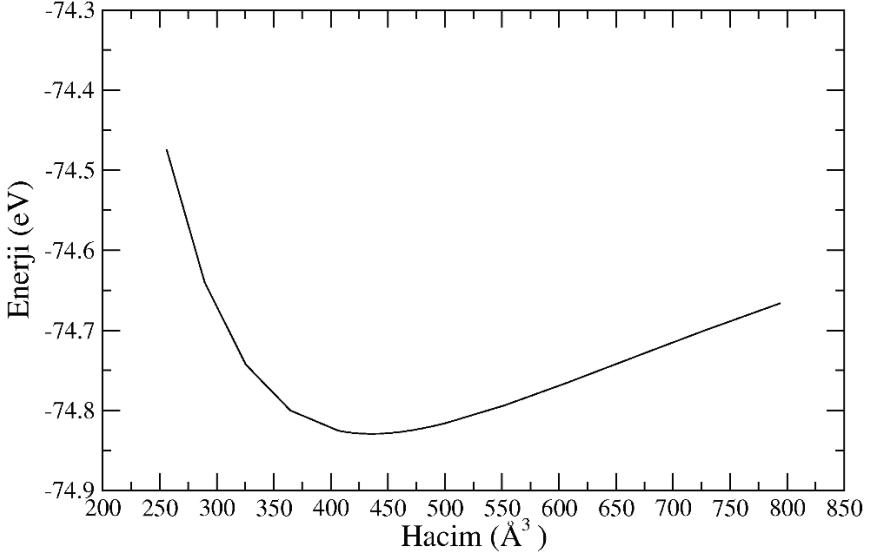
Şekil 1: HoIr<sub>2</sub>'nin Fd-3m Tipinin Kristal Yapısı

Tablo 1’de verildiği üzere formasyon entalpisi ( $\Delta E_f$ ) değeri -0.818 ev/atom olarak hesaplandı. Bu hesaplama için aşağıda verilen 1 nolu eşitliği kullandık.

$$\Delta E_f = \frac{1}{a+b} [E_{Toplam}^{XaYb} - aE_{Katl}^X - bE_{Katl}^Y] \quad (1)$$

Buradaki  $E_{Toplam}^{XaYb}$  ilkel hücrenin toplam enerjisini ifade eder.  $a$  ve  $b$  sırasıyla X ve Y atomlarının birim hücredeki sayısını ifade eder. Diğer taraftan  $E_{Katl}^X$  ve  $E_{Katl}^Y$  saf element bileşenlerinin toplam enerjisidir. Formasyon entalpisi, bir katı kristalin termodinamik kararlılığı veya yapısal sentezlenebilirliği hakkında önemli bilgiler verir. HoIr<sub>2</sub> için hesaplanan formasyon entalpisinin negatif değeri (-0.818 eV/atom), bu kristalin termodinamik kararlılığa ve deneysel olarak sentezlenebilirliğe sahip olduğunu gösterir.

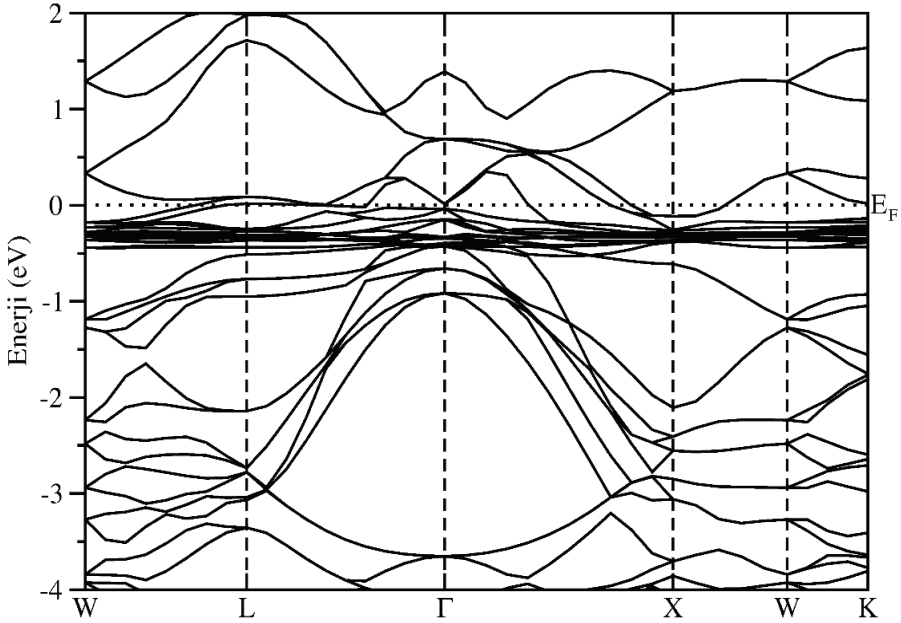
Ayrıca HoIr<sub>2</sub>'nin Fd-3m tipi yapısı için Enerji-Hacim eğrisi de çizildi ve Şekil 2’de verildi. Yaklaşık 400-450 Å<sup>3</sup> civarında yapı minimum enerjiye (-74.85 eV) sahiptir. Enerji-Hacim eğrisi malzemelerin çalışılan yapılarının kararlılığı hakkında bilgi vermektedir. Minimum enerjiye sahip yapı en kararlı yapıdır.



Şekil 2: HoIr<sub>2</sub>'nin Fd-3m Tipi Yapısının Enerji-Hacim Eğrisi

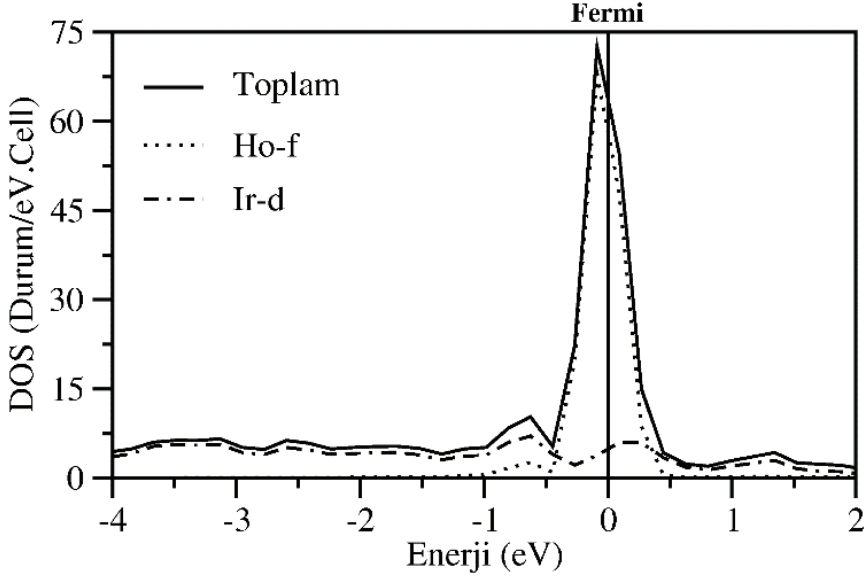
## Elektronik Özellikler

HoIr<sub>2</sub>'nin kübik Fd-3m tipi kristal yapısı için elektronik bant yapısı ve durum yoğunluğu hesaplamaları yapıldı ve sırasıyla Şekil 3 ve 4'de verildi. Tüm elektronik yapı hesaplamalarında Fermi Enerji ( $E_F$ ) seviyesi 0 eV olarak ayarlandı. Fermi Enerji seviyesi siyah kesikli çizgi ile gösterildi. Fermi enerji seviyesinin altında yer alan bantlara valans bantları denir. Fermi enerji seviyesinin üzerinde ise iletim bantları yer almaktadır. Valans bandının Fermi Enerji seviyesine en yakın olduğu nokta yani valans bandının maksimum olduğu nokta ile iletim bandının Fermi Enerji seviyesine en yakın olduğu yani iletim bandının minimum olduğu nokta arasında bir boşluk var ise malzemenin yarıiletken ve yalıtkan özellikte olduğundan bahsedilir. Bu bant aralığı değeri yaklaşık 3.5 eV değerinden küçükse malzeme yarıiletken özellikte aksi halde yalıtkan özelliktedir. Eğer malzeme yarıiletken özellikte ise bu durumda iki farklı özellikten bahsedebiliriz. Eğer valans bandının maksimumu ile iletim bandının minimumu aynı simetri noktası üzerinde ise bu durumda malzeme doğrudan bant geçişine sahip yarıiletken olarak adlandırılır. Eğer valans bandının maksimumu ile iletim bandının minimumu aynı simetri noktasında yer almıyorlarsa bu durumda malzemenin dolaylı bant geçişine sahip yarıiletken olduğundan bahsedilebilir.



**Şekil 3:** HoIr<sub>2</sub>'nin Fd-3m Tipi Yapısının Elektronik Bant Yapısı

Bir diğer durum ise malzemenin metalik özellikte olmasıdır. Eğer valans bantları ile iletim bantlarından bazıları Fermi Enerji seviyesinde üst üste gelerek birbirlerini kesmişlerse bu durumda malzemenin metalik karaktere sahip olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 3'den görüldüğü üzere Fermi Enerji seviyesinde bantlar birbirini kesmiş durumdadır. Herhangi bir bant aralığı yoktur. Bu durumda HoIr<sub>2</sub>, Fd-3m yapısında metalik karaktere sahiptir. Malzemenin elektronik doğası hakkında daha ayrıntılı bilgiye sahip olabilmek için bir sonraki aşamada toplam ve parçalı durum yoğunluğu hesabı yapıldı ve Şekil 4'de verildi. Şekil 4'den görüldüğü gibi, Fermi Enerji seviyesi 0 eV olarak ayarlanmış ve siyah sürekli bir çizgi ile gösterilmiştir. Elektronik bant yapısı grafiğinde olduğu gibi Fermi Enerji seviyesini bantlar kesmiştir. Böylece malzemenin metalik karaktere sahip olduğu bir kez daha anlaşılmıştır. Ayrıca orbitallerden gelen katkıyı da inceleyecek olursak Fermi Enerji seviyesinin altında ve üstünde en büyük katkının Ir-d durumundan geldiği açıktır.



Şekil 4: HoIr<sub>2</sub>'nin Fd-3m Tipi Yapısının Toplam Ve Parçalı Durum Yoğunluğu Eğrileri

### Elastik Özellikler

Malzemenin mekanik kararlılığı ve sertliği hakkında bilgi veren ikinci dereceden bağımsız elastik sabiti değerleri ( $C_{ij}$ ) HoIr<sub>2</sub>'nin kübik Fd-3m tipi yapısı için hesaplandı. Bir malzemenin uygulanan basınca karşı koyma yeteneği, yapısal kararlılığın belirlenmesinde çok önemli fiziksel parametreler olan elastik sabitleri tarafından belirlenir. Ayrıca elastik özellikler, atomik bağ, sertlik, süneklik, kırılma ve mekanik kararlılık gibi fiziksel özellikler hakkında da bilgi verir. Kübik yapılar için üç farklı bağımsız elastik sabiti değeri ( $C_{11}$ ,  $C_{12}$  ve  $C_{44}$ ) vardır (Arıkan et al., 2013). Ayrıca malzemenin mekanik olarak kararlı olup olmadığına karar vermemize yarayan kübik yapılar için Born kararlılık kriterleri de aşağıdaki gibidir (Surucu, Gencer, Candan, Gullu, & Isik, 2020):

$$C_{11} > 0, C_{44} > 0, C_{11} > |C_{12}|, (C_{11} + 2C_{12}) > 0 \quad (2)$$

Elde ettiğimiz elastik sabiti değerleri yukarıdaki eşitlikte yerine konulduğunda tüm şartlar sağlandığından dolayı HoIr<sub>2</sub>'nin kübik Fd-3m tipi yapısı mekanik olarak kararlıdır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen elastik sabiti değerleri Tablo 2'de ve malzemelerin sertliği hakkında bize bilgi veren diğer elastik büyüklükler de Tablo 3'de verilmiştir. Bu veriler ikinci dereceden elastik sabit

değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. İkinci dereceden elastik sabit değerleri kullanarak basınç varlığında hacim değişikliğine karşılık gelen direnci ifade eden Bulk Modülü (B) hesaplandı. Ardından, elastik sabit değerleri kullanılarak, basınç varlığında şekil değişikliğine karşılık gelen direnci ifade eden Shear Modülü (G) hesaplandı. G, sertlik ölçüsünü belirleyen en önemli parametrelerden biridir ve bir malzemenin sertliği, o malzemenin yüzeyindeki başka bir malzemenin gerilimine karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür.

**Tablo 2:** HoIr<sub>2</sub>'nin Kübik Fd-3m Tipi Yapısı İçin Hesaplanan Elastik Sabiti Değerleri

Yapı	C <sub>11</sub> (GPa)	C <sub>12</sub> (GPa)	C <sub>44</sub> (GPa)
Fd-3m	293.47	156.67	102.21

**Tablo 3.** HoIr<sub>2</sub>'nin Kübik Fd-3m Tipi Yapısı İçin Hesaplanan Bulk Modülü (B), Shear Modülü (G), B/G Oranı, Young Modülü (E) ve Poisson Oranı (ν) Değerleri

Yapı	B (GPa)	G (GPa)	B/G	E (GPa)	ν
Fd-3m	202.27	87.01	2.33	228.30	0.312

Malzemenin kırılabilirliği ve sünekliği hakkında bilgi elde etmek için HoIr<sub>2</sub>'nin kübik Fd-3m tipi yapısı için Bulk modülü (B) ve Shear modülü (G) hesaplandı. B/G oranı 1,75'ten büyükse malzeme sünek, aksi takdirde malzeme kırılmandır. Bu oran Pugh tarafından tanımlanmış ve sınır değeri 1,75 olarak alınmıştır (Pugh, 1954). Tablo 3'deki verilere baktığımızda, HoIr<sub>2</sub>'nin kübik Fd-3m tipi yapısı için B/G oranı 1,75'ten büyüktür. Bu nedenle, malzeme bu fazda sünek özelliğe sahiptir. Ayrıca HoIr<sub>2</sub>'nin kübik Fd-3m tipi yapısı için Poisson oranı (ν) da Eşitlik 3 kullanılarak hesaplandı (Nong et al., 2013).

$$\nu = [(3B - E)/6B] \quad (3)$$

Poisson oranı ne kadar yüksekse, malzemelerin plastisite özelliği de o kadar yüksektir. Poisson oranı, kovalent malzemeler için 0,1 civarı ve iyonik malzemeler için 0,25 civarındadır (Pfrommer, Côté, Louie, & Cohen, 1997). HoIr<sub>2</sub>'nin kübik Fd-3m tipi yapısı için hesaplanan Poisson değeri 0,312 dir. Bu değer 0,25 değerine daha yakındır. Bu nedenle, HoIr<sub>2</sub>'nin kübik Fd-3m tipi yapısında atomlar birbirine iyonik bağ ile bağlanmaktadır.

Son parametre olan Young Modülü (E), malzemenin sertliğine karşılık gelir. Bulk Modülü ve Poisson oranının hesaplanan değerlerinden, malzemeye



çekme veya sıkıştırma kuvveti uygulandığında oluşan gerilim/uzama oranı Young Modülü olarak tanımlanır.

## SONUÇ

Bu çalışmada, HoIr<sub>2</sub>'nin kübik Fd-3m tipi (C15) yapısının yapısal, elektronik ve elastik özellikleri yoğunluk fonksiyonel teorisi kullanılarak incelenmiştir. HoIr<sub>2</sub>'nin C15 tipi yapısı için örgü sabiti değeri  $a_0 = 7.560 \text{ Å}$  olarak hesaplanmış ve diğer sonuçlarla iyi uyum halinde olduğu görülmüştür. Ayrıca C15 tipi yapı için elektronik bant yapısı ve durum yoğunluğu eğrileri hesaplanmış ve bu yapının metalik karaktere sahip olduğu görülmüştür. Öte yandan C15 tipi yapı için elastik sabiti hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen verilerden Fd-3m fazına sahip HoIr<sub>2</sub>'nin mekanik olarak kararlı olduğu sonucuna varılmıştır. Elastik sabiti değerlerinden Bulk, Young ve Shear modülü ile Poisson oranı için değerler de hesaplandı. Malzemenin sertliği hakkında bilgi veren Bulk modülü ve Shear modülü hesaplamalarına göre malzemenin sünek olduğu ve Poisson oranına göre de HoIr<sub>2</sub>'yi oluşturan atomların birbirine iyonik bağ ile bağlandıkları görülmüştür.

## KAYNAKÇA

- Arıkan, N., İyigör, A., Candan, A., Uğur, Ş., Charifi, Z., Baaziz, H., & Uğur, G. (2013). Structural, elastic, electronic and phonon properties of scandium-based compounds  $\text{ScX}_3$  ( $X = \text{Ir, Pd, Pt}$  and  $\text{Rh}$ ): An ab initio study. *Computational materials science*, 79, 703-709.
- Baroni, S., Giannozzi, P., & Testa, A. (1987). Green's-function approach to linear response in solids. *Physical review letters*, 58(18), 1861.
- Benabadji, M., & Faraoun, H. (2013). *First-principles study of structural and electronic properties of Laves phases structures  $\text{YM}_2$  ( $M = \text{Cu}$  and  $\text{Zn}$ )*. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
- Charifi, Z., Reshak, A. H., & Baaziz, H. (2008). Electronic band structures of  $\text{AV}_2$  ( $A = \text{Ta, Ti, Hf}$  and  $\text{Nb}$ ) Laves phase compounds. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 21(2), 025502.
- Friauf, J. B. (1927a). The crystal structure of magnesium di-zincide. *Physical Review*, 29(1), 34.
- Friauf, J. B. (1927b). The crystal structures of two intermetallic compounds. *Journal of the American Chemical Society*, 49(12), 3107-3114.
- Klein, B., Pickett, W., Papaconstantopoulos, D., & Boyer, L. (1983). Electronic structure, superconductivity, and magnetism in the C 15 compounds  $\text{Zr V}_2$ ,  $\text{Zr Fe}_2$ , and  $\text{Zr Co}_2$ . *Physical Review B*, 27(11), 6721.
- Levinson, M., Zahradnik, C., Bergh, R., MacVicar, M., & Bostock, J. (1978). Electronic Properties and the Lattice Instability of Laves-Phase  $\text{Zr V}_2$ . *Physical Review Letters*, 41(13), 899.
- Lishi, M., Yonghua, D., & Runyue, L. (2017). Structural, elastic and electronic properties of C14-type  $\text{Al}_2\text{M}$  ( $M = \text{Mg, Ca, Sr}$  and  $\text{Ba}$ ) Laves phases. *Physica B: Condensed Matter*, 507, 147-155.
- Liu, Y., Hu, W.-C., Li, D.-j., Zeng, X.-Q., Xu, C.-S., & Yang, X.-J. (2012). First-principles investigation of structural and electronic properties of  $\text{MgCu}_2$  Laves phase under pressure. *Intermetallics*, 31, 257-263.
- Methfessel, M., & Paxton, A. (1989). High-precision sampling for Brillouin-zone integration in metals. *Physical Review B*, 40(6), 3616.
- Nie, X.-w., Du, Y., & Xu, H.-h. (2010). First-principles studies on structural and electronic properties of  $\text{TaCr}_2$  Laves phase. *Physica B: Condensed Matter*, 405(20), 4279-4282.

- Nong, Z.-S., Zhu, J.-C., Cao, Y., Yang, X.-W., Lai, Z.-H., & Liu, Y. (2013). A first-principles study on the structural, elastic and electronic properties of the C14 Laves phase compounds  $TiX_2$  ( $X= Cr, Mn, Fe$ ). *Physica B: Condensed Matter*, 419, 11-18.
- Okaniwa, H., Shindo, D., Yoshida, M., & Takasugi, T. (1999). Determination of site occupancy of additives X ( $X= V, Mo, W$  and  $Ti$ ) in the Nb–Cr–X Laves phase by ALCHEMI. *Acta materialia*, 47(6), 1987-1992.
- Ormeci, A., Chu, F., Wills, J. M., Mitchell, T., Albers, R., Thoma, D., & Chen, S. (1996). Total-energy study of electronic structure and mechanical behavior of C15 Laves phase compounds: NbCr<sub>2</sub> and HfV<sub>2</sub>. *Physical Review B*, 54(18), 12753.
- Perdew, J. P., Burke, K., & Ernzerhof, M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. *Physical review letters*, 77(18), 3865.
- Pfrommer, B. G., Côté, M., Louie, S. G., & Cohen, M. L. (1997). Relaxation of crystals with the quasi-Newton method. *Journal of Computational Physics*, 131(1), 233-240.
- Pugh, S. (1954). XCII. Relations between the elastic moduli and the plastic properties of polycrystalline pure metals. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 45(367), 823-843.
- Surucu, G., Gencer, A., Candan, A., Gullu, H. H., & Isik, M. (2020). CaXH<sub>3</sub> ( $X= Mn, Fe, Co$ ) perovskite-type hydrides for hydrogen storage applications. *International Journal of Energy Research*, 44(3), 2345-2354.
- Thoma, D., Chu, F., Peralta, P., Kotula, P., Chen, K., & Mitchell, T. (1997). Elastic and mechanical properties of Nb (Cr, V)<sub>2</sub> C15 Laves phases. *Materials Science and Engineering: A*, 239, 251-259.
- Von Keitz, A., & Sauthoff, G. (2002). Laves phases for high temperatures—Part II: Stability and mechanical properties. *Intermetallics*, 10(5), 497-510.
- Yakoubi, A., Baraka, O., & Bouhafs, B. (2012). Structural and electronic properties of the Laves phase based on rare earth type BaM<sub>2</sub> ( $M= Rh, Pd, Pt$ ). *Results in Physics*, 2, 58-65.
- Zhang, X., Chen, L., Ma, M., Zhu, Y., Zhang, S., & Liu, R. (2011). Structural, elastic, and thermal properties of Laves phase ZrV<sub>2</sub> under pressure. *Journal of Applied Physics*, 109(11), 113523.



“

## Bölüm 3

### İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ MEVZUATINDA RADYASYON GÜVENLİĞİ

*Ayşe ÇÖMÜ<sup>1</sup>, Emel ECE<sup>2</sup>*

”

1 YL.Öğr., ORCID NO: 0000-0003-1334-1683. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik, Konya/Türkiye, aysecomu@gmail.com

2 Arş. Gör. Dr., ORCID NO: 0000-0002-5954-3689. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Fizik, Karaman/Türkiye, ecetinkaya@kmu.edu.tr

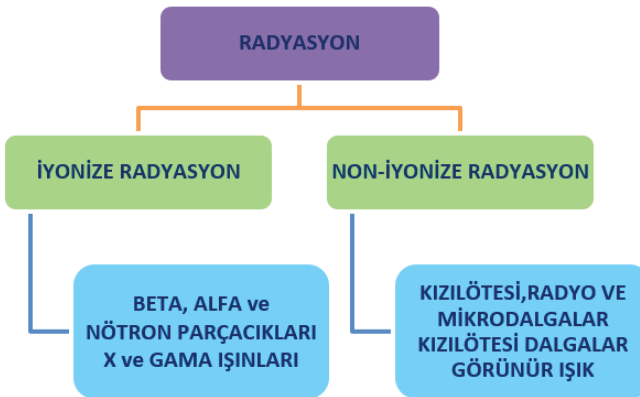
## 1. Giriş

Radyasyon ve radyoaktivite kavramları, Nobel ödülü getiren keşfedilişlerinden bu yana bilim dünyasında hiç ivme kaybetmeden popülerliklerini sürdürmektedir. İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon gıda sanayi, sağlık sektörü, savunma sanayi gibi hayatımızın pek çok alanında kullanılmaktadır. Günümüzde radyasyon kullanımı ilerleyen teknolojinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Radyasyon, getirdiği pek çok avantajın yanı sıra canlı sağlığı üzerinde çeşitli düzeylerde olumsuz etkilere sahiptir. Bu sebeple radyasyon kullanımı, tüm dünyada ilgili otoritelerce kanun ve yönetmeliklerle düzenlenmiştir. Bu düzenlemelerde ortak bir çatı olmakla beraber her ülke kendi kanun ve yönetmeliklerini belirlemiştir.

Bu çalışmada Kasım 2022 tarihi itibarıyla, yürürlükte bulunan 4857 iş kanunu ve 6331 iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kanunlarıyla radyasyon güvenliği tüzüğü ve yönetmeliği, dokümanların analiz edilmesi suretiyle incelenmiştir. İlgili dokümanların incelenmesi sonucunda Türkiye’de radyasyon güvenliği konusu iş sağlığı ve güvenliği mevzuatında bulunan tüm yönleriyle ortaya konmuştur.

## 2. Radyasyon: Keşfi ve Türleri

1895’de Wilhelm Conrad Röntgen’in X-ışını keşfinden sonra, 1896’da H.Becquerel’in radyo-aktiviteyi keşfetmesi ve 1902’de Curie ailesinin Radyomu keşfetmesiyle hızlı bir şekilde radyasyon kaynakları tıptan tarıma hayatın ve teknolojinin pek çok alanında kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 1. Radyasyon türleri

Radyasyon, genel olarak enerjinin parçacık veya dalga hallerine yayınlanması olarak tanımlanabilir ve iyonize ve iyonize olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır.

İyonize radyasyon, karşısına çıkan atomdan elektron kopararak iyonizasyona sebep olur. İki tip iyonize radyasyon vardır, bunlar dalga ve paracak tipleridir.



Şekil 2. Radyasyon kaynakları

### 3. Radyasyonun Uygulama Alanları

#### Endüstriyel uygulamalar

- Radyografi / Radyoskopi Cihazları
- Işınlama Sistemleri
- Eğitim-Araştırma ve Analiz Cihazları
- Yoğunluk ve Nem Olm Cihazları
- İşleme (Kalınlık ve Ağırlık gibi) Kontrol Cihazları
- Paratonerler, Duman Dedektörleri ve Tüketiciler rnleri

#### Tıbbi uygulamalar

- Teşhis amaçlı
- Radyoloji Bölümleri
- Nükleer Tıp Laboratuvarları
- PET laboratuvarları
- Tedaviye yönelik
- Radyasyon Onkoloji Bölümleri

Bilimsel/teknolojik araştırmalar ve eğitim

• DNA araştırmaları

- Tarım alanında araştırma ve geliştirme alışmaları
- Akarsu debi belirlenmesi
- Baraj su kaçağı belirlenmesi
- Yeraltı suları hareketliliğinin takibi
- Petrol aramalarında nem ve yoğunluk ölçümünde

Gıda, hayvancılık ve tarım alanlarında uygulamalar

- Gıda hammadde ve son üründe bozulmayı kontrol etmek
- Besin değerinin kaybının önlenmesi
- Filizlenme ve olgunlaşmayı geciktirmek
- Bitki ıslahı

Savunma Sanayi uygulamaları (TAEK, 2016)

#### **4. Radyasyon Uygulamalarında Yaygın Olarak Kullanılan Radyasyon Kaynaklarının Türleri**

Tıbbi radyasyon uygulamaları

- Radyoloji uygulamaları; anjiyo, tomografi uygulamaları, kemik yoğunluk ölçümü gibi
- Diş hekimliği uygulamaları; periapikal (sabit/mobil), panoramik, diş tomografi cihazları
- Radyoterapi uygulamaları; lineer hızlandırıcı, brakiterapi, siber bıçağı, gama knife, MRLineer hızlandırıcı, Co-60 teleterapi
- Tek Foton Emisyon Tomografisi/Bilgisayarlı Tomografi, Pozitron Emisyon Tomografisi, radyoizotop kullanılan yataklı tedavi üniteleri, RIA laboratuvarları, radyoizotop üretim ve eğitim/araştırma amaçlı hızlandırıcı tesisleri, radyofarmasötik, radyoizotop jeneratörü üretimi/hazırlama ve kalibrasyon kaynağı hazırlama tesisleri

Endüstriyel radyasyon uygulamaları

- Endüstriyel radyografi uygulamaları; X-ışını radyografi, X-ışını radyoskopi, gamagrafi cihazları
- Nükleer ölçüm uygulamaları; X-ışını ve radyoaktif kaynaklı analiz, X-ışını ve radyoaktif kaynaklı proses kontrol ve ölçüm cihazları ile taşınabilir yoğunluk ve nem ölçüm cihazları



- Işınlama sistemleri; gama ışınlama ve elektron demeti ışınlama tesisleri, kan ışınlama ve ışınlama cihazları

Güvenlik amaçlı radyasyon uygulamaları

- Güvenlik uygulamaları; paket/bagaj kontrol cihazları, araç/konteyner tarama cihazları, patlayıcı-kaçak madde tespit cihazları

Araştırma ve eğitim amaçlı radyasyon uygulamaları

- Araştırma ve eğitim uygulamaları; analiz, araştırma, geliştirme, eğitim, ışınlama, test, kalibrasyon gibi amaçlarla kullanılan açık veya kapalı kaynaklar (NDK, 2022)

## 5. Türkiye'deki Radyasyon Kaynakları

2021 yılsonu itibariyle Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK)'nun yayınladığı rapora göre;

18139 tane tıbbi ve 18908 tane dış hekimliği uygulamalarında yer alan radyoloji cihazlarıyla 377 tane radyoterapi sistemleri mevcuttur. Zırhlanmamış kaynak kullanılan nükleer tıp uygulama merkezlerinde 602 tane cihaz ve yataklı tedavi uygulanan toplam 80 ünite, radyofarmasötik üretimi yapan 10 adet radyoizotop üretim ve eğitim/araştırma amaçlı hızlandırıcı tesisi, 6 adet radyofarmasötik, radyoizotop jeneratörü üretimi/hazırlama ve kalibrasyon kaynağı hazırlama tesisi, I-125 ile radyoimmünoassay (RIA) çalışması yapan 43 laboratuvar, 52 adet kan ışınlama cihazı bulunmaktadır. Toplam 777 tane endüstriyel radyografik ve radyoskopik cihaz, 4493 tane sabit nükleer ölçüm cihazı, 290 tane taşınabilir densitometre ve nem tayin cihazı ile kuyu tipi (sondaj) ölçümü uygulamalarında kullanılan 111 adet radyoaktif kaynak ve/veya radyoaktif kaynak içeren cihaz bulunmaktadır. Gıda ürünleri ve tıbbi malzemelerin radyosterilizasyonu için ışınlama amacıyla çalışmakta olan 5 adet ışınlama tesisi bulunmaktadır. TLD/OSL dozimetrelerin ölçümü ve dozimetrik malzeme ışınlaması amacıyla 25 tane ışınlama cihazı mevcuttur. Güvenlik amacıyla kullanılan paket/bagaj kontrol, patlayıcı/kaçak madde tespit ve araç/konteyner tarama olmak üzere toplam 6750 adet cihaz bulunmaktadır. Araştırma ve eğitim uygulamalarında çeşitli laboratuvarlarda kullanılan 2484 adet kapalı ve açık kaynak bulunmaktadır. 2021 yılsonu itibariyle radyasyon kaynaklarının bakım, onarım ve imalatı için 26 tane, radyoaktif maddelerin ithalat, ihracat ve taşınması için 62 adet yetkilendirilmiş kuruluş mevcuttur. 2021 yılında lisanslamaya yönelik 11654 adet işlem gerçekleştirilmiş, toplam 5039 kuruluş için 7966 radyasyon kaynağını kapsayan yerinde inceleme ve güvenlik denetimi faaliyetleri yürütülmüştür (NDK, 2022).

## 6. Radyasyonun Etkileri

İyonlaştırıcı radyasyonun zararlı biyolojik etkilerinin tespit edilebilmesi için maruz kalınan radyasyon miktarının bilinmesi gerekir. İlgili terimler, Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi tarafından tanımlanmış, daha sonra tüm dünyada bunların yerine Tablo1’de verilen SI Uluslararası Birim Sistemindeki birimler kullanılmaya başlanmıştır (Ece, 2022).

**Tablo1. Radyasyon Birimleri**

Terim	SI Birimi	
<b>Aktivite</b>	<b>Becquerel (Bq);</b>	Saniyede 1 parçalanma gösteren bir maddenin aktivitesidir.
<b>Işınlanma Düzeyi</b>	<b>Coulomb/kilogram (C/kg)</b>	1 kilogramlık havada 1 coulomb elektrik yükü değerinde iyon oluşturan X / gama ışın miktarını ifade eder.
<b>Soğurulmuş Doz</b>	<b>Gray (Gy)</b>	1 kilogramlık maddeye 1 joulelik enerjiyi aktaran radyasyonun miktarını ifade eder.
<b>Doz Eşdeğeri (canlı doku için)</b>	<b>Sievert (Sv)</b>	Canlı dokuda, 1 graylık gama / X ışınının oluşturacağı etkiye eş biyolojik etkiyi oluşturan radyasyon miktarıdır.

**Kaynak:** <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-olcum-birimleri-ve-donusumleri>, E.T:12.10.2022

Radyasyon, türü ve enerjisine göre ayrıca soğurulan doza, maruz kalınan süreye ve hedef dokuya bağlı olarak direkt veya indirekt olarak çeşitli biyolojik hasarlar oluşturabilir.

➤ **Direkt etki:** Doğrudan DNA’nın uygulanan radyasyon enerjisini emmesiyle oluşur. Bu durumda DNA’da oluşan hasar sebebiyle kalıtsal değişiklikler meydana gelir.

➤ **İndirekt etki:** Canlının içinde bulunduğu ortamdaki moleküllerin radyasyon enerjisinin absorbe etmesiyle meydana gelir.

Radyasyonun direkt veya indirekt etkisi sonucunda deterministik ya da sitokastik etkiler meydana gelebilir.

➤ **Deterministik etkiler:** Etkinin oluşabilmesi belirli bir eşik doz değerinin aşılmasını gerektirir ve etkinin boyutu doz şiddeti ile doğru orantılıdır. Cilt yanığı, katarakt ve kısırılık en yaygın deterministik etkilerdendir

➤ **Sitokastik etkiler:** Etkinin oluşabilmesi belirli bir eşik doz değerinin aşılmasını gerektirmez ancak düşük dozlara uzun süre maruz kalınmasıyla oluşabilir. Doza bağlılık olmasa da dozdaki artış eki olasılığını

arttırır. En yaygın sitokastik etkiler karsinojen etkilerdir. (Gökharman ve ark., 2016).

Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğindeki madde 15'te radyasyon alanları tanımlanmış ve radyasyon düzeylerine göre Şekil 3'teki gibi sınıflandırılmıştır.



Şekil 3. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği Madde 15'e göre radyasyon alanlarının radyasyon düzeylerine göre sınıflandırılması.

## 7. Radyasyondan Korunma Yasaları

Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği Madde 7'e göre, radyasyondan korunmanın amacı, radyasyona maruz kalınmasını gerektiren faaliyetlerde ışınlanma sonucunda oluşabilecek tahrip edici etkilerden kişilerin korunmasıdır. Bu amaçla Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonunun (ICRP) önerdiği üç temel ilke dikkate alınmalıdır. Bunlar;

### i. Gerekçeleştirme

Radyasyonun etkileri dikkate alınarak kar-zarar ilişkisi tartışılmalı ve sonuçta net yarar sağlamayan herhangi bir radyasyon uygulamasına müsaade edilmemelidir.

### ii. Optimizasyon

Elde edilecek faydaya ulaşmak için mümkün olan en az doz miktarının alınması sağlanmalıdır.

### iii. Doz Sınırlandırması

Bireyin maruz kaldığı doz eşdeğer miktarı belli bir limit sınırını geçmemelidir (Yaren, 2005). Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği Madde 10'a göre, yıllık doz limitleri sağlığı tehlikeye sokma-yacak ve uluslararası standartlara uyacak şekilde belirlenmiştir.

**Tablo 2.** Müsaade edilen maksimum doz değerleri tablosu (AFAD, 2022)

Doz Sınırlamaları (mSv)		
Etkin Doz	Radyasyon görevlileri	Halk
Tüm vücut (Yıllık)	50	1
Tüm vücut (5 yılın ortalaması)	20	1 5 (özel durum)
Göz merceği (Yıllık)	20 (5 yılın ortalaması) maksimum 50	15
El, ayak ve tüm cilt (Yıllık)	500	50
Müsaade edilen maksimum doz değerleri tablosu <a href="https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyondan-korunmada-temel-prensipler">https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyondan-korunmada-temel-prensipler</a>		

## 8. Dış Radyasyondan Korunma

Dış ışınlamadan korunmada mesafe, zırhlama ve zaman temel prensiplerdir.

**1. Zaman:** Radyasyona maruz kalma süresi ile alınan doz doğru orantılıdır.

$$Doz_{Alınan} = Doz\ hızı \times Süre$$

**2. Mesafe:** Radyasyon kaynağı ile kişi arasındaki mesafenin karesi ile maruziyet dozu ters orantılıdır. Bu prensip ‘Ters-Kare Kanunu’ olarak bilinir. (I:doz hızı, d:mesafe)

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

**3. Zırhlama:** Radyasyonun çevreye yayılmasını engellemek ve/veya şiddetini azaltmak üzere radyasyon kaynağının önüne konulan ya da kaynağın etrafını çeviren malzemelere zırh denmektedir. Böylece zırhlama işlemi ile alınan doz en aza indirilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus zırhlama gereksinimlerinin radyasyon türüne göre farklılık göstermesidir. Örneğin ince bir kâğıt parçası ile alfa kaynağı zırhlanabiliyorken, beta radyasyonu alüminyum, X-ışınları ve gama gibi giriciliği yüksek radyasyon türleri için ise kurşun tabaka ve nötronlar için de beton kullanılmaktadır.

## 9. Radyasyondan Korunmaya İlişkin Uluslararası Kuruluşlar

**Tablo 3. İSG ile İlgili Uluslararası Kuruluşlar (Aydın,2018)**

<b>Kuruluş Amacı / Faaliyeti</b>
<b>ICRP – 1928-</b> Uluslararası Radyolojik Korunma Komitesi- ( <a href="http://www.icrp.org">www.icrp.org</a> ) Özellikle iyonlaştırıcı radyasyona karşı korunum hakkında tavsiyeler ve rehberlik sağlayarak, maruziyet durumundaki olumsuz etkileri önleme ve çevreyi koruma gayesi ile çalışmalar yürütmektedir. Bugün tüm dünyada kullanılmakta olan radyasyon ölçütleri bu komite tarafından verilen tavsiyelere dayanmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü, Gıda Tarım Örgütü, Uluslararası Çalışma Örgütü, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu gibi kuruluşlarla birlikte faaliyetlerini devam ettirmektedir.
<b>UNSCEAR – 1955-</b> Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi ( <a href="http://www.unscear.org">www.unscear.org</a> ) İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmanın etkilerini bilimsel bulgular ışığında değerlendirmek ve tüm dünyada insanların radyasyon maruziyetleri ile ilgili rapor hazırlamakla sorumlu uluslararası bir kurumdur.
<b>IAEA – 1957-</b> Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı- ( <a href="http://www.iaea.org">www.iaea.org</a> ) Ajans nükleer alanda uluslararası iş birliği sağlamak için, güvenlik standartlarını hazırlamaktır. Bu amaçla radyasyonun çeşitli alanlarda kullanımı, üretimi ve taşınması gibi süreçler ile ilgili güvenlik standartlarını belirleyerek, uluslararası barış ve güvenliğe katkıda bulunarak nükleer bilim ve teknolojinin barışçıl amaçlar bağlamında kullanımını desteklemektedir.
<b>EURATOM – 1958-</b> Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu- ( <a href="http://www.ec.europa.eu">www.ec.europa.eu</a> ) Topluluğun amacı, radyoaktif madde kullanılan bütün alanlarda düzenleyici kısıtlamalar getirmek, üye ülkelerin araştırma programlarını koordine etmek ve dolayısıyla toplumu ve çalışma alanlarını radyasyondan korumaktır.

## 10. Radyasyondan Korunmayla İlgili Ulusal Kuruluşlar ile Yasal Düzenlemeler

Ülkemizde, nükleer alanındaki çalışmalar 1956 yılında Atom Enerjisi Komisyonu (AEK) Genel Sekreterliğinin kurulmasıyla başlamıştır.

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının 1957’de kurulması ile Türkiye, IAEA’nın tüzüğünü onaylayarak üye olmuştur. 06.01.1962’de Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi TR-1 reaktörünün açılışıyla, 27.05.1962’de resmi olarak kuruluşu tamamlanmıştır. Bunu takiben 1967’de Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi kurulmuş, 1982’de 2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun Muafiyetleri ve Bazı Düzenlemeler Yapılması Hakkında Kanun ile Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) olarak yeniden adlandırılmıştır (Vikipedi, ‘Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu’, Erişim Tarihi: 20.11.2022).

6821 sayılı Atom Enerjisi Komisyonu Kurulması Hakkında Kanuna dayalı olarak 1967’de “Radyasyon Sağlığı Tüzüğü” yayınlanmış ve bunu takiben “Radyasyon Sağlığı Yönetmeliği” 1968’de yayınlanmıştır. Bu yönetmelik ile radyasyon içeren faaliyetlerin yapıldığı kurumlara ruhsat verme ve iptal etme yetkisi AEK’e verilmiştir (Aydın,2018).

Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK), 2018’de, 702 sayılı Nükleer Düzenleme Kurumunun Teşkilat ve Görevleri ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun Hükmünde Kararname ile kurulmuştur. Bu kurum Türkiye’deki nükleer enerji tesis ve faaliyetlerini denetlemek ve düzenlemekle görevlidir. 28.03.2020 tarihli ve 57 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile TAEK, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü ve Nadir Toprak Elementler Araştırma Enstitüsü, TENMAK çatısı altında bir araya getirilmiştir (Vikipedi, ‘TENMAK’, Erişim Tarihi: 20.11.2022).

## **11. İSG ile İlgili Uluslararası Kuruluşlar**

### **11.1. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO)**

1919’da kurulan örgüt aşağıdaki amaçlara yönelik çalışmalar yapmaktadır.

- i. Çalışma hayatında çalışma haklarının korunması, standartların oluşturulması, temel ilke ve hakların yaygınlaştırılıp hayata geçirilmesi,
- ii. Kadın ve erkek her çalışan için fırsat eşitliği ve uygun kazançlar elde edilebilmesi için gerekli koşulların sağlanması ve artırılması,
- iii. Her bireyin sosyal korumanın kapsamına girmesi ve sosyal koruma müessiriyetinin artırılması,
- iv. İşçi ve işveren örgütleri ile devletlerin ilgili organları arasındaki üçlü yapı ile sosyal ilişkilerin desteklenmesi (Aydın,2018).

### **11.2. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)**

1945 yılından bu yana faaliyetlerini sürdüren örgüt; sağlık alanında bilgi sağlamak, liderlik yapmak ve ortak eylemlerin gerekli olduğu durumlarda iş birliği sağlamaktadır. Çeviri dâhil olmak üzere önemli bilgilerin yayılmasını ve çoğaltılmasını teşvik etmekte, bu konuda norm ve standartların oluşturulmasını destekler ve bunların icra edilmesini izlemektedir. Genel olarak Dünya Sağlık Örgütü amacına ulaşmak için sağlık durumu izleme ve sağlık eğilimlerini belirlemek için faaliyetlerini yürütmektedir (Aydın,2018).

### **11.3. Avrupa Birliği- İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (EU-OSHA)- 1994**

Risk önleme olgusunu ve kültürünü geliştirmek için işyerlerinin sağlık, güvenlik ve üretkenlik bakımından daha ileri hale getirmek amacıyla devletler, çalışanlar ve işletmeler ile iş birliği içinde çalışmalarını yürütmektedir (Aydın,2018).

## 11.4. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)

Bu program 5 Haziran 1972’de Birleşmiş Milletler alt kuruluşu olarak faaliyetlerine başlamıştır. Evrensel, bölgesel ve ulusal çevre koşullarının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yürütmektedir. Milletlerarası ve ulusal çevre araçlarının geliştirilmesine ve çevrenin bilgi yönetimine ilişkin kurum ve kuruluşların güçlendirilmesi hedeflerine yönelik çalışmalar yürütmektedir (Aydın,2018).

## 12. Radyasyondan Korunmaya İlişkin Ulusal Yasal Düzenlemeler

**Tablo 4.** *Radyasyondan Korunmayla İlgili Türkiye’deki Yasal Düzenlemeler*

Yönetmelik / Kanun Adı	Resmî Gazete	Konu / Amaç
2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu	13.07.1982 17753	Atom enerjisinin Türkiye’nin lehine olacak şekilde barışçıl amaçlarla kullanılmasını, politikaların düzenlenmesini, denetim ve koordinasyonun sağlanmasını kapsamaktadır.
Radyoloji, Radyom ve Elektrikle Tedavi ve Diğer Fizyoterapi Müesseseleri Hakkında Kanun	28.04.1937 3591	Radyasyonun teşhis ve tedavi amacıyla kullanılmasına yönelik kurum açma izinlerini konu alır.
TAEK Nükleer Araştırma, Eğitim Merkezleri Kuruluş ve Çalışma Yönetmeliği	07.06.2003 25131	Nükleer araştırma ve eğitim merkezlerinin kurulması ve çalışma esaslarını düzenlemektedir.
Radyasyon Güvenliği Tüzüğü	07.09.1985 18861	İyonize radyasyon kaynaklarının kullanımı, imalatı, ithalatı ve ihraç edilmesi ile ilgili kurum ve kuruluşların uyması gereken kuralları gösterir.
Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği	24.03.2000 29.09.2004 03.06.2010 27600	İyonize radyasyon maruziyet tehlikelerinden insanı ve çevreyi korumayı hedefler.
Ulusal Radyasyon İzleme ve Radyasyon Kontrolü Hakkında Yönetmelik	12.08.2022 31921	İyonize radyasyona yönelik izleme ve kontrol faaliyetlerinin yürütülmesine ilişkin usul ve esasları, kurum ve kuruluşların görev ve sorumluluklarını belirlemektedir.
Radyasyon Acil Durumlarının Yönetimine Dair Yönetmelik	18.06.2020 31159	Nükleer acil durumların yönetilmesi hususunda uyulması gereken usul ve esaslar ile yetkilendirilen kişilerin görev ve sorumluluklarını belirlemektedir.
Nükleer Tesislerde Radyasyondan Korunma Yönetmeliği	29.05.2018 30435	Nükleer tesislerde iyonize radyasyondan korunma ilkelerini düzenlemektedir.
Radyasyon Tesislerine ve Radyasyon Uygulamalarına İlişkin Yetkilendirmeler Yönetmeliği	17.12.2020 31337	Radyasyon tesislerindeki radyasyon uygulamalarına ilişkin uyulması gereken usul ve esasları düzenlemektedir.
Nükleer Enerji ve İyonlaştırıcı Radyasyona İlişkin Denetimler Yönetmeliği	05.03.2021 31414	Nükleer enerji ve iyonlaştırıcı radyasyona dair denetimlerin düzenlenmesine yönelik usul ve esasları kapsamaktadır.

Nükleer Tesisler, Radyasyon Tesisleri ve Radyoaktif Atık Tesislerinde Yönetim Sistemi Yönetmeliği	27.04.2022 31822	Nükleer tesisler, radyasyon tesisleri ve radyoaktif atık tesislerinde yönetim sistemine ilişkin hususları düzenlemektedir.
Kontrollü Alanlarda Çalışan Harici Görevlilerin İyonlaştırıcı Radyasyondan Kaynaklanabilecek Risklere Karşı Korunmasına Dair Yönetmelik	18.06.2011 27968	Kontrollü alanlarda çalışan harici görevlilerin iyonlaştırıcı radyasyondan kaynaklanabilecek risklere karşı korunmasını ve güvenliğini sağlamak için çalışma koşullarını belirlemektedir.
İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik	24.07.2010 27651	İyonize olmayan radyasyonun olumsuz etkilerinden çevre ve halkın sağlığının korunmasına yönelik alınması gereken tedbirlere belirlemektedir.
İyonlaştırıcı Radyasyon ve Radyonüklit Kullanılarak Sunulan Sağlık Hizmetleri Hakkında Yönetmelik	26.04.2022 31821	İyonize radyasyon ve radyonüklit kullanılarak sunulan sağlık hizmetleri hakkındaki usul ve esasları belirlemekte ve çalışanların sağlık izinlerini düzenlemektedir.
Radyoaktif Kirliliğe Maruz Kalmış Alanların Çevresel İyileştirme Faaliyetlerinin Yetkilendirilmesine İlişkin Yönetmelik	13.08.2022 31922	Radyoaktif kirliliğe uğramış alanlarda çevreyi yeniden iyileştirmek için yürütülecek faaliyetlerinin yetkilendirilmesine dair usul ve esasları belirlemektedir.
Radyoaktif Atık Tesislerine İlişkin Yetkilendirmeler ve Güvenlik İlkeleri Yönetmeliği	07.07.2022 31889	Radyoaktif atık tesislerine ilişkin yetkilendirmeler ile güvenlik ilkeleri ve uyulması gereken usul ve esasları belirlemektedir.
Radyoaktif Maddenin Güvenli Taşınması Yönetmeliği	08.07.2005 25869	Radyoaktif maddelerin taşınması sırasında radyasyondan korunma ve güvenlik ilkelerini kapsamaktadır.
Yüksek Aktiviteli Kapalı Radyoaktif Kaynakların ve Sahipsiz Kaynakların Kontrolü Yönetmeliği	21.03.2009 27176	Yüksek aktiviteye sahip kapalı radyoaktif kaynaklardan dolayı oluşabilecek zararlara karşı korunma ilkeleri ve sahipsiz kaynakların kontrolü için idari ve teknik düzenlemeleri kapsamaktadır.
Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği	09.03.2013 28582	Nükleer Enerji ve iyonlaştırıcı radyasyonun kullanılmasıyla oluşan radyoaktif atıkların güvenli bir biçimde yönetilmesini kapsamaktadır.

### 13. Sonuçlar ve Öneriler

657 sayılı Devlet Memurları (23.7.1965 – 12056) Kanununda; ‘Hizmetleri kapsamında radyonla çalışan personel için, her yıl, yıllık izinlerine ilave olarak bir aylık sağlık izni verilir.’ İyonlaştırıcı Radyasyon ve Radyonüklit Kullanılarak Sunulan Sağlık Hizmetleri Hakkında Yönetmelikte (26.4.2022 – 31821) ise ‘Sadece iyonlaştırıcı(iyonizan) radyasyon kaynakları ve radyonüklitlerin kullanıldığı denetimli alanlarda, çalışanlara yıllık izinlerine ilave olarak Tablo2’de belirtilen sürelerle sağlık izni verilir.’ denmektedir. Sözü geçen tabloya göre çalışma sürelerine göre belirlenen sağlık izin süreleri aşağıdaki gibidir:



<u>Çalışma süresi (Saat)</u>	<u>Sağlık İzin Süresi (Gün)</u>
0-50	1
51-100	2
101-150	3
151-200	4
201-250	5
251-300	6
301-350	7
351-400	8

Fakat bazı özel sektör ve kamu kurumlarında söz konusu çalışanlar sağlık izni kullanamamak-tadır veya kullandıklarında ek ödemeler kesintiye uğramaktadır. Radyasyon ile çalışanlarının çalıştıkları ortamların riskli olması göz önüne alınırsa bu izni kullanmaları gerekir. Bu sebeple bu iznin yıl içinde verilmeli ve kesinti olmaksızın kullanırılması ile ilgili hassasiyet gösterilmeli ve ücret kesintisi gibi olumsuz bir durumun olmaması için gerekli yeterli yasal düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Bu denetim ve izinlerin takibi Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı tarafından yapılmalıdır.

Radyasyon gıda sanayi, sağlık sektörü, savunma sanayi gibi hayatımızın pek çok alanında kullanılmaktadır. Getirdiği pek çok avantajın yanı sıra canlı sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bundan dolayı radyasyon kullanımı, tüm dünyada ilgili otoritelerce kanun ve yönetmeliklerle düzenlenmiştir. Bu düzenlemelerde ortak bir çatı olmakla beraber her ülke kendi kanun ve yönetmeliklerini belirlemiştir.

Bu çalışmada Kasım 2022 tarihi itibarıyla, yürürlükte bulunan 4857 sayılı iş kanunu ve 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunları ile Radyasyon Güvenliği Tüzüğü ve Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, İyonlaştırıcı Radyasyon ve Radyonüklit Kullanılarak Sunulan Sağlık Hizmetleri Hakkında Yönetmelik, doküman analiz metodu kullanılarak incelenmiştir. İlgili belgelerin incelenmesi sonucunda Türkiye’de İSG mevzuatında bulunan radyasyon güvenliği konusu tüm yönleriyle ortaya konmuştur.

İncelemeler sonucunda Türkiye’de mevzuatların dünyada ilgili otoritelerin önerdiği düzenlemelerle genel olarak uyumlu olduğu ancak denetim ve cezai yaptırım hususlarında yetkilendirilmiş makamlar arasında koordine edilme gerekliliği olduğu önerilmiştir. Yasaların açık bir dil kullanılıp ilgili tüm mevzuatın birbiri ile örtüşmesi gerekliliği görülmüştür.

Ayrıca, sağlık ve güven dolu bir çalışma ortamı oluşturmak için ve radyasyon ve radyonüklit kullanılan alanların kontrolü ve denetimleri TENMAK, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, T.C. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı gibi kamu kurumlarının senkronize çalışmalarıyla artırılmalı ve yapılacak denetimlerle olumsuzluklar tespit edildiğinde cezai yaptırımlar uygulanmalıdır. Böylece yapılan çalışmaların mevzuata aykırı olup olmadığı da kontrol altına alınarak daha sağlıklı ve güvenli çalışma ortamlarının oluşturulmasına katkı sağlanmış olur.

## KAYNAKLAR

- Dönmez, S. (2017). Radyasyon Tespiti ve Ölçümü. Nükleer Tıp Seminerleri, 3, 172-177.
- Hacıosmanoğlu, T. (2017). Doğal ve yapay radyasyon kaynakları, kişisel doza katkıları. Nucl. Med. Semin, (3), 166-171.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, *Radyasyon kaynakları ve kullanım alanları*, Erişim Tarihi: 10.11.2022, Erişim Adresi: <https://slideplayer.biz.tr/slide/11288458/>
- Ece, E., (2022). *İlaç potansiyeli olan bileşiklerin yapısal, paramanyetik ve dozimetrik özelliklerinin ESR tekniği ve DFT metodu ile incelenmesi*, Selçuk Üniv. Fen Bil.Ens., Konya.
- AFAD, Radyasyon ölçüm birimleri ve dönüşümleri. Erişim Adresi: <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-olcum-birimleri-ve-donusumleri>, Erişim Tarihi: 12.10.2022
- Gökharman, D. F., Aydın, S., Koşar, P. N. (2016). Radyasyon güvenliğinde mesleki olarak bilmemiz gerekenler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(2), 35-40.
- Radyasyon Sağlığı ve Güvenliği El Kitabı*, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Uygulama ve Araştırma Hastanesi, Erişim Adresi: [https://hastaneler.cumhuriyet.edu.tr/webdosya/84\\_radyasyon\\_sa\\_li\\_i\\_ve\\_g\\_venl\\_\\_\\_\\_\\_.pdf](https://hastaneler.cumhuriyet.edu.tr/webdosya/84_radyasyon_sa_li_i_ve_g_venl_____.pdf)
- Yaren, H., Karayılanoğlu, T. (2005). Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkileri. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 4(4), 199-208.
- AFAD, Radyasyondan korunmada temel prensipler. Erişim Adresi: <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyondan-korunmada-temel-prensipler>, Erişim Tarihi: 12.10.2022
- Aydın, E. (2018). *Radyoterapi ve nükleer tıp bölümleri için iş sağlığı ve güvenliği denetim kriterleri ve kontrol listesi oluşturulması*, İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vikipedi, Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu. Erişim Adresi: Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu - Vikipedi (wikipedia.org) Erişim Tarihi: 20.11.2022
- Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK), *Türkiye’de Radyasyon Kaynakları 202*, (2022), Erişim Adresi: <https://www.ndk.org.tr/haberler/turkiyede-radyasyon-kaynaklari-2021>

2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu, 13.07.1982, 17753, Erişim Adresi:

<https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2690.pdf>

Radyoloji, Radyom ve Elektrikle Tedavi Ve Diğer Fizyoterapi Müesseseleri Hakkında Kanun, 28.04.1937, 3591, Erişim Adresi:

<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.3.3153.pdf>

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Nükleer Araştırma, Eğitim Merkezleri Kuruluş ve Çalışma Yönetmeliği, 07.06.2003, 25131, Erişim Adresi:

<https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=5277&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeliği&mevzuatTertip=5>

Radyasyon Güvenliği Tüzüğü, 07.09.1985, 18861, Erişim Adresi:

<https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18861.pdf>

Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 24.03.2000, 29.09.2004, 03.06.2010, 27600, Erişim Adresi:

<https://www.mevzuat.gov.tr/File/eneratePdf?mevzuatNo=5272&mevzuatTur=-KurumVeKurulusYonetmeliği&mevzuatTertip=5>

Ulusal Radyasyon İzleme ve Radyasyon Kontrolü Hakkında Yönetmelik, 12.08.2022, 31921, Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/08/20220812-2.htm>

Radyasyon Acil Durumlarının Yönetimine Dair Yönetmelik, 18.06.2020, 31159, Erişim Adresi:

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/06/20200618-2.htm>

Nükleer Tesislerde Radyasyondan Korunma Yönetmeliği, 29.05.2018, 30435, Erişim Adresi:

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/05/20180529-17.htm>

Radyasyon Tesislerine ve Radyasyon Uygulamalarına İlişkin Yetkilendirmeler Yönetmeliği, 17.12.2020, 31337, Erişim Adresi:

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/12/20201217-6.htm>

Nükleer Enerji ve İyonlaştırıcı Radyasyona İlişkin Denetimler Yönetmeliği, 05.03.2021, 31414, Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/03/20210305-1.htm>

Nükleer Tesisler, Radyasyon Tesisleri Ve Radyoaktif Atık Tesislerinde Yönetim Sistemi Yönetmeliği, 27.04.2022, 31822, Erişim Adresi:

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/04/20220427-7.htm>

Kontrollü Alanlarda Çalışan Harici Görevlilerin İyonlaştırıcı Radyasyondan Kaynaklanabilecek Risklere Karşı Korunmasına Dair Yönetmelik, 18.06.2011, 27968, Erişim Adresi:

<https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=15061&mevzuat-Tur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5>

İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre Ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik, 24.07.2010, 27651, Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/07/20100724-3.htm>

İyonlaştırıcı Radyasyon ve Radyonüklit Kullanılarak Sunulan Sağlık Hizmetleri Hakkında Yönetmelik, 26.04.2022, 31821, Erişim Adresi:

<https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/21.5.5530.pdf>

Radyoaktif Kirliliğe Maruz Kalmış Alanların Çevresel İyileştirme Faaliyetlerinin Yetkilendirilmesine İlişkin Yönetmelik, 13.08.2022, 31922, Erişim Adresi:

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/08/20220813-16.htm>

Radyoaktif Atık Tesislerine İlişkin Yetkilendirmeler Ve Güvenlik İlkeleri Yönetmeliği, 07.07.2022, 31889, Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/07/20220707-11.htm>

Radyoaktif Maddenin Güvenli Taşınması Yönetmeliği, 08.07.2005, 25869, Erişim Adresi:

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/07/20050708-16.htm>

Yüksek Aktiviteli Kapalı Radyoaktif Kaynakların ve Sahipsiz Kaynakların Kontrolü Yönetmeliği, 21.03.2009, 27176, Erişim Adresi:

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/03/20090321-3.htm>

Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği, 09.03.2013, 28582, Erişim Adresi:

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/03/20130309-4.htm>



“

## Bölüm 4

**OPTOELEKTRONİK MALZEMELERİN  
HOMO-LUMO ENERJİ  
SEVİYELERİNİN TAYİNİNDE  
DİFERANSİYEL ANALİZ YÖNTEMİNİN  
KULLANIMI**

*Ahmet BATTAL<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr., Muş Alparslan Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Sınıf Eğitimi ABD, 49100, Muş, Türkiye. 0000-0003-0208-1564, a.battal@alparslan.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Optoelektronik malzemeler elektrik enerjisiyle ışığın elde edildiği organik ışık yayan diyot (OLED) teknolojilerinde (Altinolcek et al., 2020; Altinolcek et al., 2021; Bao, Zou, Kirk, & Heagy, 2017; Lade et al., 2021) veya ışıktan faydalanılarak elektrik enerjisinin elde edildiği organik güneş pillerinde (OPV) (Bertoluzzi, Badia-Bou, Fabregat-Santiago, Gimenez, & Bisquert, 2013; Ma, Yue, Wu, & Lan, 2015) temel aktif malzeme olarak kullanılmaktadır. Bu tür teknolojik cihazların üretiminde kullanılacak malzemelerin kolay elde edilebilir, ekonomik, dayanıklı, yüksek verimlilik gibi belli başlı özelliklere sahip olması beklenmektedir (Carter, Cho, Glanzer, Kamcev, & O'Carroll, 2016; Dias et al., 2022; Hu et al., 2022). Ayrıca bu tür teknolojilerde kullanılacak optoelektronik malzemelerin tüm özelliklerinin karakterize edilmesi kadar deneysel bulguların doğru ve hassas bir biçimde analiz edilmesi de gerekmektedir. Bu analizlerden birisi de hiç şüphesiz elektrokimyasal incelemelerdir (Elgrishi et al., 2018; Espinoza et al., 2019; Hörmann & Reuter, 2021). Bu yöntemle optoelektronik malzemelerin yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları, reaksiyon gerçekleşme potansiyelleri, yük transfer özellikleri ve HOMO/LUMO enerji seviyeleri gibi yararlı pek çok bilgiye ulaşılabilir (Elgrishi et al., 2018; Espinoza et al., 2019; Hörmann & Reuter, 2021). Dahası üretilen teknolojik cihazın mimari yapısı büyük ölçüde elektrokimyasal incelemenin sonuçlarına göre belirlenmektedir. Diğer taraftan OLED, OPV gibi teknolojilerde aktif bölgeye gelen ya da aktif bölgede üretilen akımın (serbest yük taşıyıcılarının) malzeme içerisinde transferi bu tür malzemelerin detaylı karakterizasyonunun yapılması elzemdir (Espinoza et al., 2019). Elektrokimyasal özelliklerin açığa çıkarılmasında kullanılan en yaygın yöntem ise siklik voltametri (CV) yöntemidir. CV yöntemiyle elde edilen bulgu ve tecrübeler sadece elektrokimya alanında değil diğer disiplinlerdeki (fizik, biyoloji, mühendislik vb.) araştırmalar için de faydalı ve kullanışlı bilgiler olmaya devam etmektedir (Arshad & Farooqi, 2018; Chen, Kätelhön, & Compton, 2022; Costentin, Savéant, & Tard, 2018; Derr, Tamayo, Espinoza, Clark, & Vullev, 2018; Elgrishi et al., 2018; Gupta et al., 2013; Hörmann & Reuter, 2021; Hwang & Yong, 2015; Lin, Lian, Berrueta, Liu, & van Roij, 2022; Rajendran, 2016; Tichter et al., 2019).

Optoelektronik malzemelerin elektrokimyasal özelliklerinin incelenmesi sonucunda elde edilecek bilgiler CV eğrisindeki (voltamogram) yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonlarının tersinir, yarı-tersinir veya tersinmez olarak gerçekleşip gerçekleşmediğine son derece bağlıdır. Tersinir veya yarı-tersinir olarak gerçekleşen yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonlarında, yükseltgenme ve indirgenme potansiyelleri yarı dalga potansiyelinden ( $E^{1/2}$ ) başarılı bir şekilde bulunur (Elgrishi et al., 2018; Espinoza et al., 2019). Yarı dalga potansiyeli anodik ve katodik olarak



oluşan piklere ait maksimum ve minimum değerlerin ortalamasıdır. Anodik ve katodik pikin aynı anda görüldüğü ve pik farkının yüksek olduğu tersinmez reaksiyonlarda da  $E^{1/2}$  potansiyeli kullanışlıdır.

Yalnızca anodik veya katodik pikin olduğu tersinmez reaksiyonlarda ise  $E^{1/2}$  değeri olmadığı için yükseltgenme ve indirgenme potansiyel değerlerini hesaplamada tercih edilen belli başlı potansiyel değerleri vardır. Bunlar çoğu araştırmada başlangıç potansiyeli ( $E^c$ ) denilen akımın ilk değer aldığı potansiyel değeri olurken (Elgrishi et al., 2018; Espinoza et al., 2019; Shah et al., 2016), bazı çalışmalarda ise anodik veya katodik pikin maksimum olduğu andaki pik potansiyel ( $E^p$ ) değeri olabilmektedir (Espinoza et al., 2019). Yine simetrik piklerin olduğu durumlarda ise yarı-pik potansiyeli ( $E^{p/2}$ ) kullanılmaktadır (Espinoza et al., 2019; Roth, Romero, & Nicewicz, 2016).

Tersinir reaksiyonda tarama hızına bağlı olarak değişen  $E^c$  ve  $E^p$  potansiyel değerlerinin, tarama hızından bağımsız olan  $E^{1/2}$  potansiyel değerinden uzakta olmaları bulgularının hassasiyetini düşürür. Bundan dolayı tersinir reaksiyonlarda yükseltgenme ve indirgenme potansiyelleri ve HOMO/LUMO enerji seviyeleri  $E^{1/2}$  potansiyel değerinin kullanılmasıyla yüksek doğrulukla hesaplanır (Elgrishi et al., 2018; Espinoza et al., 2019).

Tersinmez reaksiyonlarda ise  $E^c$  başlangıç potansiyelinin veya  $E^p$  pik potansiyelinin kullanılmasıyla yükseltgenme reaksiyonundaki potansiyel daha düşük bir değer alırken, indirgenme reaksiyonunda ise potansiyel daha yüksek negatif bir değer olacaktır (Espinoza et al., 2019). Bu durumda HOMO/LUMO enerji seviyesinin değeri değişecektir. Ancak ister tersinir ister tersinmez reaksiyon oluşmuş olsun, yükseltgenme ve indirgenme potansiyellerinin CV eğrisinden bulunmasında tercih edilen  $E^{1/2}$ ,  $E^c$ ,  $E^p$  ve  $E^{p/2}$  değerlerini tespit etmede hatalar olabilir. Çünkü tersinir işlemlerde  $E^{1/2}$  veya  $E^p$  potansiyel değerinin hesaplanmasında akımın maksimum ( $E^a$ ) veya minimum ( $E^c$ ) değer aldığı potansiyellerinin grafikten net bir biçimde okumada hatalar oluşabilir. Tersinmez işlemlerde ise  $E^c$  başlangıç potansiyel değeri sıcaklıktan aşırı etkilendiği için hata oluşabilir. Tersinir ve/veya tersinmez reaksiyonlarda karşılaşılan bu tür karışıklıkları önlemek için diferansiyel metot (türev) yöntemi kullanılabilir (Espinoza et al., 2019; Pérez-Silanes et al., 2013). Bu türev yönteminde hem tersinir reaksiyonlar için  $E^{1/2}$  potansiyel değerinin türev eğrisinden hem de tersinmez reaksiyonlarda  $E^c$  yerine CV eğrisinin büküm noktasını gösteren potansiyel değerinin ( $E^i$ ) ikinci türev eğrisinden hassas bir şekilde belirleneceği önerildi (Espinoza et al., 2019; Miller et al., 2017; Pérez-Silanes et al., 2013).

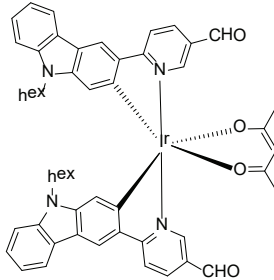
Türev genel olarak bağımsız değişkene göre bağımlı değişkenin değişikliğine gösterir. Eğim olarak da ifade edilebilir.  $E^{1/2}$  değerinin belir-

lenmesinde kullanılan akımın maksimum ( $E^a$ ) veya minimum ( $E^c$ ) değeri esasen ilgili potansiyellerin değişim noktalarını gösterir. Yine akımın ilk değer aldığı  $E^c$  başlangıç potansiyel değerinin tahmininde CV eğrisindeki büküm (dönüm) yeri, ani değişikliği (türevi) gösterdiği için potansiyel hesaplamalarında diferansiyel yöntemin kullanılması hassasiyeti artırmada doğru bir yaklaşımdır (Espinoza et al., 2019). Dolayısıyla CV ile elde edilen voltamogramlardaki i-E eğrilerinin potansiyele göre birinci ve ikinci türevi, eğrideki değişikliklerin nerede olduğu hakkında net bilgiler içerir. Örneğin; CV eğrisindeki akımın ekstremum yani maksimum ve minimum olduğu noktalara karşılık gelen potansiyel değerlerine, i-E eğrisinin potansiyele göre elde edilen birinci türev ( $di/dE$ ) eğrisinin yatay eksenini kestiği noktalardan hassas biçimde ulaşılır. Çünkü maksimum ve minimum noktaların değişikliği yani eğimi (türevi) sıfırdır. Yine i-E eğrisinin potansiyele göre elde edilen ikinci türev ( $di^2/dE^2$ ) eğrisinin yatay eksenini ilk kestiği potansiyel değeri, CV eğrisinin büküm noktasını yani  $E^i$  potansiyelini gösterir. Bu potansiyel değeri birinci türev eğrisindeki ( $di/dE$ ) maksimum veya minimum noktayı gösterir.

Bu bilgilerden yola çıkarak optoelektronik teknoloji alanındaki literatür bilgisine olumlu katkısının olacağı düşünülen bu çalışmada aldehit grubu içeren karbazol tabanlı kompleks **3b** malzemesinin CV ile elde edilen yükseltgenme ve indirgenme eğrileri, potansiyel değerlerini ve cihaz sonuçlarına etki edecek HOMO-LUMO enerji seviyesini hassas bir biçimde tayin etmede diferansiyel metot yönteminin kullanılabilirliği ve sonuçlara etkisi araştırıldı.

## 2. YÖNTEM

Bu çalışmada özellikleri araştırılan ve Şema 1'de kimyasal yapısı verilen kompleks **3b** optoelektronik malzemesinin sentezi ve karakterizasyonu daha önce raporlaştırıldı (Altinolcek et al., 2021).



**K2b**

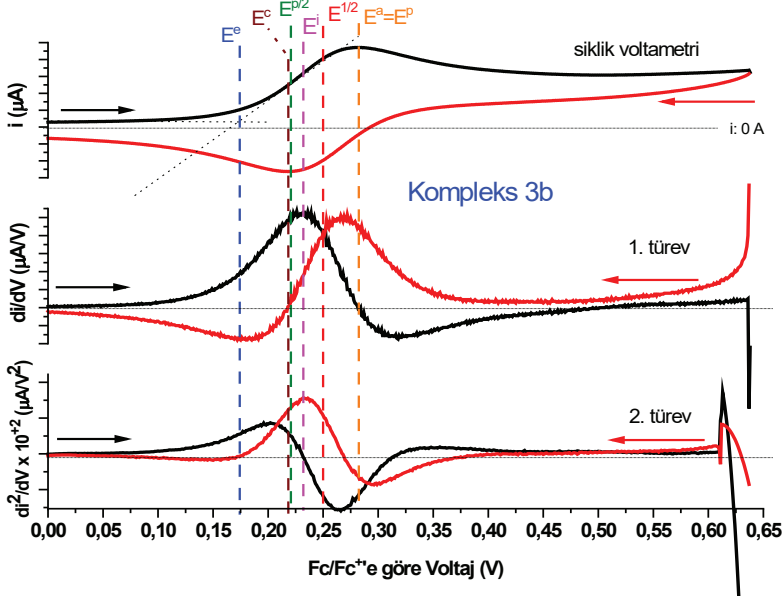
Şema 1. Kompleks **3b**'nin kimyasal yapısı

Kompleks **3b**'ye ait olan CV eğrilerinin diferansiyel yöntemle detaylı bir biçimde incelenmesinin literatüre katkısı ve yeni bilgilerin elde edilecek olması bu çalışmanın motivasyonu oldu. Öncelikle OriginLab programıyla CV eğrilerden yararlanarak potansiyele göre birinci türev ( $di/dE$ ) ve ikinci türev ( $di^2/dE^2$ ) eğrileri elde edildi. Sonrasında ise eğrilerin yatay eksenini kestiği noktalardan  $E^a$ ,  $E^c$ ,  $E^{1/2}$ ,  $E^p$ ,  $E^{p/2}$ ,  $E^e$  ve  $E^i$  potansiyel değerleri bulundu ve dikey çizgilerle belirtildi. Elde edilen eğrilerin değerlendirilmesi ile kompleks **3b**'nin yükseltgenme ve indirgenme potansiyelleri ile HOMO-LUMO enerji seviyesi hassas bir şekilde tespit edildi.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

#### 3.1. Yükseltgenme Reaksiyon Eğrisinin İncelenmesi

Karbazol tabanlı kompleks **3b** optoelektronik malzemesinin oda sıcaklığında ve 0,1 V/s tarama hızında elektrokimyasal olarak incelenmesi sonucu elde edilen yükseltgenme reaksiyon eğrisi Şekil 1'in üst kısmında verildi. Yükseltgenme reaksiyonu tersinir olduğu için  $E^{1/2}$  potansiyeli (anodik ve katodik pikin sırasıyla maksimum ve minimum değer aldığı 0,282 V ve 0,212 V potansiyel değerlerin ortalaması) 0,247 V olarak belirlendi. Ancak grafikten okuma yöntemiyle elde edilen  $E^{1/2}$  potansiyel değerinin belirlenmesi bazı hataları barındırabilir. Meydana gelebilecek hatalar diferansiyel analiz (türev) metoduyla önlenmeye çalışıldı. Şekil 1'in üst kısmında verilen kompleks **3b**'ye ait i-E eğrisinin potansiyele göre birinci türevi alınarak Şekil 1'in orta kısmında görülen  $di/dE$ -E eğrisi elde edildi. Kompleks **3b**'nin CV sonucuna göre i-E eğrisindeki akımın maksimum ve minimum değer aldığı noktalarda potansiyele göre değişim (türevi/eğimi) olmadığı için,  $di/dE$  türev eğrisinin yatay eksenini kestiği noktalar CV eğrisindeki maksimum ve minimuma karşılık geldi. Bu sayede i-E eğrisindeki akımın ekstremum yani maksimum ( $E^a$ ) ve minimum ( $E^c$ ) olduğu noktaların potansiyel değerleri hassas bir biçimde belirlenmiş oldu. Bu değerler sırasıyla 0,282 V ( $E^a$ ) ve 0,217 V ( $E^c$ ) olarak belirlendi. Bu iki değerlerin ortalaması alınarak  $E^{1/2}$  değeri 0,249 V olarak daha hassas biçimde belirlenmiş oldu. Bu potansiyel değeri ile i-E eğrisinin kullanılmasıyla ulaşılan potansiyel değeri (0,25 V) arasında oluşan %2'lik yüzde hata kabul edilebilir düzeyde meydana çıktı. Çünkü  $E^{1/2}$  potansiyel değeri tersinir reaksiyon durumunda türev analizine gerek duyulmadan da CV eğrisinden düşük hata ile elde edilebilir. Ayrıca tersinir reaksiyon şeklinde yükseltgenme eğrisi veren kompleks **3b**'ye ait  $E^{1/2}$ ,  $E^p$  ve  $E^{p/2}$  potansiyel değerlerinin dikkate alınmasıyla elde edilen yükseltgenme potansiyel değerleri Tablo 1'de sunuldu.



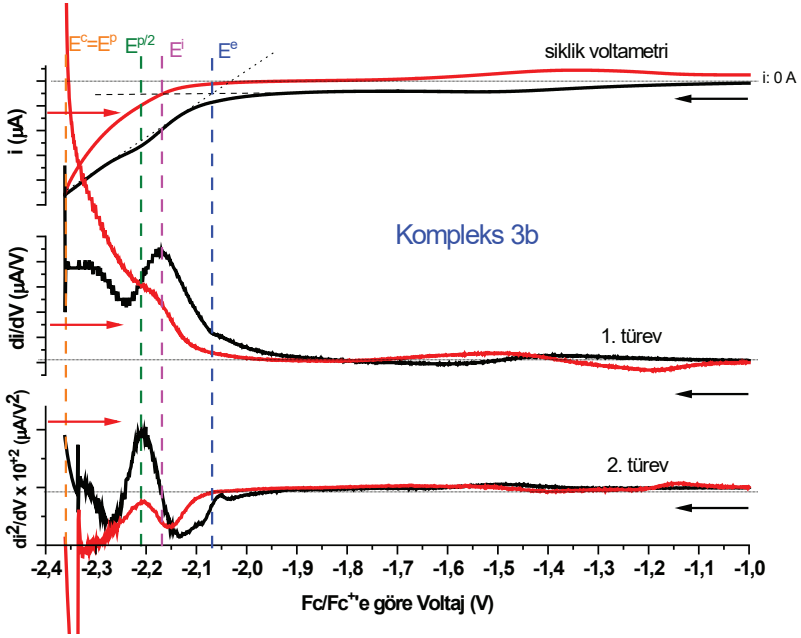
Şekil 1. Kompleks 3b'nin yükseltgenme reaksiyonunda  $i$ - $E$  (üst),  $di/dE$ - $E$  (orta) ve  $d^2/dE^2$ - $E$  (alt) eğrileri

Tablo 1. Tercih edilen potansiyele bağlı olarak yükseltgenme/ indirgenme potansiyeli ve HOMO/LUMO enerji seviyeleri

Kompleks 3b	$E^{1/2}$ (V)	$E^p$ (V)	$E^e$ (V)	$E^{p/2}$ (V)	$E^i$ (V)
Yükseltgenme Potansiyeli (V)	0,25	0,25	0,17	0,22	0,23
İndirgenme Potansiyeli (V)	-	-2,36	-2,07	-2,21	-2,17
HOMO Enerji Seviyesi (eV)	-5,05	-5,05	-4,97	-5,02	-5,03
LUMO Enerji Seviyesi (eV)	-	- 2,44	-2,73	-2,59	-2,63

### 3.2. İndirgenme Reaksiyon Eğrisinin İncelenmesi

Karbazol tabanlı kompleks **3b** optoelektronik malzemesinin oda sıcaklığında ve 0,1 V/s tarama hızında elektrokimyasal olarak incelenmesi sonucu elde edilen indirgenme eğrisi katodik tek pik olarak elde edildi ve siklik voltamogramı Şekil 2'nin üst kısmında verildi.



Şekil 2. Kompleks **3b**'nin indirgenme reaksiyonunda  $i-E$  (üst),  $di/dE-E$  (orta) ve  $d^2i/dE^2-E$  (alt) eğrileri

Tersinmez olarak gerçekleşen indirgenme reaksiyonunda indirgenme potansiyeli kompleks **3b** için yaygın biçimde tercih edilen  $E^\circ$  potansiyel değerinden faydalanılarak -2,07 V olarak bulundu. OLED cihaz yapısında kullanılan malzemenin enerji seviyeleri bu sonuca göre hesaplandı (Altinolcek et al., 2021). Ancak tersinmez reaksiyonlarda kullanılan  $E^\circ$  potansiyeli bazı parametrelere bağlı olarak değiştiği için diferansiyel analiz (türev) metodu kullanılarak hassasiyet kontrolü bu araştırma ile yapılarak alana katkı verildi. Kompleks **3b**'ye ait  $i-E$  eğrisinin potansiyele göre önce birinci türevi ardından ikinci türevi alınarak Şekil 2'nin sırasıyla orta ve alt kısmında görüldüğü gibi  $di/dE-E$  ve  $d^2i/dE^2-E$  eğrileri çizildi. Kompleks **3b**'nin  $i-E$  eğrisindeki akımın potansiyele karşı değerinin ilk değiştiği ve büküm (dönüm) noktası olarak tanımlanan potansiyel değeri  $d^2i/dE^2$  eğrisinin yatay eksenini kestiği noktaya isabet etti. Bu değer -2,17 V olarak hassas bir biçimde tespit edilmiş oldu.

Sıklık voltametri sonucu ulaşılan eğrinin  $E^\circ$  potansiyel değerinin kullanılmasıyla elde edilen -2,07 V indirgenme potansiyel değeri ile eğrinin ikinci türevi alınarak temel CV eğrisinin büküm yerini gösteren  $E^i$  potansiyelinin kullanılmasıyla bulunan -2,17 V indirgenme potansiyel değeri arasında anlamlı bir fark oluştu. Dolayısıyla hesaplamada büküm noktası yerine başlangıç potansiyelinin kullanılması potansiyel değerini negatif olarak daha yüksek sayıyla ifade edildi. Tersinmez reaksiyon şeklinde indirgenme eğrisi veren kompleks **3b**'ye ait  $E^p$ ,  $E^{p/2}$  ve  $E^i$  potansiyel değerle-

rinin tercih edilmesiyle elde edilen indirgenme potansiyel değerleri Tablo 1'de verildi.

### 3.3. HOMO-LUMO Enerji Seviyesinin İncelenmesi

Kompleks **3b**'nin CV ile elde edilen yükseltgenme potansiyel değerinin (0,25 V) Eşitlik 1'de kullanılmasıyla HOMO (en yüksek dolu orbitalin enerjisi) enerji seviyesi -5,05 eV olarak elde edildi (Altinolcek et al., 2021). Tersinir yükseltgenme reaksiyon eğrisinin birinci türevinin alınmasıyla ulaşılan eğrinin yatay eksenini kestiği andaki potansiyel değerlerinin ortalamasının Eşitlik 1'de kullanılmasıyla HOMO enerji seviyesi (5.049 eV) hemen hemen eşit çıktı. Bu sonuç CV eğrisinden elde edilen  $E^{1/2}$  potansiyel değerinin tersinir işlemlerde çok iyi çalıştığını bir kez daha gösterdi.

$$E_{\text{HOMO}}: - (4,8 + E_{\text{yük}}^{1/2}) \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Kompleks **3b**'nin CV ile elde edilen indirgenme başlangıç potansiyel değerinin ( $E^c = -2,07$  V) Eşitlik 2'de kullanılmasıyla LUMO (en düşük boş orbitalin enerjisi) enerji seviyesi -2,73 eV olarak elde edildi. Tersinmez indirgenme reaksiyon eğrisinin potansiyele göre ikinci türevinin alınmasıyla elde edilen eğrinin yatay eksenini kestiği potansiyel değeri -2,17 V olarak bulundu.  $E^i$  değerinin Eşitlik 3'te kullanılmasıyla LUMO enerji seviyesi -2,63 eV olarak hesaplandı.

$$E_{\text{LUMO}}: - (4,8 + E_{\text{ind}}^c) \quad (\text{Eşitlik 2})$$

$$E_{\text{LUMO}}: - (4,8 + E_{\text{ind}}^i) \quad (\text{Eşitlik 3})$$

İki yolla bulunan LUMO enerji seviyesi arasındaki 0.1 eV'luk enerji farkının yük taşıyıcı transferinde ve cihaz mimarisinde etkili olacağı görüldü. Bu sebeple hesaplamalarda büküm noktası potansiyel değerinin dikkate alınması daha gerçekçi sonuçlar verdi. Kompleks **3b**'nin çeşitli yöntemlerle belirlenen yükseltgenme ve indirgenme potansiyel değerlerinin kullanılmasıyla elde edilen HOMO/LUMO enerji seviyeleri Tablo 1'de gösterildiği gibi hesaplandı.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada optoelektronik teknolojilerde kullanılan aldehit gruplu karbazol tabanlı kompleks **3b** malzemesi üzerine birtakım elektrokimyasal çalışmalar gerçekleştirildi. Çalışma kapsamında kompleks **3b**'nin indirgenme ve yükseltgenme potansiyel değerlerinin ve dolayısıyla cihaz sonuçlarına etki edecek HOMO-LUMO enerji seviyesinin tayininde CV eğrisinin yanında özellikle tersinmez reaksiyonlar için önerilen diferansiyel analiz yöntemi başarılı biçimde uygulandı. Bulgular tersinir şekilde gerçekleşen yükseltgenme veya indirgenme reaksiyonlarında  $E^{1/2}$  yarım

dalga potansiyeli ile CV eğrisinin birinci türevinden elde edilen  $E^{1/2}$  potansiyel değerinin kullanılması arasında HOMO enerji seviyesinde belirgin bir fark oluşturmadı. Ancak tersinmez reaksiyon veren yükseltgenme veya indirgenme reaksiyonlarında ise CV eğrisinin ikinci türevinden elde edilen  $E^i$  büküm potansiyeli yerine, CV eğrisindeki  $E^e$  başlangıç potansiyelinin kullanılması LUMO enerji seviyesini etkilemede büyük öneme sahip oldu. Dolayısıyla bu çalışma fizik, kimya, mühendislik ve nanoteknoloji gibi interdisipliner alanlarda çalışan araştırmacılara sağladığı yeni bilgiler açısından değerli görüldü.

## 5. TEŞEKKÜR

Yazar, 2219 kodlu Yurtdışı Doktora Sonrası Araştırma Burs (Burs Numarası:1059B191800354) programı kapsamında bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan TÜBİTAK Başkanlığına teşekkür eder. Ayrıca değerli yardım, yönlendirme ve cesaretlendirmesinden dolayı Bursa Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Mustafa Tavaslı'ya teşekkür eder. Yine Glasgow Üniversitesi Kimya Okulu'ndan Prof. Dr. Peter J. Skabara'ya minnettardır. Son olarak Glasgow Üniversitesi'nden Dr. Alex Kanibolotsky'a ve Dr. H. Yu'a ve Bursa Uludağ Üniversitesi'nden Dr. N. Altınölçek Gültekin'e yardımlarından dolayı teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Altinolcek, N., Battal, A., Tavasli, M., Cameron, J., Peveler, W. J., Yu, H. A., & Skabara, P. J. (2020). Yellowish-orange and red emitting quinoline-based iridium(III) complexes: Synthesis, thermal, optical and electrochemical properties and OLED application. *Synthetic Metals*, 268, 116504. doi:<https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2020.116504>
- Altinolcek, N., Battal, A., Tavasli, M., Cameron, J., Peveler, W. J., Yu, H. A., . . . Hedley, G. J. (2021). A red-orange carbazole-based iridium(III) complex: Synthesis, thermal, optical and electrochemical properties and OLED application. *Journal of Organometallic Chemistry*, 951, 122004. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2021.122004>
- Arshad, N., & Farooqi, S. I. (2018). Cyclic Voltammetric DNA Binding Investigations on Some Anticancer Potential Metal Complexes: a Review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 186(4), 1090-1110. doi:10.1007/s12010-018-2818-z
- Bao, L., Zou, Y., Kirk, A., & Heagy, M. D. (2017). Electronic Properties and Electroluminescent OLED Performance of Panchromatic Emissive N-Aryl-2,3-naphthalimides. *Journal of Physical Chemistry A*, 121(51), 9708-9719. doi:10.1021/acs.jpca.7b08110
- Bertoluzzi, L., Badia-Bou, L., Fabregat-Santiago, F., Gimenez, S., & Bisquert, J. (2013). Interpretation of Cyclic Voltammetry Measurements of Thin Semiconductor Films for Solar Fuel Applications. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 4(8), 1334-1339. doi:10.1021/jz400573t
- Carter, C. M., Cho, J., Glanzer, A., Kamcev, N., & O'Carroll, D. M. (2016). Cost, energy and emissions assessment of organic polymer light-emitting device architectures. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1418-1431. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.186>
- Chen, H., Kätelhön, E., & Compton, R. G. (2022). Predicting Voltammetry Using Physics-Informed Neural Networks. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 13(2), 536-543. doi:10.1021/acs.jpcclett.1c04054
- Costentin, C., Savéant, J.-M., & Tard, C. (2018). Catalysis of CO<sub>2</sub> Electrochemical Reduction by Protonated Pyridine and Similar Molecules. Useful Lessons from a Methodological Misadventure. *ACS Energy Letters*, 3(3), 695-703. doi:10.1021/acsenerylett.8b00008
- Derr, J. B., Tamayo, J., Espinoza, E. M., Clark, J. A., & Vullev, V. I. (2018). Dipole-induced effects on charge transfer and charge transport. Why do molecular electrets matter? *Canadian Journal of Chemistry*, 96(9), 843-858. doi:10.1139/cjc-2017-0389
- Dias, P. R., Schmidt, L., Chang, N. L., Monteiro Lunardi, M., Deng, R., Trigger, B., . . . Veit, H. (2022). High yield, low cost, environmentally friendly process to recycle silicon solar panels: Technical, economic and environmen-



- tal feasibility assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112900. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112900>
- Elgrishi, N., Rountree, K. J., McCarthy, B. D., Rountree, E. S., Eisenhart, T. T., & Dempsey, J. L. (2018). A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 197-206. doi:10.1021/acs.jchemed.7b00361
- Espinoza, E. M., Clark, J. A., Soliman, J., Derr, J. B., Morales, M., & Vullev, V. I. (2019). Practical Aspects of Cyclic Voltammetry: How to Estimate Reduction Potentials When Irreversibility Prevails. *Journal of the Electrochemical Society*, 166(5), H3175-H3187. doi:10.1149/2.0241905jes
- Gupta, S., Chatni, M. R., Rao, A. L. N., Vullev, V. I., Wang, L. V., & Anvari, B. (2013). Virus-mimicking nano-constructs as a contrast agent for near infrared photoacoustic imaging. *Nanoscale*, 5(5), 1772-1776. doi:10.1039/C3NR34124K
- Hörmann, N. G., & Reuter, K. (2021). Thermodynamic cyclic voltammograms: peak positions and shapes. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 33(26), 264004. doi:10.1088/1361-648X/abf7a1
- Hu, S., Tian, Y., Lin, Y., Shi, W., Pang, Y., Pan, S., & Wei, B. (2022). High-efficiency and long-lifetime deep-blue organic light-emitting diode with a maximum external quantum efficiency of 20.6% and CIEy of 0.04. *Dyes and Pigments*, 205, 110548. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2022.110548>
- Hwang, I., & Yong, K. (2015). Counter Electrodes for Quantum-Dot-Sensitized Solar Cells. *ChemElectroChem*, 2(5), 634-653. doi:<https://doi.org/10.1002/celec.201402405>
- Lade, J. J., Chiou, S.-S., Tseng, Y.-H., Chiu, M.-H., Lin, Y.-F., Chang, C.-H., . . . Chaskar, A. C. (2021). Design and Synthesis of Novel Phenothiazine-Benzothiadiazine-1,1-dioxide Hybrid Organic Material for OLED Applications. *ChemistrySelect*, 6(40), 11029-11038. doi:<https://doi.org/10.1002/slct.202102781>
- Lin, Y., Lian, C., Berrueta, M. U., Liu, H., & van Roij, R. (2022). Microscopic Model for Cyclic Voltammetry of Porous Electrodes. *Physical Review Letters*, 128(20), 206001. doi:10.1103/PhysRevLett.128.206001
- Ma, X., Yue, G., Wu, J., & Lan, Z. (2015). Efficient Dye-Sensitized Solar Cells Made from High Catalytic Ability of Polypyrrole@Platinum Counter Electrode. *Nanoscale Res Lett*, 10(1), 1015. doi:10.1186/s11671-015-1015-z
- Miller, E. M., Xia, Q., Cella, M. E., Nenninger, A. W., Mruzik, M. N., Brillios-Monia, K. A., . . . Crawford, P. W. (2017). Voltammetric Study of Some 3-Aryl-quinoxaline-2-carbonitrile 1,4-di-N-oxide Derivatives with Anti-Tumor Activities. *Molecules*, 22(9), 1442. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1420-3049/22/9/1442>
- Pérez-Silanes, S., Devarapally, G., Torres, E., Moreno-Viguri, E., Aldana, I., Monge, A., & Crawford, P. W. (2013). Cyclic Voltammetric Study of

Some Anti-Chagas-Active 1,4-Dioxidoquinoxalin-2-yl Ketone Derivatives. *Helvetica Chimica Acta*, 96(2), 217-227. doi:<https://doi.org/10.1002/hlca.201200085>

- Rajendran, S. (2016). Applications of Cyclic voltammetry in Corrosion inhibition studies Int J Nano Corr Sci and Engg 3(4)(2016) Applications of Cyclic voltammetry Applications of Cyclic voltammetry in Corrosion inhibition studies National Level Seminar on “ New Perspective in Science and Technology “ , St Antony’s College of Arts and Sciences for Women, T 3(4) (2016) 166 -180 Cyclic voltammetry in Corrosion inhibition studies. *International Journal of Nano Corrosion Science and Engineering*, 3, 166-180.
- Roth, H. G., Romero, N. A., & Nicewicz, D. A. (2016). Experimental and Calculated Electrochemical Potentials of Common Organic Molecules for Applications to Single-Electron Redox Chemistry. *Synlett*, 27(05), 714-723.
- Shah, H. H., Changez, M., Singh, V., Luqman, M., Ismail, Y., Raithby, P. R., & Marken, F. (2016). Estimation of Energy Levels of Self-assembled Ferrocenyls and Investigation of Charge-driven Electro-crystallization of Ferricenyl Materials. *Energy Procedia*, 100, 149-154. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.157>
- Tichter, T., Andrae, D., Mayer, J., Schneider, J., Gebhard, M., & Roth, C. (2019). Theory of cyclic voltammetry in random arrays of cylindrical microelectrodes applied to carbon felt electrodes for vanadium redox flow batteries. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 21(18), 9061-9068. doi:10.1039/C9CP00548J

“

## Bölüm 5

**TEK ADIMLI D SABİT NOKTA  
İTERASYON YÖNTEMİNİN  
YAKINSAKLIK VE YAKINSAKLIK  
DENKLİĞİ SONUÇLARI**

*Kadri DOĞAN<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Doç. Dr. Kadri DOĞAN, [dogankadri@artvin.edu.tr](mailto:dogankadri@artvin.edu.tr),

ORCID:0000-0002-6622-3122, Temel Bilimler Bölümü, Mühendislik Fa-  
kültesi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Seyitler Kampüsü, Artvin

Sabit nokta teorisi, çeşitli gerçek hayat ve teorik problemlerin çözümü için güçlü ve kullanışlı matematiksel araç olarak ortaya çıkmıştır. Literatür, çeşitli açılardan sabit nokta teorisi üzerine kapsamlı bir çalışma sunmaktadır. Bu teorinin uygulamalarını içeren çok sayıda araştırma makalesi bulunabilir. Teori, aşağıdaki denklemi sağlayacak şekilde bir  $T$  dönüşümü için bir  $p$  noktasına ulaşmayı amaçlar:

$$Tp = p$$

Doğrusal ve doğrusal olmayan denklemler halinde modellendiğinde karmaşık gerçek hayat durumları, sabit nokta problemine dönüştürülebilir ve dolayısıyla çözüm, sabit nokta teorisi kullanılarak bulunabilir. Bununla birlikte, bu denklemleri çözmek için doğrudan yöntemlerin başarısız olduğu durumlarda, bu problemlere ardışık yaklaşım devreye girer. Bu yüzden, iterative metotlar, bir dönüşümün sabit noktasının oluşturulmasında önemli ve kritik bir role sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmanın tüm literatürü, çeşitli koşullar altında bir dönüşümün sabit noktasına ulaşmak için çalışılan ve kullanılan çok sayıda iterative yöntem, bunların hibrit biçimleri ve varyasyonlarını bulur. İterative yöntemlerin yakınsaklık oranları ve kararlılığı sonuçları, iterative bir yöntem seçerken dikkate alınan başlıca özelliklerdir. Zaman içinde, iterative yöntemler birçok araştırmacı tarafından yakınsaklık hızı oranları için revize edilmiştir. Sabit nokta teorisi büyük bir bölümü, birçok araştırmacı tarafından çeşitli iterative metodlar alınarak çalışılmıştır. Bu nedenle, özel bir durum için hangi iterative yöntemin en iyi sonucu verdiğini bilmek önemli ve merak uyandıran bir olaydır. Ancak, farklı problemler için şartlar ve uzay yapısı farklı olacağından iterasyon şemalarının davranışı bu durumlardan oldukça fazla etkilendiğinden, bu kararı vermek zordur.

$X$  Banach uzayı ve  $C$ ,  $X$ 'in boştan farklı, kapalı ve konveks bir alt kümesi olsun.  $Y: C \rightarrow C$  dönüşümü için eğer  $Yx = x$  ise,  $x$  noktasına  $Y$ 'nin sabit noktası denir. Sabit nokta iterative yaklaşımı, sabit nokta teorisinde çok önemlidir ve bu alana büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Birçok iterative yöntem araştırmacılar tarafından önerilmiş ve çalışılmıştır. İlk olarak, Mann iterasyonu [11] Mann tarafından 1953'te önerildi ve Picard iterasyonu genişlemeyen dönüşümler için başarısız olduğunda Mann iterasyonundaki konvekslik yapısından dolayı faydalı oldu. Daha sonra çeşitli sabit nokta iterative yöntemleri günümüze kadar geliştirilmiş ve farklı alanlarda kullanılmışlardır. Ayrıca yeni tanımlanan veya geliştirilen sabit nokta iterative yöntemleri etkililikleri gösterilmek amacıyla dönüşümün sabit noktasına yakınsama hızları karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerden çoğu genellikle dönüşümlerin iç içe yazılmasıyla elde edilmiştir. Bizim iterasyon yöntemimiz ise tek adımlı  $k$  derecelidir. Bu iterasyon yöntemi son tanımlanan çoğu sabit nokta iterasyon

yöntemlerinden operatörün sabit noktasına daha hızlı yakınsayan konveks yapılı bir sabit nokta iterasyon yöntemidir.

Bu çalışmanın ana hedefi, yeni bir iterasyon yöntemi oluşturmak ve yakınsaklık sonuçları mevcut bazı sabit nokta iterasyon yöntemleri ile karşılaştırmaktır. Bu çalışmada yeni iterasyon yönteminin yakınsaklık sonuçları verilmiş ve bu sonuçlar örneklerle desteklenmiştir.

Temel Banach Büzülme teoremi ispatında, tek adımlı ardışık yaklaşım yöntemi olan

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = Yx_n \end{cases}$$

Picard iterasyon yöntemi kullanmıştır.

Şimdi ilk olarak literatürde mevcut bazı sabit nokta iterasyon yöntemlerini tanıtalım. Burada  $\{\alpha_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ ,  $\{\beta_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ ,  $\{\gamma_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  ve  $\{\theta_n\}_{n \in \mathbb{N}} \in [0,1]$  diziler olmak üzere

- 1) [13] Mann iterasyon yöntemi, Picard iterasyon yönteminin Mann tarafından değiştirilerek geliştirilmesi sonucu konveks yapılı tek adımlı bir sabit nokta iterasyon yöntemi olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = (1 - \beta_n)x_n + \beta_n Yx_n \end{cases}$$

- 2) Krasnosel'skii tarafından 1955 yılında Krasnosel'skii iterasyon yöntemi [18] aşağıdaki gibi tanımlanmıştır

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = (1 - c)x_n + cYx_n \end{cases}$$

burada  $c \in (0,1)$

- 3) 1973 te, Ishikawa tarafından [11] Ishikawa iterasyon yöntemi konveks yapılı iki adımlı sabit nokta iterasyon yöntemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = (1 - \alpha_n)x_n + \alpha_n Yy_n \\ y_n = (1 - \beta_n)x_n + \beta_n Yx_n \end{cases}$$

ve

- 4) 2000'de M.A. Noor, [14] Noor iterasyon yöntemini:

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = (1 - \alpha_n)x_n + \alpha_n Y y_n \\ y_n = (1 - \beta_n)x_n + \beta_n Y z_n \\ z_n = (1 - \theta_n)x_n + \theta_n Y x_n \end{cases}$$

- 5) 2001'de W. Phuengrattana ve S. Suantai, [16] SP iterasyon yöntemini:

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = (1 - \alpha_n)x_n + \alpha_n Y y_n \\ y_n = (1 - \beta_n)z_n + \beta_n Y z_n \\ z_n = (1 - \theta_n)x_n + \theta_n Y x_n \end{cases}$$

- 6) 2012'de R. Chugh vd., [9] CR iterasyon yöntemini:

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = (1 - \alpha_n)x_n + \alpha_n Y y_n \\ y_n = (1 - \beta_n)Y x_n + \beta_n Y z_n \\ z_n = (1 - \theta_n)x_n + \theta_n Y x_n \end{cases}$$

- 7) 2014'te F. Gürsoy ve V. Karakaya, [10] Picard-S iterasyon yöntemini:

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = Y y_n \\ y_n = (1 - \beta_n)Y x_n + \beta_n Y z_n \\ z_n = (1 - \theta_n)x_n + \theta_n Y x_n \end{cases}$$

- 8) 2017'de V. Karakaya vd.,[11] Karakaya iterasyon yöntemini:

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = Y y_n \\ y_n = (1 - \beta_n)z_n + \beta_n Y z_n \\ z_n = Y x_n \end{cases}$$

- 9) 2022'de K. Basra ve SS. Chauhan, [19] KC iterasyon yöntemini:

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = Y((1 - \alpha_n)y_n + \alpha_n Y y_n) \\ y_n = Y((1 - \beta_n)Y w_n + \beta_n Y z_n) \\ z_n = Y((1 - \theta_n)Y x_n + \theta_n Y w_n) \\ w_n = Y((1 - \gamma_n)x_n + \gamma_n Y x_n) \end{cases}$$

tanımlamışlardır.

Yukarıda tanımlanan iterasyon yöntemleri araştırmacılar tarafından yoğun olarak çalışılan iterasyon yöntemlerinden bazılarıdır.

Şimdi bu çalışma için tanımladığımız iterasyonu tanıtalım:

$$\begin{cases} x_0 \in C \\ x_{n+1} = Y^k \left( (1 - \alpha_n^k) Y^k x_n + \alpha_n^k Y^{k+1} x_n \right) \end{cases} \quad (\text{it10})$$

burada  $k = 0, 1, 2, \dots, \{\alpha_n^k\}_{n,k \in \mathbb{N}}$

Sonuçlarımızı kanıtlamak için gerekli bazı Tanım, Teorem ve Lemmalar aşağıdaki gibidir.

**Lemma 1** ([17]) Negatif olmayan  $\{a_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  ve  $\{b_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizileri aşağıdaki şartları sağlasın

$$a_{n+1} \leq (1 - \gamma_n) a_n + b_n,$$

burada her  $n \in \mathbb{N}$  için

$$\gamma_n \in (0, 1),$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \gamma_n = \infty$$

ve  $n \rightarrow \infty$  iken  $\frac{b_n}{\gamma_n} \rightarrow 0$  dır.

Bu durumda

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0.$$

**Lemma 2** ([1]) Negatif olmayan  $\{a_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  ve  $\{b_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizileri aşağıdaki şartları sağlasın

$$a_{n+1} \leq \gamma a_n + b_n,$$

burada her  $n \in \mathbb{N}$  için  $\gamma \in (0, 1)$  ve

$$\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 0$$

dır.

Bu durumda

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$$

olur.

**Tanım 1** ([8]) Limitleri sırasıyla  $a$  ve  $b$  olan negatif olmayan  $\{a_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  ve  $\{b_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  reel sayı dizileri verilsin. Eğer aşağıdaki koşul sağlanırsa  $\{a_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizisi  $\{b_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizisinden daha hızlıdır denir.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{a_n - a}{b_n - b} \right| = 0$$

**Tanım 2** ([7])  $\{u_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  ve  $\{v_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iki sabit nokta iterasyon dizileri olsun ve her ikisi de  $T$ 'nin  $p$  sabit noktasına yakınsasın. Hata tahminlerinin  $\forall n \in \mathbb{N}$  için aşağıdaki gibi olduğunu kabul edelim.

$$\|u_n - p\| \leq a_n,$$

$$\|v_n - p\| \leq b_n,$$

burada  $\{a_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  ve  $\{b_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ ,  $0$ 'a yakınsayan pozitif reel sayı dizileridir. Eğer  $\{a_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizisi  $\{b_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizisinden daha hızlı ise bu takdirde  $\{u_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizisi  $p$  noktasına  $\{v_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizisinden daha hızlı yakınsar.

**Örnek 1**  $Y: [-2,2] \rightarrow [-2,2]$ ,  $Yv = \frac{2v}{7}$  olsun. Bu durumda  $v_{n+1} = Yv_n$  Picard iterasyonunu göz önüne alıp  $v_1 = 1$  seçelim.  $\forall n \in \mathbb{N}$  için

$$\begin{aligned} v_n &= \left(\frac{2}{7}\right)^n v_1 \\ &\leq \left(\frac{5}{7}\right)^n \\ &= b_n. \end{aligned}$$

Mann iterative dizisi olan

$$u_{n+1} = \varepsilon u_n + (1 - \varepsilon) Y u_n$$

yöntemi için  $u_n = 1$  ve  $\varepsilon = \frac{2}{5}$  olmak üzere



$$u_{n+1} = \frac{4}{7} u_n$$

$$u_n = \left(\frac{4}{7}\right)^n$$

$$\leq \left(\frac{4}{7}\right)^n$$

$$= a_n.$$

Tanım 2 ye göre  $\{a_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizisi 0'a  $\{b_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizisinden daha hızlı yakınsadığından  $\{u_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizisinin 0'ayakınsamasının  $\{v_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  dizisinin yakınsamasından daha hızlı olması beklenmektedir. Ancak bu, Tanım 1'e göre açıkça yanlıştır. Tanım 2'deki eksiklik, en küçük üst sınırlara atıfta bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, lineer olmayan keyfi bir  $T$  operatörü için, böyle bir sınır bulmak çok zor veya gerçekten imkansız olabilir. Ne yazık ki Tanım 2, bazı yöntemlerin diğerlerinden daha hızlı olduğunu iddia etmek için kullanılmıştır. Ayrıca  $\{a_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  ve  $\{b_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  için ifadeler çıkarmak ve dolayısıyla tanımı uygulamak neredeyse imkansızdır. Bu nedenle, yakınsama hızının analizinden (bakınız [1, 2]) ve bir yöntemin diğerine üstün olduğunu iddia etmekten kaçınıyoruz.

**Tanım 3** ([4])  $Y: C \rightarrow C$  kendi üzerine dönüşümüne eğer aşağıdaki şartları sağlarsa zayıf büzülme dönüşümü denir.  $L_1 \geq 0$  ve  $\delta \in (0,1)$  olmak üzere

$$\|Yx - Yy\| \leq \delta \|x - y\| + L_1 \|y - Yx\|$$

dir.

**Teorem 1** ([6])  $X$  bir Banach uzayı ve  $Y: X \rightarrow X$  zayıf büzülme dönüşümü olsun. Bu durumda  $F(Y) \neq \emptyset$ .

**Teorem 2** ([6])  $X$  bir Banach uzayı ve  $Y: X \rightarrow X$  zayıf büzülme dönüşümü  $\delta \in (0,1)$  ve  $L \geq 0$  için

$$\|Yx - Yy\| \leq \delta \|x - y\| + L \|x - Yx\| \quad (1)$$

şartını sağlıyorsa bu durumda  $Y$ 'nin bir tek sabit noktaya sahip olduğu söylenebilir. Bu dönüşüme hemen hemen büzülme dönüşümü denir.

### Temel Sonuçlar

Yukarıdaki bilgileri kullanarak aşağıdaki teoremleri ispatlayalım. Ayrıca ispatladığımız teoremleri desteklemek için uygulamalar verelim.

**Teorem 3**  $X$  Banach uzayı ve  $C, X$ 'in boştan farklı, kapalı ve konveks bir alt kümesi olsun ve  $Y: C \rightarrow C$  zayıf büzülme dönüşümü (1) şartını sağlasın.  $\{x_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative dizisi  $\{\alpha_n^k\}_{n,k \in \mathbb{N}} \in [0,1]$  reel sayı dizileri tarafından üretilen, (it10) ile gösterilen iterasyon yöntemi olsun. Bu durumda  $\{x_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative yöntemi  $Y$ 'nin  $q$  sabit noktasına yakınsar.

**İspat**  $Y$ 'nin sabit noktasının varlığı ve tekliliğinin ispatı sırasıyla Teorem 1 ve Teorem 2 ile verilmiştir. Kabul edelim ki  $q$  ve  $\tilde{q}$  iki sabit olsun. Bu takdirde

$$\|q - \tilde{q}\| \leq \delta \|q - \tilde{q}\| + L \|\tilde{q} - T\tilde{q}\|.$$

Eğer  $p \neq \tilde{p}$  ise  $\delta \geq 1$  olması gerekir. Bu da tekliliğinin varlığı ile çelişki gösterir. Bu durumda  $q = \tilde{q}$  dir.

Hemen hemen büzülme dönüşümü kullanılarak

$$\begin{aligned} \|\Upsilon^k x_n - \Upsilon^k q\| &= \|\Upsilon \Upsilon^{k-1} x_n - \Upsilon \Upsilon^{k-1} q\| \\ &\leq \delta \|\Upsilon^{k-1} x_n - \Upsilon^{k-1} q\| \\ &\leq \delta^k \|x_n - q\| \end{aligned}$$

elde edilir. Bu durumda

$$\begin{aligned} \|x_{n+1} - p\| &= \left\| \Upsilon^k \left( (1 - \alpha_n^k) \Upsilon^k x_n + \alpha_n^k \Upsilon^{k+1} x_n \right) - q \right\| \\ &\leq \delta^k \left\| \left( (1 - \alpha_n^k) \Upsilon^k x_n + \alpha_n^k \Upsilon^{k+1} x_n \right) - q \right\| \\ &= \delta^k \left\| \left( (1 - \alpha_n^k) (\Upsilon^k x_n - \Upsilon^k q) + \beta \alpha_n^k (\Upsilon^{k+1} x_n - \Upsilon^{k+1} q) \right) \right\| \\ &\leq \delta^k (1 - \alpha_n^k) \|\Upsilon^k x_n - \Upsilon^k q\| + \delta^k \alpha_n^k \|\Upsilon^{k+1} x_n - \Upsilon^{k+1} q\| \\ &\leq \delta^{2k} (1 - \alpha_n^k) \|x_n - q\| + \delta^{2k+1} \beta_n \|x_n - q\| + \delta^{2k+2} \theta_n \|x_n - q\| \\ &\leq \delta^{2k} \left( (1 - \alpha_n^k) + \delta \alpha_n^k \right) \|x_n - q\| \end{aligned}$$

$$\leq \delta^{2k} \|x_n - q\|$$

$$\|x_{n+1} - q\| \leq \delta^{2k} \|x_n - q\|$$

Eşitsizliğine ulaşılır. Lemma 2'ye göre

$$a_{n+1} = \|x_{n+1} - q\|,$$

$$a_n = \|x_n - q\|,$$

$$\gamma = \delta^{2k}$$

ve

$$b_n = 0$$

alınırsa

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - q\| = 0$$

bulunur.

**Teorem 4**  $X$  Banach uzayı ve  $C$ ,  $X$ 'in boştan farklı, kapalı ve konveks bir alt kümesi olsun ve  $Y: C \rightarrow C$  zayıf büzülme dönüşümü (1) şartını sağlasın.  $\{x_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative dizisi  $\{\alpha_n^k\}_{n,k \in \mathbb{N}} \in [0,1]$  reel sayı dizileri tarafından üretilen, (it10) ile gösterilen iterasyon yöntemi,  $\{\tau_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  (1) algoritması ile gösterilen Mann,  $\{\sigma_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  (7) algoritması ile gösterilen Picard-S,  $\{\xi_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  algoritması ile Picard-Mann ve  $\{\rho_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  (8) algoritması ile gösterilen Karakaya iterasyonu olmak üzere  $\alpha_n + \beta_n + \theta_n = 1$  olsun. Bu durumda aşağıdaki ifadeler denktir.

- 1)  $\{x_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative yöntemi  $Y$ 'nin  $q$  sabit noktasına yakınsar.
- 2)  $\{\tau_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative yöntemi  $Y$ 'nin  $q$  sabit noktasına yakınsar.
- 3)  $\{\sigma_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative yöntemi  $Y$ 'nin  $q$  sabit noktasına yakınsar.
- 4)  $\{\rho_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative yöntemi  $Y$ 'nin  $q$  sabit noktasına yakınsar.
- 5)  $\{\xi_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative yöntemi  $Y$ 'nin  $q$  sabit noktasına yakınsar.

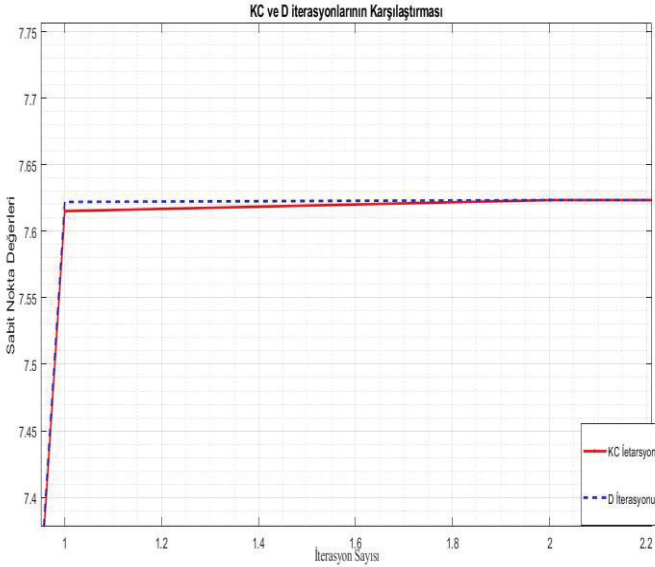
**İspat**  $\{x_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative dizisinde

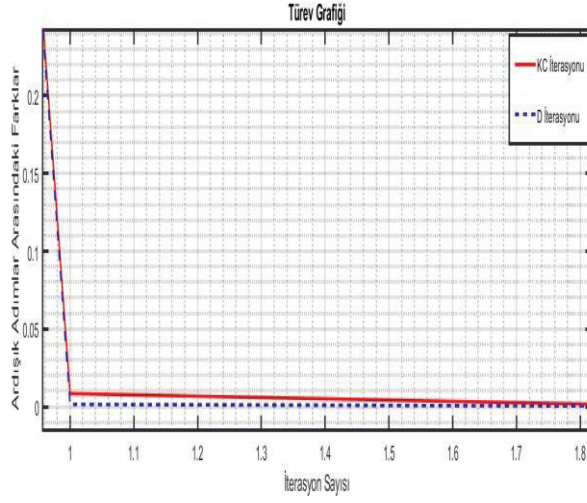
- 1)  $k = 0$  alınırsa  $\{\tau_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  Mann iterasyon yöntemi elde edilir.

2)  $k = 1$  alınırsa  $\{\xi_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  Picard-Mann iterasyon yöntemi elde edilir.

Bu durumda  $\{\tau_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  Mann iterasyon yöntemi ve  $\{\xi_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  Picard-Mann iterasyon yöntemi yeni tanımladığımız  $\{x_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterasyon yönteminin özel halleri olduklarından bu iterasyon yöntemleri de yakınsaktır. Ayrıca  $\{\rho_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  Karakaya iterasyon yöntemi ve  $\{\xi_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  Picard-Mann iterasyon yönteminin yakınsaklıkları denk olduğu [11]'de gösterildiğinden  $\{x_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ ,  $\{\tau_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  ve  $\{\rho_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative dizilerinin yakınsaklıkları denktir. Ayrıca [2] makalesinde Mann ve Picard-S iterasyonun denkliği de gösterildiğinden  $\{x_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ ,  $\{\tau_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ ,  $\{\sigma_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  ve  $\{\rho_n\}_{n \in \mathbb{N}}$  iterative dizilerinin yakınsaklıklarının denk olduğu elde edilir.

**Örnek 1**  $\Upsilon: [4,8] \rightarrow [4,8]$  tanımlı dönüşümü  $\Upsilon x = \sqrt{5x + 20}$ ,  $\Upsilon x = \frac{x^3 - 52}{3}$ ,  $\Upsilon x = 2x - 1$  şeklinde verilsin. Buna göre  $x_0 = 2$ ,  $\alpha_n = \frac{1}{12}$ ,  $\beta_n = \frac{1}{4}$ ,  $\theta_n = \frac{2}{3}$  ve  $k = 2$  alınmasıyla dönüşümün sabit noktasının KC ve D ile bulunuşu aşağıdaki tablo ve grafiklerde açık bir şekilde gösterilmiştir.



Tablo 1:  $Yx = \sqrt{5x + 20}$  için D ve KC Karşılaştırma

n	KC İterasyonu	D İterasyonu
1	2,000000000000000	2,000000000000000
2	7,615136270625990	7,622050559441750
3	7,623465074363420	7,623475094756890
4	7,623475370239290	7,623475382921500
5	7,623475382964050	7,623475382979790
6	7,623475382979780	<b>7,623475382979800</b>
7	<b>7,623475382979800</b>	7,623475382979800
8	7,623475382979800	7,623475382979800
9	7,623475382979800	7,623475382979800
10	7,623475382979800	7,623475382979800
11	7,623475382979800	7,623475382979800
12	7,623475382979800	7,623475382979800
13	7,623475382979800	7,623475382979800
14	7,623475382979800	7,623475382979800
15	7,623475382979800	7,623475382979800
16	7,623475382979800	7,623475382979800
17	7,623475382979800	7,623475382979800
18	7,623475382979800	7,623475382979800
19	7,623475382979800	7,623475382979800

## KAYNAKLAR

- 1) Q. Liu, A convergence theorem of the sequence of Ishikawa iterates for quasi-contractive mappings. *J. Math. Anal. Appl.* 146(2), 301–305 (1990).
- 2) V. Karakaya, Y. Atalan, K. Dogan, N.E.H. Bouzara, Some fixed point results for a new three steps iteration process in Banach spaces. *Fixed Point Theory* **18**, 625–640 (2017).
- 3) M.O. Aibinu and J.K. Kim, On the rate of convergence of viscosity implicit iterative algorithms, *Nonlinear Funct. Anal. Appl.*, 25(1) (2020), 135-152.
- 4) F. Ali, J. Ali and R. Rodriguez-Lopez, Approximation of fixed points and the solution of a nonlinear integral equation, *Nonlinear Funct. Anal. Appl.*, 26(5) (2021), 869-885.
- 5) A.H. Ansari, J. Nantadilok and M.S. Khan, Best proximity points of generalized cyclic weak  $(F; \cdot; ')$ -contraction in ordered metric spaces, *Nonlinear Funct. Anal. Appl.*, 25(1) (2020), 55-67.
- 6) V. Berinde, On the approximation of fixed points of weak contractive mappings, *Carpathian J. Math.*, 19 (2003), 7-22.
- 7) V. Berinde, Picard iteration converges faster than Mann iteration for a class of quasi-contractive operators, *Fixed Point Theory Appl.*, 2 (2004), 97-105.
- 8) V. Berinde, *Iterative approximation of fixed points*, Springer, Berlin, 2007.
- 9) R. Chugh, V. Kumar and S. Kumar, Strong convergence of a new three step iterative scheme in Banach spaces, *Amer. J. Comput. Math.*, 2 (2012), 345-357.
- 10) F. Gürsoy and V. Karakaya, A Picard-S hybrid type iteration method for solving a differential equation with retarded argument, arXiv:1403.2546 [Math.FA], (2014).  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1403.2546>.
- 11) V. Karakaya, Y. Atalan, K. Dogan and N.E.H. Bouzara, Some fixed point results for a new three steps iteration process in Banach spaces, *Fixed Point Theory*, 18(2) (2017), 625-640.

- 12) A. Malkawi, A. Talafhah and W. Shatanawi, Coincidence and fixed point results for generalized weak contraction mapping on b-metric spaces, *Nonlinear Funct. Anal. Appl.*, 26(1) (2021), 177-195.
- 13) W.R. Mann, Mean value methods in iteration, *Proc. Amer. Math. Soc.*, 4(3) (1953), 506-510.
- 14) M.A. Noor, New approximation schemes for general variational inequalities, *J. Math. Anal. Appl.*, 251 (2000), 217-229.
- 15) G.A. Okeke, Convergence analysis of the PicardIshikawa hybrid iterative process with applications, *Afr. Mat.*, 30 (2019), 817{835. <https://doi.org/10.1007/s13370-019-00686-z>.
- 16) W. Pheungrattana and S. Suantai, On the rate of convergence of Mann, Ishikawa, Noor and SP iterations for continuous on an arbitrary interval, *J. Comput. Appl. Math.*, 235 (2011), 3006-3914.
- 17) X. Weng, Fixed point iteration for local strictly pseudocontractive mapping, *Proc. Amer. Math. Soc.*, 113 (1991), 727-731.
- 18) M. A. Krasnosel'skii, Two observations about the method of successive approximations, *Usp. Mat. Nauk* 10 (1955), 123–127.
- 19) K. Basra, SS. Chauhan, Fixed point convergence and analysis for a new four step iterative scheme, *AIP Conference Proceedings* 2576, 020007 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0113199>.





“

## Bölüm 6

### NANOTEKNOLOJİ VE UYGULAMA ALANLARI

*Neslihan ÇELEBİ<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Doç. Dr. Atatürk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojisi Bölümü, Kimya Teknolojisi Programı Erzurum. nes25@atauni.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7157-5598>

## 1. Nanoteknolojinin Tanımı ve Tarihçesi

Nanoteknoloji 1 ila 100 nanometre arasında değişen yapıların ve bileşiklerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini inceleyen ve bu malzemelerin işlenmesini, tasarlanmasını, modellenmesini ve düzenlenmesini sağlayan multi disiplinler bir bilim dalıdır. Milyarda bir anlamına gelen “Nano” kelimesi Yunanca Cüce kelimesinden türetilmiştir. Nanometre metrenin milyarda birini yani hidrojen atomunun çapının 10 katını ifade etmektedir. (Parveen, Banse ve Ledwan, 2016). Nanoteknolojinin boyutuna ve ölçeğine ilişkin örnekler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

DNA çapı	2,5 nanometre x 1000	
Bakterinin boyu	2,5 mikrometre	← x 1000
Yağmur damlasının çapı	2,5 milimetre	←
Karbon <u>nanotüpün</u> çapı	1 nanometre x 100 000	
Saç telinin çapı	100 mikrometre	← x 100 000
Bir yatın boyu	10 metre	←
Bir <u>nanopartikülün</u> çapı	4 <u>nanometre</u> x 1 000 000	
Karıncanın boyu	4 milimetre	← x 1 000 000
Motor yarış pistinin boyu	4 kilometre	←

**Tablo 1.** Nanoteknolojinin boyutuna ve ölçeğine ilişkin örnekler

Nanoparçacıkların kullanımının modern bilimin gelişmesiyle ortaya çıktığı düşünülse de, çok uzun bir geçmişi vardır. Nanopartiküller, dokuzuncu yüzyıla kadar Mezopotamya’da zanaatkarlar tarafından çömleklerin yüzeyinde ısıtılı bir etki yaratmak için kullanıldı (K. Parveen, V. Banse ve L. Ledwan, 2016). Orta çağdan ve Rönesans döneminden kalan çömlekler genellikle farklı altın veya bakır renginde metalik parlaklıklarını günümüzde bile, korumaktadır. Cam eşyaların parlaklığına yüzeylerine uygulanan metalik bir film tabakası sebep olmaktadır. Film atmosferik oksidasyona ve diğer hava koşullarına maruz kalmasına rağmen parlaklık yine de görülebilir. Parlaklık, seramik sırnı camsı matrisinde homojen olarak dağılmış gümüş ve bakır nano parçacıklarını içeren filmden kaynaklanmaktadır. Bu nano parçacıklar, zanaatkarlar tarafından, daha önce sırlanmış çanak çömleklerin yüzeyine sirke, hardal sarısı ve kil ile birlikte gümüş ve bakır tuzları ve oksitler eklenerek oluşturulmuştur. Daha sonra bu çanak çömlekler bir fırına yerleştirilerek indirgeyici bir atmosferde yaklaşık 600 °C’ye ısıtılmıştır. Uygulanan bu ısıda sır yumuşayarak, bakır ve gümüş iyonlarının sırnın dış katmanlarına göç etmesi sağlanmıştır. Metaller indirgeyici atmosfer varlığında iyonlara indirgenip bir araya gelerek renk ve optik efektler veren nanopartikülleri oluştururlar. Parlaklık teknikleri, eski zanaatkarların malzemeler hakkında ileri düzeyde deney-

sel bilgilere sahip olduğunu göstermektedir. (K. Parveen, V. Banse ve L. Ledwan, 2016; Ş. Erkoç, 2011).

Michael Faraday, 1857 yılında yayınlanan makalesinde, metallerin nanometre ölçekli optik özelliklerinin farklılaştığına dair ilk bilimsel çalışmalarını yaptı. Faraday'ın bu çalışmasından sonra Turner bir makalesinde; altın veya gümüşün ince yaprakları cam üzerine monte edildiğinde ve 500 °C'nin altında bir ısıtıldığında özelliklerinde önemli bir değişiklik meydana geldiğini ifade etti (K. Parveen, V. Banse ve L. Ledwan, 2016). Günümüzde atomların nanoboyutlarda bir araya getirildiklerinde elektrik, manyetik, optik ve mekanik davranışlarında ilginç özellikler gösterdikleri bilinmektedir. Örneğin altının renginin sarı olduğunu hepimiz biliriz. Fakat nanoboyutta bir araya getirilmiş birkaç altın atomundan oluşan nanomalzemenin rengi ise yeşildir. Bu yüzden değişik element atomlarının nanoboyutta bir araya getirilmesi ile meydana gelen özellikler, araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Yeni bulunabilecek sıradışı özellikler malzeme biliminde çok önemli yeni gelişmelere sebep olacaktır. Özelliklerini ve işlevlerini kontrol edebileceğimiz akıllı malzemelerin ortaya çıkması, bu malzemelerin günlük hayatımızda kullanılabilir hale getirilmesi bilim adamlarının temel hedefleri arasındadır (K. Parveen, V. Banse ve L. Ledwan, 2016; Ş. Erkoç, 2011).

Modern anlamda, Richard Feynman'ın 1959'da "En altta yeterli alan var" başlıklı konuşması nanoteknoloji hareketinin başlangıcı sayılmaktadır. Feynman ifadesinde atomları ve molekülleri kontrol altına alabileceğimizi ve atomik düzeyde yerçekimi kuvvetinin önemini azalacağını, Van der Waals benzeri zayıf kuvvetlerin ise önemini artacağını bildirmiştir. 1965 yılında kuantum elektrodinamiği konusunda Nobel Fizik ödülünü kazanan Feynman'ın 24 ciltlik Britanica ansiklopedilerini neden bir toplu iğne başı büyüklüğüne sığdırmayalım gibi öngörülerini nanoteknolojinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (K. Parveen, V. Banse ve L. Ledwan, 2016; Ş. Erkoç, 2011; I. Baig, I. Kammakakam ve W. Falathabe, 2021).

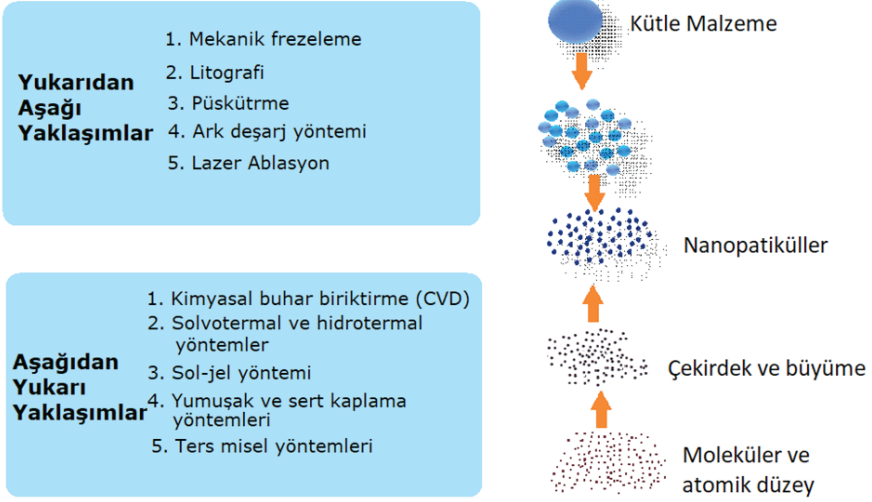
Nanoteknoloji terimini olarak ilk kez Japon asıllı araştırmacı Prof. Dr. Norio Taniguchi'nin "Nanoteknolojinin Temel Konsepti Üzerine" başlıklı makalesinde dile getirmiştir. Tokyo Bilim Üniversitesinden Prof. Dr. Norio Taniguchi, 1974 yılında yayınlanan makalesinde nanoteknolojiyi "hassasiyeti artırmak için mevcut teknolojinin azaltılmasına dayanan bir teknoloji" olarak tanımlanmıştır. Bu tanım 1986 yılında Drexler tarafından "Yaratılış Motorları: Nanoteknolojinin Yaklaşan Dönemi" adlı kitabında derinleştirilerek incelenmiştir (K. Parveen, V. Banse ve L. Ledwan, 2016; Ş. Erkoç, 2011; I. Baig, I. Kammakakam ve W. Falathabe, 2021).

Feyman'ın öngörülerini 1980 yılına kadar gerçekleştirilememiştir. 1981 senesinde Heinrich Rohrer ve Gerd Karl Binnig, elektron mikroskopuyla gösterilemeyen atom parçacıklarının 2000 defa büyütme kapasitesi olan ve atomik boyutta çözünürlük elde edilen Tarama Tünel Mikroskopunun keşfedilmesi ile atom ve bağların daha önce yapılandan farklı bir şekilde görüntülenmesini sağlamıştır. 1986 yılında fullerenler ve 1991 yılında karbon nanotüplerin bulunması ile nanoteknoloji alanında yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. 2001 yılında nanolaser'in bulunması ile bu konuda yapılan çalışmalar yaygınlaşmıştır. Nano ölçekte ölçme ve görüntüleme yapabilen mikroskoplar ile karbon nanotüplerin keşiflerinin, nanoteknolojinin gelişmesi ve yaygınlaşmasında dönüm noktası oldukları söylenebilir.

Nanoteknoloji, birçok teknoloji ve endüstri sektörünün önemli ölçüde iyileştirilmesine; bilgi teknolojisi, ulusal güvenlik, ulaşım, enerji, tıp, gıda güvenliği ve doğa bilimi gibi pek çok sahada devrim yaratmasına sebep olmaktadır. Günümüzde nanomalzemeler, çizilmez boyalarda, yüzey kaplamalarında, elektronikte, kozmetikte, çevresel iyileştirmede, spor ekipmanlarında, sensörler ve enerji depolama cihazlarının yapımlarında biyolojide ve tıpta yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

## 2. Nanomalzemelerin Sentezi

Nanomalzemelerin sentezi için iki ana yaklaşım kullanılmaktadır. 1. Yukarıdan aşağıya yaklaşımlar ve 2. Aşağıdan yukarıya yaklaşımlar. Yığın bir malzemenin daha küçük moleküller yapmak için fiziksel olarak parçalanmasını esas alan yöntemler yukarıdan aşağıya yaklaşımlar olarak tanımlanır. Yukarıdan aşağıya yöntemler; öğütme, lazerle kesme ve kıvılcımla kesmeyi içerir. Aşağıdan yukarıya yaklaşım ise atomik boyutlu malzemelerin nihai nanopartiküllere çekirdeklenmesine dayanır. Aşağıdan yukarıya yöntemler ise Turkevich yöntemi (sitrat indirgeme), gaz fazı sentezi, blok kopolimer sentezi ve mikrobiyal sentezi içermektedir. (I. Baig, I. Kammakakam ve W. Falathabe, 2021; R. Nagarajan, 2008; W. J. Stark, P. R. Stoessel, W. Wohlleben ve A. Hafner, 2015). Nanomalzemelerin sentez yöntemleri Şekil 1. de gösterilmiştir.



Şekil 1. Nanomalzemelerin sentez yöntemleri.

## 2.1. Yukarıdan Aşağıya Yaklaşımlar

Yukarıdan aşağıya yaklaşımlarda, yığın malzemeler, yapay yapılı malzemeler üretmek için parçalanarak bölünür. Yukarıdan aşağıya yöntemler arasında mekanik frezeleme, litografi, püskürtme, ark deşarj yöntemi ve lazer ablasyonu gibi yöntemler yer alır (I. Baig, I. Kammakam ve W. Falathabe, 2021).

1. Mekanik frezeleme : Genellikle nanokompozitlerin üretiminde kullanılan, yığın malzemelerden nano ölçekte malzeme üretmek ve farklı fazların karışımlarını elde etmek için uygun maliyetli bir yöntemdir.

2. Litografi: Nano yapılar geliştirmek için odaklanmış bir ışık demeti veya elektronlar kullanılmaktadır. Maskeli litografi ve maskesiz litografi olarak iki gruba ayrılır. Maskesiz litografide, nano model yazımı, bir maske kullanılmadan gerçekleştirilirken maskeli litografide, desenler belirli bir maske veya şablon kullanılarak geniş bir yüzey alanına aktarılır.

3. Püskürtme : Nanomalzemelerden ince nano filmler yapmak için etkili bir yöntem olarak kabul edilen püskürtme yöntemi, katı yüzeyleri plazma veya inert gazlarla bombardıman ederek nanomalzemeler üretmek için kullanılan yöntemdir. Püskürtme biriktirme işleminde, yüksek enerjili gazlı iyonlarla hedef yüzeyi bombalayarak, yüzeyden küçük atom kümelerinin fiziksel olarak koparılması sağlanır.

4. Ark deşarj yöntemi : Bu yöntem, birkaç katmanlı grafen (FLG) ve biçimli küresel karbon nanopatiküller gibi karbon bazlı malzemeler üre-

tilmesinde ve fullerenler, karbon nanotüpler gibi nanoyapılı malzemelerin üretimi için kullanılmaktadır.

5. Lazer ablasyonu : Hedef olarak kullanılacak malzemeye güçlü bir lazer ışınları uygulanarak nanopartikül üretimini içerir. Lazer ablasyon işlemi sırasında lazer ışınımının yüksek enerjisi nedeniyle kaynak malzeme veya öncü madde buharlaşarak nanopartikül oluşumuna neden olur. Lazer ablasyonu yöntemi nanoparçacıkların üretiminde stabilize edici maddeler veya diğer kimyasallar kullanılmadığı için yeşil bir teknik olarak kabul edilebilir. Bu teknikle metalnanopartiküller, karbonnanomalzemeler, oksit kompozitler ve seramikler gibi çok çeşitli nanomalzemeler üretilebilir.

## 2.2.Aşağıdan Yukarıya Yaklaşımlar

Aşağıdan yukarıya yaklaşımlarda, atom veya molekül düzeyinden çekirdek oluşumu ve gelişimi süreçleri aşamasından nanopartiküller oluşturulur. Aşağıdan yukarıya yöntemler arasında kimyasal buhar biriktirme (CVD), solvotermal ve hidrotermal yöntemler, sol-jel yöntemi, yumuşak ve sert kalıplama yöntemleri ve ters misel yöntemleri gibi yöntemler yer alır (I. Baig, I. Kammakakam ve W. Falathabe, 2021).

1. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) : Kimyasal buhar toplama yöntemleri, karbon bazlı nanomalzemelerin üretiminde büyük öneme sahiptir. Yeterli uçuculuğa, yüksek kimyasal saflığa, buharlaşma sırasında iyi kararlılığa, düşük maliyete, uzun raf ömrüne sahip buhar fazlı öncüllerin kimyasal reaksiyonuyla substrat yüzeyinde ince bir film oluşturulur.

2. Solvotermal ve hidrotermal yöntemler : Nanoyapılı malzemeleri üretmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan hidrotermal yöntemde, nanoyapılı malzemeler, kapalı bir kaptaki yüksek basınç ve sıcaklıkta sulu ortamda oluşturulan heterojen bir reaksiyon yoluyla meydana getirilir. Reaksiyon susuz bir ortamda gerçekleştirildiğinde ise Solvotermal yöntem adını almaktadır.

3. Sol-jel yöntemi : Bu metot, değişik yüksek kaliteli metal oksit bazlı nanomalzemelerin oluşturulması için kullanılan ıslak kimyasal bir tekniktir.

4. Yumuşak ve sert kalıplama yöntemleri : Nano gözenekli malzemeler üretmek için yaygın olarak kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Yumuşak şablon yönteminin, kolay uygulanması, nispeten basit deneysel koşulları gerektirmesi ve çeşitli morfolojilere sahip malzemelerin geliştirilmesine imkan tanınması nedeniyle avantajlı olarak kabul edilmiştir.

5. Ters misel yöntemleri : İstenilen form ve ebatlarda nanomalzemeler elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Suda yağ emülsiyonu, hidrofobik kuyrukların yağ damlacıkları tutmuş bir çekirdeğe yönelik olduğu normal

misellerle sonuçlanır. Bununla birlikte, hidrofilik başların su barındıran bir çekirdeğe doğru yöneldiği yağ içinde su emülsiyonu pozisyonunda ters miseller oluşur. Nanopartiküllerin sentezinde ters misellerin çekirdeği, bir nanoreaktör gibi çalışır. Bu yöntemle sentezlenen nanopartiküllerin boyutunu etkileyen sürfaktan-su oranı değiştirilerek nanoreaktörlerin boyutu, kontrol edilebilir.

### 3. Nanoteknolojinin Avantaj ve Dezavantajları

Nanoteknoloji, güncel ve hızlı işlem yapan bilgisayar türleri, daha performanslı güç kaynakları ve hayat kurtarıcı tıbbi tedaviler için potansiyel sunan geleceğin bilim dalı olarak görülse de içerdiği ekonomik, güvenlik, mahremiyet, sağlık ve çevreye yönelik olası tehditler nedeniyle birçok potansiyel dezavantajlara da sahiptir. Nanoteknolojinin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir. Şekil 2. de nanoteknolojinin avantaj ve dezavantajları özetle gösterilmiştir. (K. Parveen, V. Banse ve L. Ledwan, 2016; <https://www.iberdrola.com/innovation/nanotechnology-applications>).

Nanoteknolojinin Avantajları :

Nanoteknolojinin avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

Nanoteknolojinin büyük ölçüde katkıda bulunmuş sahalar içinde bilgi işlem ve elektronikteki ilerlemeler gelmektedir. Giderek daha büyük miktarlarda bilgiyi yöneten ve depolayan hızlı, küçük ve taşınabilir sistemlere yol açmıştır. Nanoteknoloji kullanılarak plazma ekranlar, nano transistörler, kuantum bilgisayarlar, nano diyotlar üretilmiştir.

Nanoteknoloji alanında dünyanın karşı karşıya kaldığı enerji krizine karşı geleneksel enerji kaynaklarından faydalanarak alternatif enerji yaklaşımları konusunda önemli çalışmalar yapılmaktadır. Birçok bilim insanı temiz, düşük maliyetli ve yenilenebilir enerji kaynakları geliştirmenin yollarını ve enerji tüketimini azaltmanın ve çevre üzerindeki toksisite yükünü azaltmanın yollarını aramaktadır. Daha küçük ve daha verimli cihazlarda daha etkili enerji üreten, enerji soğuran ve enerji depolayan ürünlerin geliştirilmesi bu teknoloji ile mümkün olabilecektir.

Nanoteknolojiden yararlanabilecek diğer bir endüstri alanı ise malzeme ve imalat sektörüdür. Bu sektörde hafif, güvenli, daha akıllı ve daha verimli cihazlar, uçaklar, uzay araçları ve gemiler inşa etmeye katkıda bulunacak çok işlevli malzemeler geliştirmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Tıp dünyasında, nanoteknoloji alanında yapılan çalışmalara çok önem verilmektedir. Nanoteknoloji klinisyenler için mevcut olan tıbbi araçları, bilgileri ve tedavi yöntemlerini geliştirmektedir. Nanotıp alanında hastalıkların önlenmesi, teşhisi ve tedavisi daha hızlı ve diğer geleneksel ilaç-

ların sahip olduğu yan etkiler olmadan iyileştirmeye yardımcı olabilecek akıllı ilaçlar olarak adlandırılan ilaçların üretilmesinde çok önemli gelişmeler sağlanmıştır. Ayrıca tıpta nanoteknoloji konusunda araştırmacılar, doku yenilenmesi, kemik onarımı, bağışıklık, kanser, diyabet ve diğer hayatı tehdit eden hastalıkların tedavisi gibi alanlarda çalışmalar yapmaya devam etmektedir.

## Avantajlar



Şekil 2. Nanoteknolojinin avantajları.

Nanoteknolojinin Dezavantajları :

Nanoteknolojinin dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

Nanoteknolojinin gelişmesi çeşitli iş kollarında çalışan insan ihtiyacının azalmasına ve iş kayıplarına neden olabilir. Ancak bu teknolojinin gelişmesinin yeni iş sahalarının oluşmasına da yol açabileceğini göz ardı etmemek gerekmektedir.

Ayrıca, nanoteknolojinin gelişiminin, daha verimli ve kullanım gerektirmeyen alternatif enerji kaynakları geliştirme olasılığı nedeniyle fosil yakıtların, petrol ve elmasın değerinin düşmesi nedeniyle ekonomik olarak belirli pazarların çökmesine neden olabilir.



Nanoteknoloji disipline edilmediği takdirde güvenliği tehlikeye atabilir. Bu teknolojinin özellikleri casusluğu, nanosilahların ve akıllı mermilerin üretimini kolaylaştırabilir. Bu silahlar daha erişilebilir, güçlü ve daha yıkıcı hale getirilebilir.

Bu parçacıklar çok küçük olduğu için, bu küçük parçacıkların solunması, bir kişinin çok küçük asbest parçacıklarını solumasından kaynaklanan problemlere çok benzer şekilde problemler ortaya çıkarabilir.

Günümüzde gelişmiş bir çok ülkede nanoteknoloji alanında yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar çok yüksek maliyetli olduğu için ülke ekonomilerine ağır yükler getirmektedir.

### Dezavantajlar



Çevreyi tehdit edebilir. Bu tür bir teknoloji, yeni toksinler ve kirleticiler üreterek çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir.



İstihdam piyasasını etkileyebilir. Eski malzemeler ve üretim süreçlerindeki değişiklikler. İş kaybına neden olabilir, ancak bu teknoloji başka işler yaratabilir.



Güvenliği tehlikeye atar. Bu teknolojinin özellikleri casusluğu, nanosilahların ve akıllı mermilerin üretimini kolaylaştırabilir.

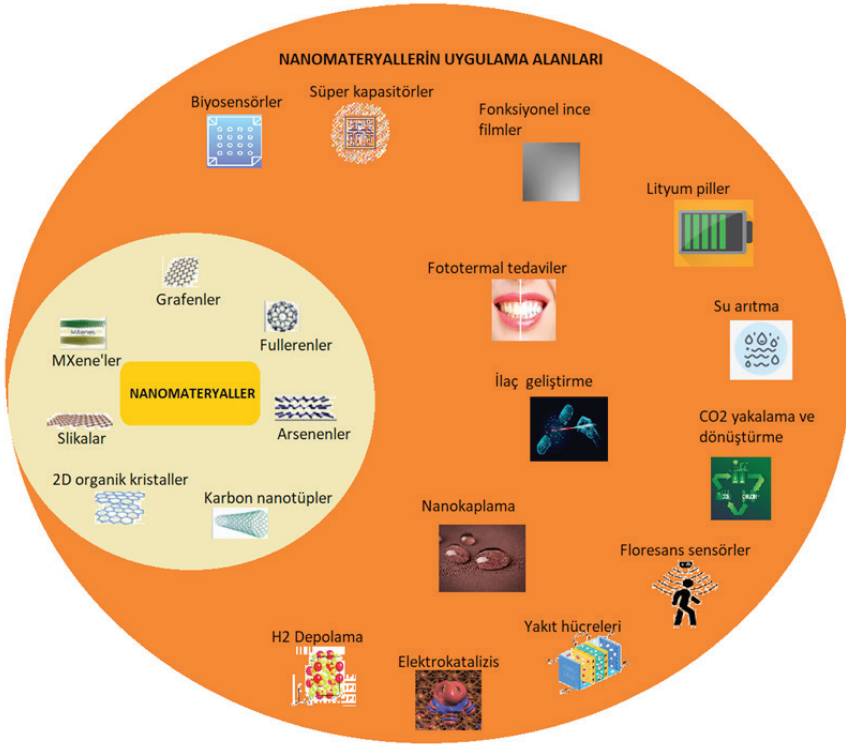


Şekil 3. Nanoteknolojinin dezavantajları.

### 4. Nanoteknolojinin Uygulama Alanları

Nanoteknolojinin uygulama alanları geniş olmakla beraber bazı alanlarda etkisi daha da fazladır. Nanoteknoloji, önemli ölçüde iyileştirilmiş performanslara sahip ürünler üretmek için büyük potansiyele sahip tasarlanmış nanomalzemeler sunan, gelişmekte olan teknolojinin mükemmel

bir örneğidir. Bilim ve teknoloji, tıp, elektronik, endüstri mühendisliği, çevre koruma ve hatta askeri alanlarda nano malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Nanomalzemelerin bir kısmı halen dünyadaki çeşitli laboratuvarlarda geliştirilme ve araştırılma sürecindeyken, bu nanomalzemelerin bir kısmı şimdiden toplumda farklı alanlarda kullanılmaktadır. Nanomalzemelerin uygulamaları arasında yakıt hücrelerini, pilleri, katalizörleri, boyaları, nanotüp kompozitleri, yakıt katkı maddelerini, OLED ekranları, işlenebilir seramikleri, manyetik malzemeleri, tıbbi implantları, su arıtma tekniklerini ve askeri savaş kıyafetlerini sayabiliriz. Nanoteknoloji için en iyi uygulamalardan bazılarını belli başlıklar altında inceleyelim.



Şekil 4. Nanomateryaller ve nanomateryallerin uygulama alanları

#### 4.1. Malzeme ve İmalat Sektöründeki Çalışmalar

Nanoteknoloji kullanılarak hazırlanan malzemeler, diğer birçok özelliğinin yanı sıra etkili bir şekilde daha güçlü, daha hafif, daha dayanıklı, daha reaktif, programlanabilir malzemeler olması, daha az malzeme

kullanımı, üretim aşamalarında daha az enerji gereksinimi olması ve atık malzeme üretmemesi gibi pek çok avantaja sahiptir. Nanoteknoloji ile doğada bulunmayan fakat üretildiğinde bir çok avantaja sahip olan düşük maliyetli üretim metotları ile farklı ürünler geliştirilebilir. Bu kısımda ticari olarak ta üretilen bu ürünlerden örnekler verilecektir.( S. Mobasser ve A. A. Firoozi,2016; M. Kaur, G. Singh ve K. Khanna, 2015; M. C. Roco, C. A. Mirkin ve M. C. Hersam, 2010).

Günümüzde kırışmaya, lekelenmeye ve bakteri oluşumuna karşı dayanıklı kumaşların üretimi yapılmaktadır. Nano ölçekli malzemeler kullanılarak üretilen nano ölçekli sensörler ve elektroniklerle donatılmış yıkanabilir, dayanıklı akıllı kumaşlar ile sağlığımızın izlenmesi gibi konularda çalışmalar hızla sürdürülmektedir (S. Mobasser ve A. A. Firoozi,2016; M. Kaur, G. Singh ve K. Khanna, 2015; M. C. Roco, C. A. Mirkin ve M. C. Hersam, 2010).

Nanomalzemeler kullanılarak hafifleştirilen uçakların, teknelerin, arabaların, kamyonların, ve uzay araçlarının kullanılması yakıtta önemli ölçüde tasarruf sağlayabilir. Polimer kompozit malzemelerdeki nano ölçekli katkı maddelerinin tenis raketlerinde, bisikletlerde, motosiklet kasklarında, otomobil parçalarında, valizlerde ve elektrikli alet gövdelerinde kullanılması, bu ürünlerin hafif, sert, dayanıklı ve esnek karakter kazanmalarını sağlamaktadır (S. Mobasser ve A. A. Firoozi,2016; M. Kaur, G. Singh ve K. Khanna, 2015; M. C. Roco, C. A. Mirkin ve M. C. Hersam, 2010).

Enzimlerin nanobiyomühendisliği, odun yongalarından, mısır saplarından, döllenenmiş çok yıllık otlardan vb. selülozun yakıt için etanole dönüştürülmesini sağlamayı hedeflemektedir. Selülozik nanomalzemeler, elektronik, inşaat, paketleme, gıda, enerji, sağlık, otomotiv ve savunma dahil olmak üzere çok çeşitli endüstriyel sektörlerde de uygulanmaktadır. Selülozik nanomalzemelerin diğer birçok nanomalzemededen daha ucuz olduğu ve diğer özelliklerinin yanı sıra etkileyici bir güç-ağırlık oranı sağladığı tahmin edilmektedir. Nano ölçekli malzemeler, çeşitli kişisel bakım ürünlerinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Nano ölçekli titanyum dioksit ve çinko oksit, güneşten korunmak için yıllardır güneş kremlerinde kullanılmaktadır ( S. Mobasser ve A. A. Firoozi,2016; M. Kaur, G. Singh ve K. Khanna, 2015; M. C. Roco, C. A. Mirkin ve M. C. Hersam, 2010).

Nanoyapılı seramik kaplamalar, makine parçaları için geleneksel malzemelere nazaran aşınmaya karşı çok daha fazla dayanıklıdır. Bu da elektrikli aletlerden endüstriyel makinelere kadar her yerde hareketli parçaların ömrünü önemli ölçüde uzatabilir.

Nanopartiküller, kimyasal reaksiyonları hızlandırmak için reaksiyonları katalizlemede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu durumda kulla-

nılan katalitik malzeme miktarı azalır dolayısıyla çevre kirliliği azaltılmış olur.

Nano mühendislik ürünü malzemeler, yağ gidericiler ve leke çıkarıcılar; çevresel sensörler, hava temizleyiciler ve filtreler; antibakteriyel temizleyiciler; ve kire ve lekelerle karşı dayanıklı, kendi kendini temizleyen ev boyaları gibi özel boyalar ve yalıtım malzemelerinin üretiminde de kullanılmaktadır. (S. Mobasser ve A. A. Firoozi,2016; M. Kaur, G. Singh ve K. Khanna, 2015; M. C. Roco, C. A. Mirkin ve M. C. Hersam, 2010)

## **4.2. Nanoelektronik ve Bilgisayar Teknolojisi Alanındaki Çalışmalar**

Nanoteknoloji konusunda elektronik ve bilgi işlem alanında yapılan çalışmalar daha hızlı, daha küçük ve daha taşınabilir sistemlerin kullanılmasını sağlamıştır. Aslında nanoelektronikğin amacı, maddenin makroskobik özelliklerinden belirgin şekilde farklı olan nano ölçekli özelliklerinden yararlanarak bilgiyi işlemek, iletmek ve depolamaktır. Nanoteknolojinin elektronik ve bilgisayar teknolojilerinde uygulamalarını aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz (M. C. Roco, C. A. Mirkin ve M. C. Hersam, 2010) .

Nanoteknoloji televizyonlarda, dizüstü bilgisayarlarda, dijital kameralarda, cep telefonlarında kullanılmaktadır. OLED' ler olarak bilinen nanoyapılı polimer filmler birçok cihazda kullanılmaktadır. Enerji açısından daha verimli ve daha canlı renkler üretmek için kuantum noktalarını kullanan ultra yüksek çözünürlüklü ekranlar ve televizyonlar artık ticari olarak satılmaktadır.

Pek çok elektronik cihazlarda kullanılan transistörler, nanoteknoloji sayesinde gittikçe küçülmüştür. Başlangıçta bir transistörün boyutu 130 ila 250 nanometre arasında iken günümüz teknolojisinde daha küçük nanometrik transistörler kullanılmaktadır. Gelecekte daha da küçük, daha hızlı ve daha iyi transistörler yardımıyla bilgisayarların tüm belleği tek bir küçük çipte depolanabilecektir.

Esnek, bükülebilir, katlanabilir, yuvarlanabilir ve gerilebilir elektronikler bir çok sektörde kullanılmaktadır. Bu elektronikler giyilebilir ürünler, tıbbi uygulamalar, havacılık uygulamaları gibi çeşitli sektörlerde ürünlere entegre edilmektedir. Grafen ve selülozik nanomalzemelerden, giysi üzerine dikilebilen fotovoltaikler ve rulo haline getirilebilen elektronik kağıt elde edilmektedir.

Bunlarla beraber, bilgi işlem ve elektronik ürünler arasında akıllı telefonlar ve parmak sürücüler için flash bellek çipleri, ultra duyarlı işitme cihazları; klavyelerde ve cep telefonu kasalarında antimikrobiyal/antibakteriyel kaplamalar ve e-kitap okuyucuları için esnek ekranlar sayılabilir.

Nanopartikül bakır süspansiyonları, montaj sürecinde elektronikleri kaynaştırmak için yaygın olarak kullanılan kurşun bazlı lehim ve diğer tehlikeli malzemelere göre daha güvenli ve daha ucuz bir alternatif olarak geliştirilmiştir.

### 4.3. Havacılık ve Uzay Alanındaki Çalışmaları

Günümüz teknolojilerinde uzay yolculuklarında gerekli olan yakıt ağırlık ve hacim olarak sınırlı miktarlarda alınabilmektedir. Nanomalzemeler kullanılarak üretilecek olan uzay taşıtları sayesinde roket yakıtı miktarını azaltarak, yörüngeye ulaşma ve uzayda seyahat etme maliyetleri düşürebilir. Nanosensörler ve nanorobotlarla birleştirilen nanomalzemeler, uzay gemilerinin, uzay giysilerinin kullanılan ekipmanların performansını iyileştirerek uzay çalışmalarında önemli gelişmelere neden olmaktadır. Uzay uçuşlarında nanoteknolojinin kullanımı konusunda araştırmacılar çeşitli bilim dallarında araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmaktadır. ( M. C. Roco, C. A. Mirkin ve M. C. Hersam, 2010; H. Helvajian, S. W. Janson ve E. Y. Robinson, 1997) Bu çalışmaları kısaca özetleyelim.

Uzay gemilerinin ağırlığını azaltmak için karbon nanotüplerden yapılan malzemelerin kullanılması, aynı zamanda yapısal dayanıklılığın korunması ve hatta artırılmasını sağlamaktadır.

Karbon nanotüpleri kullanarak bir uzay asansörü için gerekli kablo yapılmak, yörüngeye malzeme gönderme maliyetini önemli ölçüde azaltabilecektir.

Uzay giysilerindeki biyo-nanorobot katmanlar uzay giysisine verilen hasarlara tepki verecektir. Biyo-nano robotlardan oluşan bir iç katman, astronotun bir sorunla karşılaştığında örneğin tıbbi bir acil durumda ilaç sağlayarak yanıt verebilecektir.

Mars gibi gezegenlerin geniş alanlarında su veya diğer kimyasal izleri aramak için bir nanosensör ağı kurulabilir.

Nanopartikülleri hızlandırmak için MEMS (Mikro Elektrik Mekanik Sistemler) cihazlarını kullanan uzay araçları için iticiler üretilmesi, gezegenler arası görevler için kullanılan itici sistemlerinin ağırlığını ve karmaşıklığını azaltacaktır. Bir uzay aracını itmek için ayna benzeri güneş hücresine yansıyan güneşten gelen ışığın basıncını kullanan hafif güneş yelkenleri inşa etmek için karbon nanotüpler kullanılabilir.

Yaşam destek sistemlerinin performansını izlemek için uzay aracındaki eser kimyasalların seviyelerini takip etmekte nanosensörler kullanılabilir.

#### 4.4. Enerji Alanındaki Çalışmalar

Nanoteknolojinin enerjinin verimli kullanılmasında, depolanmasında ve üretilmesinde önemli etkileri vardır. Günümüzde bütün dünya bir enerji krizi ile karşı karşıya bulunmaktadır. Nanoteknoloji, hem geleneksel enerji kaynaklarının (fosil ve nükleer yakıtlar) hem de jeotermal enerji, güneş, rüzgar, su, gelgitler veya biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının geliştirilmesi için çalışmalar yaparak dünyanın artan enerji taleplerini karşılamaya yönelik alternatif enerji yaklaşımlarını geliştirmektedir. Birçok araştırmacı, uygun fiyatlı ve yenilenebilir enerji kaynakları geliştirmenin yollarını ve enerji tüketimini azaltmanın ve çevre üzerindeki toksisite yükünü azaltmanın yollarını aramaktadır (M. Kaur, G. Singh ve K. Khanna, 2015; M. C. Roco, C. A. Mirkin ve M. C. Hersam, 2010; E. Serrano, G. Rus ve J. Garcı'a-Martı'nez, 2009). Bu alanda yapılan çalışmaları maddeler halinde sıralayalım;

Nanoteknoloji, petrol arıtma ve otomotiv katalitik konvertörlerinde daha iyi kataliz yoluyla ham petrol malzemelerinden yakıt üretiminin verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca, daha yüksek verimli yanma ve azaltılmış sürtünme sayesinde araçlarda ve enerji santrallerinde yakıt tüketiminin azalmasını sağlamaktadır.

Açık deniz operasyonlarında nanoteknoloji destekli gaz kaldırma vanalarının kullanımı ve mikroskobik kuyu dibi petrol boru hattı çatlaklarını tespit etmek için nanopartiküllerin kullanımıyla petrol ve gaz çıkarılması alanında da uygulanmaktadır.

İletim gücü kaybını azaltmak için elektrik şebekesinde kullanılan yüksek gerilim tellerinden çok daha düşük dirence sahip olacak karbon nanotüpler içeren teller geliştirilmektedir.

Nanoteknoloji, güneş ışığını elektrik enerjisine daha verimli bir şekilde dönüştürmek için güneş panellerinde kullanılabilir. Nanoyapılı güneş pillerinin üretimi daha ucuz ve kurulumu daha kolay olabilir. Üreticiler, rulo haline getirilebilen esnek paneller üretebilir ve ayrı paneller yerine esnek rulolar halinde güneş panelleri yapılabilir. Polimer güneş pillerinin, uygun malzeme ve üretim yöntemlerinin yanı sıra esnek tasarımı nedeniyle özellikle taşınabilir elektronik cihazların temini konusunda yüksek potansiyele sahip olduğu bulunmuştur.

Nanoteknoloji, daha hızlı şarj olan, daha verimli, daha hafif, daha yüksek güç yoğunluğuna sahip ve elektrik yükünü daha uzun süre tutan birçok yeni türde pil geliştirmek için kullanılmaktadır.

Rüzgar türbinlerinin üretebileceği elektrik miktarını artırmak için, mevcut kanatlardan daha uzun, daha güçlü ve daha hafif olan kanatlar yapmak için karbon nanotüpler içeren bir epoksi kullanılmaktadır.

Araştırmacılar hareket halindeyken ışık, sürtünme ve/veya vücut ısısından mobil güce kadar kullanılabilir enerji üretmek için bilgisayar kasalarına takılabilen ince film güneş elektrik panelleri ve giysilere dokunan esnek piezoelektrik nanoteller geliştirmektedirler. Benzer şekilde, bilgisayarlardaki, otomobillerdeki, evlerdeki, enerji santrallerindeki vb. atık ısıyı kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürmek için çeşitli nanobilim tabanlı çalışmalar devam etmektedir.

#### 4.5. Çevre Alanındaki Çalışmalar

Nanoteknoloji, çok çeşitli çevre sorunlarına yenilikçi çözümler sağlamak için önemli bir potansiyele sahiptir. Çevre güvenliği konusunda nanoteknolojik çalışmalar; su arıtmak, alternatif enerji kaynaklarını daha uygun maliyetli hale getirmek, kirliliği azaltmak gibi çevre ve canlılar için çok önemli hususları içerir. Nanoteknolojinin çevre ile ilgili çalışmalarda temel hedefi aynı zamanda potansiyel çevresel faydaları olan nanomalzemelerin güvenli tasarımını ve bu malzemelerin sürdürülebilir gelişiminin teşvik edilmesidir. Nanoteknoloji enerji verimliliğini iyileştirmeye yardımcı olabileceği gibi çevresel kirleticileri tespit etmeye ve temizlemeye yardımcı olabilecek potansiyele sahiptir (A. A. Beni ve H. Jabbari,2022; C. M. Hussain, 2018). Bu konudaki gelişmeler aşağıda özetlenmiştir.

Nanoteknoloji, sudaki safsızlıkların hızlı, düşük maliyetli tespiti ve arıtılması yoluyla uygun fiyatlı, temiz içme suyu ihtiyacını karşılamaya yardımcı olabilir. Yeraltı sularındaki endüstriyel su kirleticilerini, kimyasal reaksiyonlarla zararsız hale getirerek temizleyebilmek için bir çok nanopartikül geliştirilmektedir. Bu işlem, arıtma için suyun yerden dışarı pompalanmasını gerektiren yöntemlerden daha uygun maliyetlidir.

Araştırmacılar, temizlik uygulamaları için ağırlığının 20 katını yağda emebilen küçük potasyum mangan oksit tellerinden dokunmuş bir nanokumaş “kağıt havlu” geliştirmişlerdir. Ayrıca petrol sızıntılarındaki çevre kirliliğinin önüne geçmek için manyetik su itici nanoparçacıklar yerleştirerek yağı sudan mekanik olarak çıkarmayı başarmışlardır.

Fiber malzemelerin gözeneklerinin boyutlarından daha büyük parçacıkları yakalayan nano ölçekli gözeneklerin oluşturduğu “mekanik filtrelemeye” izin veren nanoteknoloji tabanlı filtreler uçak kabini ve diğer bir çok hava filtresi kullanılan yerlerde uygulama alanı bulmaktadır.

Havadaki ve topraktaki kimyasal ve biyolojik ajanları nanoteknoloji destekli sensörler yüksek hassasiyetle tespit edip tanımlayabilmektedir.

#### 4.6. Ulaşım Alanındaki Çalışmalar

Nanoteknoloji, ulaşım alanında oldukça kullanışlı güvenli, hafif, akıllı ve verimli cihazlar, hava araçları , uzay için geliştirilen roketler ve gemiler inşa etmek amacıyla çok işlevli malzemeler geliştirmektedir (M. C. Roco, C. A. Mirkin ve M. C. Hersam, 2010; H. Presting ve U. Konig, 2003). Bununla beraber nanoteknoloji, ulaşım altyapısını geliştirmek için çeşitli alternatifler sunmaktadır:

Otomotiv sektöründe kullanılan nano malzemeler içerisinde polimer nanokompozit yapısal parçalar, dayanıklı şarj edilebilir piller, sıcaklık ayarı için termoelektrik ürünler; yuvarlanma dirençleri düşük lastikler, yüksek performanslı/uygun maliyetli dedektörler ve elektronikler, akıllı güneş panelleri, uzun menzil elde etmede ve temiz egzoz gazı oluşumunda etkili yakıt katkı maddeleri ve katalitik konvertörler bulunmaktadır. Alüminyum, çelik, asfalt, beton ve diğer çimentolu malzemelerin ve bunların geri dönüştürülmüş biçimlerinin nano-mühendisliği çalışmalarıyla, karayolu ve ulaşım altyapısı bileşenlerinin yaşam döngüsünü uzatarak maliyetlerini düşürürken performansını, esnekliğini ve uzun ömürlülüğünü sağlama konusunda da önemli yol alınmıştır. Nanoteknoloji ile, kendi kendini onaran yapılar ve enerji üretme veya iletme yeteneği gibi yenilikçi yaklaşımlar geleneksel altyapı malzemelerine dahil edebilir.

Nano ölçekli sensörler ve cihazlar, zaman içinde köprülerin, tünellerin, rayların, park yapılarının ve kaldırımların yapısal bütünlüğünün ve performansının uygun maliyetli sürekli izlenmesini sağlayabilmektedir. Naoelektronik tarafından sağlanan nano ölçekli sensörler, iletişim cihazları ve diğer yenilikler, sürücülerin şerit konumunu korumalarına, çarpışmalardan kaçınmalarına, trafik sıkışıklığını önlemek için seyahat rotalarını ayarlamalarına yardımcı olmaktadır.

Nanoteknolojinin etkinleştirdiği hafif, yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımı hemen hemen her ulaşım aracına uygulanabilmektedir.

#### 4.7. Tıp ve Sağlık Alanındaki Çalışmalar

Nanoteknoloji, görüntüleme teknikleri ve teşhis araçları, ilaç dağıtım sistemleri, doku mühendisliği yapıları, implantlar, kardiyovasküler hastalıklar, kanser tedavisi ve farmasötik terapötikler dahil olmak üzere tıp alanında önemli bir potansiyel sergilemektedir. Nanoteknoloji günümüzde hekimlerin tedavi ve teşhis için kullandıkları tıbbi cihazları ve tedavi yöntemlerini zenginleştirmektedir. Nanotıp alanında, hastalıklardan korunma, tanı ve tedavisi için kalıcı çözümler oluşturmak üzere biyolojik mekanizmaların tabii ölçeğinden faydalanır (A. Pratima ve N. Nikalje, 2015; G. A. Silva , 2004 ). Bu alanla ilgili gelişmeler aşağıda özetlenmiştir.



Altın nanoparçacıkları, incelenen nükleik asit dizilimlerini belirlemede sondalar şeklinde tasarlanmıştır. Kanser ve diğer hastalıkların tedavilerinde altın nanoparçacıkların kullanımı klinik olarak araştırılmaktadır.

Nanoteknoloji sayesinde geliştirilen görüntüleme ve teşhis cihazları, erken tanı ve bireyselleştirilmiş tedavi yöntemleri terapötik başarı düzeylerinin oranını artırmıştır.

Nanotıp alanında, damar sertliği ve atar damarlarda oluşan plak birikiminin tanısı ve tedavisi için araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan bir çalışmada araştırmacılar, vücudun “iyi” kolesterolünü taklit eden, damarda oluşan plağı küçültmeye yardımcı olan yapay bir HDL (yüksek dansiteli lipoprotein) nanoparçacığı oluşturmayı başardılar.

Gelişmiş katı hal nanopor malzemelerinin tasarımı ve mühendisliği, minimum numune hazırlama ve enstrümantasyon ile düşük maliyet ve yüksek hızda tek molekül algılamasını mümkün kılan yeni gen dizileme teknolojilerinin geliştirilmesine izin verebilir.

Nanoteknoloji araştırmacıları, bir nanopartikülün kapsullenebileceği veya ilacın doğrudan kanser hücrelerine iletilmesine yardımcı olabileceği ve sağlıklı dokuya zarar verme riskini en aza indirebileceği bir dizi farklı terapötik yöntemler üzerinde çalışmaktadır. Bu yöntemler hekimlerin kanser gibi hastalıkların tedavi protokollerini kolaylaştıracak ve tedaviden kaynaklanan olumsuz yan etkilerinin minimize edilmesini sağlayacak potansiyele sahiptir.

Nanoteknolojinin yenilenebilir tıp alanında uygulanmasına dair çalışmalar, kemik ve sinir dokusu mühendisliğini de içine alan çeşitli uygulama alanlarını barındırmaktadır. Örneğin, yeni nanoteknolojik ürünler canlılarda kemiğin kristal mineral dokusunu taklit edecek biçimde düzenlenebilir. Bunun yanında diş tedavilerinde düzenleyici reçine olarak değerlendirilebilir. Bilim adamları, organ nakli için canlı organlarını suni olarak büyütme hedefiyle kompleks dokuları çoğaltmak için çalışmalar yapmaktadırlar. Bilim insanları omurilik hasarlarını ve defektlerini düzeltmek için grafen nanoribbonları uygulamanın yöntemlerini araştırmaktadırlar.

Nanotıp araştırmacıları, aşıların iğne kullanılmadan uygulanmasını, aşıları geliştirebilmenin yollarını araştırmaktadırlar. Ayrıca araştırmacılar, yıllık grip aşısı için daha fazla suşu kapsayacak ve her yıl geliştirmek için daha az kaynak gerektirecek evrensel bir aşı iskelesi oluşturmak için çalışmaktadırlar.

#### 4.8. Gıda Alanında Yapılan Çalışmalar

Gıda endüstrisinde nanoteknolojik çalışmalar bitkisel ve hayvansal ürünlerin elde edilmesi ve gıdaya dönüştürülmesi, işlenmesi, paketlenmesi, nakliyesi, raf ömrü ve besinlerden biyoyararlanımına kadar gıda endüstrisinin her aşamasını etkilemektedir. Nanomalzemelerin ticari uygulamaları, benzersiz ve gelişmiş özelliklerinden dolayı gıda endüstrisini etkilemektedir. Nanoteknolojinin gıda ve gıdayla ilgili endüstriler tarafından kullanımının artması sonucunda gıda üretiminden işlemeye, paketlenmeye, nakliyeye, depolamaya, güvenliğe, emniyete ve kaliteye kadar gıda sistemini her aşamada etkileyecek çalışmalar hız kazanmıştır. ( S. H. Nile, V. Baskar, D. Selvaraj, A. Nile, J. Xiao ve G. Kai, 2020; B. S. Sekhon, 2010)

Gıda endüstrisi, gıdanın rengini, dokusunu ve lezzetini iyileştirmek için nano ölçekli bileşenler geliştirmek üzere nanoteknolojiyi kullanmaya başlamıştır. Gıda katkı maddeleri olarak  $TiO_2$  ve  $SiO_2$  ve amorf silika nanopartikülleri kullanılmaktadır . Pastaların üzerindeki pudra şekeri kaplamasında renklendirici olarak  $TiO_2$  kullanılmaktadır.

Gıdaların paketlenmesinde kullanılan nanomalzemeler, gelişmiş mekanik bariyerler, mikrobiyal kontaminasyonun tespiti ve besinlerin potansiyel olarak geliştirilmiş biyoyararlanımı gibi birçok fayda sağlamaktadır. Bu belki de nanoteknolojinin gıda ve gıdayla ilgili endüstrilerdeki en yaygın uygulamasıdır. Nanopartiküller içeren polimerler olan bir dizi nanokompozit, gıda endüstrisinde gıda paketlenme ve gıda ile temas eden malzemeler için kullanılmaktadır.

Nanomalzemeler, gelişmiş emilim ve biyoyararlanım için besinlerde ve sağlık takviyelerinde bileşenler ve katkı maddeleri (örneğin, vitaminler, antimikrobiyaller, antioksidanlar) olarak kullanılır.

Nanomalzemelerin antimikrobiyal özellikleri, depolama ve nakliye sırasında gıdaları korumalarına olanak tanır. Nanosensörler, çeşitli uygulamalar için kullanılabilir. Nanosensörlerin ticari kullanımında depolama koşullarını ve gıda nakliyesi sırasında soğutmalı kamyonlarda sıcaklık kontrolü için kullanılmaktadır. Bundan dolayı gıda üretim teknolojisinde ve paketlenme ünitelerinde sensör olarak kullanılırlar. Taşıma ve depolama sırasında gıdanın durumunu izleyebilirler.

Nanoenkapsülasyon, nanokompozit, nanoemülsifikasyon ve nano-yapılandırma gibi teknikler maddeleri minyatür olarak paketlemek için bir teknoloji olarak tanımlanır. Vitaminler, antioksidanlar, proteinler ve lipidler gibi biyoaktif bileşiklerin yanı sıra karbonhidratların korunması, fonksiyonelliği ve stabilitesi artırılmış fonksiyonel gıdaların üretimi için bu teknikler kullanılabilir. Nanokapsülleme teknolojileri, sağlıkla ilgili iş-

levsel içerik maddelerinin etkili bir Şekilde iletilmesi ve aroma bileşiklerinin kontrollü salınımı ile ilgili gıda endüstrisinde karşılaşılan zorlukları giderme potansiyeline sahiptir.

Probiyotikler genel olarak bakteri türlerinin canlı karışımları olarak tanımlanır ve yoğurtlar ve yoğurt tipi fermente süt, peynir, pudingler ve meyve bazlı içecekler Şeklinde gıdalara dahil edilebilir. Kapsüllenmiş içerik Őekilleri, gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmaktadır. Nanokapsülleme, mide-bağırsak yolunun belirli bölümlerine iletilebilen tasarımcı probiyotik bakteriyel preparasyonları geliştirmek için uygulanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Green Synthesis of Nanoparticles: Their Advantages and Disadvantages Khadeeja Parveen<sup>1</sup> Viktoria Banse, Lalita Ledwan Cite as: AIP Conference Proceedings 1724, 020048 (2016); <https://doi.org/10.1063/1.4945168> Published Online: 13 April 2016.
- Nanobilim ve Nanoteknoloji Şakir Erkoç ODTÜ Bilim ve Toplum Kitaplar Dizisi ISBN 978-9944-344-28-9.
- Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges Nadeem Baig, Irshad Kammakakam and Wail Falathabe Materials Advances DOI: 10.1039/d0ma00807a REVIEW Open Access Article. Published on 24 February 2021.
- R. Nagarajan, "Nanoparticles: Building Blocks for Nanotechnology," in Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Passivation, and Functionalization, American Chemical Society, 2008, pp. 2-14.
- W. J. Stark, P. R. Stoessel, W. Wohlleben and A. Hafner, "Industrial applications of nanoparticles," Chemical Society Reviews, vol. 44, no. 16, pp. 5793-5805, 2015.
- J. Turkevich, P. C. Stevenson and J. Hillier, "A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold," Discussions of The Faraday Society, vol. 11, no. , pp. 55-75, 1951.
- Nanotechnology: a small solution to big problems <https://www.iberdrola.com/innovation/nanotechnology-applications>
- Review of Nanotechnology Applications in Science and Engineering Shariat Mo-basser and Ali Akbar Firoozi Journal of Civil Engineering and Urbanism- Volume 6, Issue 4: 84-93; July 25, 2016.
- Nanotechnology: A Review Mandeep Kaur, Gurjeevan Singh, Kamal Khanna December 2015 Conference: Second National Conference on Advances in manufacturing Systems- CAMS-2015, December 23-24, 2015 At: S B S State Technical Campus, Ferozpur Project: Conference Paper.
- Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020 Mihail C. Rocco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam Retrospective and Outlook WTEC Panel Report on September 30, 2010 .
- Big benefits from tiny technologies: micro-nanotechnology applications in future space systems H. Helvajian, Siegfried W. Janson, E. Y. Robinson Proceedings Volume 10288, Advancement of Photonics for Space: A Critical Review; 1028802 (1997) <https://doi.org/10.1117/12.278749> Event: Opti-

cal Science, Engineering and Instrumentation '97, 1997, San Diego, CA, United States.

Nanotechnology for sustainable energy Elena Serrano, Guillermo Rus, Javier Garcí'a-Martí'nez Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 2373–2384.

Nanomaterials for Environmental Applications Ali Aghababai Beni, Hadi Jabbari Results in Engineering 15(2022)100467.

Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications Micro and Nano Technologies 2018, Pages 894-907.

Future nanotechnology developments for automotive applications Hartmut Pres-ting, Ulf Ko'nig Materials Science and Engineering C 23 (2003) 737 – 741.

Nanotechnology and its Applications in Medicine Anna Pratima Nikalje Nikalje, Med chem 2015, 5:2 DOI: 10.4172/2161-0444.1000247.

Introduction to Nanotechnology and Its Applications to Medicine, Surg Neurol 2004;61:216 –20.

Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspective Nano-Micro Lett. (2020) 12:45.

Food nanotechnology – an overview Bhupinder S Sekhon Nanotechnology, Science and Applications 2010:3 1–15.



“

## Bölüm 7

**SIVAS İLİ ARI POLENİN BAZI  
ÖZELLİKLERİ VE APİTERAPİDE  
KULLANIM POTANSİYELİ**

*Burak DEMİRCİ<sup>1</sup>*

*Sevgi DURNA DAŞTAN<sup>2</sup>*

”

---

1 Burak Demirci, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 58140, Sivas, Türkiye, brkdmrcx@gmail.com

2 Sevgi Durna Daştan, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4946-5602

## GİRİŞ

Dünya Sağlık örgütüne göre geleneksel tıp; hastalıkların belirlenmesi, tedavi yöntemi ve sağlığı korumaya yönelik; bitki hayvan ve minarel temelli sağlık uygulamaları, yöntemleri, elde edilmiş bilgi ve inançları, ruhsal terapileri, el ile yapılan teknik ve egzersizlerin tamamı olarak tanımlanır (Aydın ve Tekeoğlu, 2018; Ekici ve Gölgeli, 2021). Apiterapi geleneksel ve tamamlayıcı tıp uygulamalarının içinde önemli bir alan oluşturmaktadır (Aydın ve Tekeoğlu, 2018). Apiterapi, latince arı anlamına gelen *Apis* kelimesinden gelmektedir (Atayoğlu, 2019). Bal, arı zehiri, arı sütü, bal mumu, propolis, arı larvası, polen, vb. gibi arı ürünleri ile insan sağlığının korunması ve oluşan hastalıkların tedavi edilmesini kapsamaktadır (Özdemir vd., 2021). Apiterapi tarihi çok eski medeniyetlere dayanmaktadır. Yapılan arkeolojik çalışmalarda, Anadolu’ da yaşamış antik uygarlıkların arı ürünlerini kullandıkları, Antik Mısır ve Çinli hekimlerin zamanımızdan 4 bin yıl önce bu ürünleri reçete olarak verdiklerine dair belgeler bulunmuştur (Atayoğlu, 2019; Ekici ve Gölgeli, 2021). Günümüzde kimyasal olarak üretilmiş ilaçların yan etkileri, hastalıkların ilaca karşı oluşturduğu dirençler ve tedavisi çok zor olan kanser gibi hastalıkların hızla artması, insanların Apiterapiyi de içinde bulunduran tamamlayıcı ve geleneksel tıbbaya yönelimini artırmıştır (Sorucu, 2019). Çin, Rusya, Romanya gibi ülkelerde hastalıklarla mücadelenin arı ürünleriyle yapıldığı Apiterapi Merkezleri mevcuttur (Sorucu, 2019). Ülkemizde ise 2014 yılında “Geleneksel Ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamaları Yönetmeliği” nin kabul edilmesiyle birlikte, Apiterapi kursları ve merkezleri kurulmaya başlanmıştır (Sorucu, 2019; Ekici ve Gölgeli, 2021). Sağlıklı yaşam ve iyilik halinin sürdürülmesi amacıyla, ihtiyaç duyulan gıda ve gıda takviyelerinin doğal ve/ya organik kaynaklardan karşılanması isteği, arıcılık faaliyetlerinin öneminin daha iyi anlaşılmasına ve arıcılığa, apiterapiye duyulan ilginin artmasına sebep olmuştur (Burucu ve Gülse Bal, 2017).

Arının doğal bitkisel kaynakları kullanarak polen, arı sütü, arı zehiri, propolis, bal ve balmumu ürünleriyle beraber, ana arı, oğul arı, arı larvası (apilarnil) gibi biyolojik faydalı materyallerin üretildiği hayvancılık faaliyetine arıcılık denir (Burucu ve Gülse Bal, 2017). Arılar, arı ürünleri üreterek insanlığa fayda sağlamanın yanında, bitkilerin tozlaşmasını sağlayarak bitki ürünleri üretimini ve kalitesini artırdığından bal arıları ekolojik dengenin önemli bileşenlerindedir (Burucu ve Gülse Bal, 2017; Mayda, 2019). TÜİK verilerine göre dünyada 2020 yılı kovan varlığı bakımından Hindistan 12,3 milyon kovan ile %13’ lük paya sahipken, %8,7 paya sahip olan Çin 8,2 milyon kovan ile 2. sırada gelmektedir. Ülkemiz ise 8 milyondan fazla koloni varlığı ile üçüncü sırada yer almaktadır (Burucu, 2021). Yine TÜİK verilerine göre 2020 yılı dünya bal üretiminde Çin %25,9’ luk oranla 450 bin tondan fazla üretimi ile ilk sırada yer alırken,



Türkiye %5,9' luk payla 100 bin tondan fazla üretimi ile ikinci, İran ise %4,5'luk payı ve 80 bin ton bal üretimi ile üçüncü sırada yer almaktadır (Burucu, 2021). Türkiye, bal üretimi konusunda dünyada ilk sıralarda yer almasına rağmen, arıcılığın diğer yan ürünlerinin üretiminde geri kalmış durumda olup, bunların üretiminde yeteri kadar başarı gösterememektedir (Burucu ve Gülse Bal, 2017). Bal arıları tarafından üretilen ürünler iki gruba ayrılabilir. İlk grupta bal, arı poleni, arı ekmeği ve propolis; ikinci grupta ise arı sütü, bal mumu, arı zehiri ve apilarnil mevcuttur (Mayda, 2019). Arı ürünlerinde çeşitliliğin bu kadar fazla olmasına rağmen en çok bilinirliğe sahip olunan ürünlerin başında bal gelmekte olup, onu polen ve propolis takip etmektedir (Mayda, 2019).

Polen tohumlu bitkilerin erkek üreme hücresi olup, bal arılarının temel protein kaynağıdır. Özel yapısı ve fonksiyonları ile çiçekli bitkiler için yaşamsal bir kaynaktır (Silici, 2020). Polenlerin yapısı incelendiğinde dışta ekzin içte intin olmak üzere iki tabakadan oluşmaktadır (Silici, 2020). Ekzin tabakasının incelendiği noktalarda intin, gametofitin korunmasını sağlamakta olup, aynı zamanda polen tüpünün oluşmasında sağlamaktadır (Silici, 2020). Polenler açık ve kapalı tohumlu bitkilerin çiçeklerinde mevcuttur. Açık tohumlu bitkilerde kozalak şeklinde mevcut iken; kapalı tohumlu bitkilerde stamen olarak adlandırılan bir filament ve anterden oluşan yapının anter kısmında bulunur. Açık tohumlu bitkilerde çiçek örtüsü mevcut olmayıp çiçekleri indirgenmiş haldedir. Açık tohumlu bitkiler rüzgarla tozlaştıklarından dolayı, üremelerini garanti altına almak için çok sayıda polen üretimi görülmektedir. Böceklerle tozlaşan kapalı tohumlu bitkiler ise üremelerini sağlamak için böcekleri kendilerine çekmek zorundadır. Bunun için gösterişli ve güzel yapıda çanak yaprak ve taç yapraklara sahip olup hoş kokular yaymaktadırlar. Böceklerle tozlaşan bitkiler rüzgarla tozlaşan bitkilere nazaran daha az polen üretirler (Silici, 2020). Açık ve kapalı tohumlu bitkilerin polenlerinin ağırlıkları da taşınma durumuna göre değişiklik göstermektedir. Rüzgarla tozlaşan bitkilerin polenleri daha küçük yapıda ve daha hafif olup, rüzgar ile çok uzun mesafeleri kat etmektedir. Bal arıları yavru ve genç arıları beslemek amacıyla çiçeklerden poleni toplayarak arka bacaklarında bulunan polen sepetlerinde (corbicula) peletler halinde biriktirir (Silici, 2020). Arı poleni bu peletlerin karışımıdır. Bal arıları bu peletleri arka ayaklarına sıkıştırmak ve bu peletlerin birbirlerine tutunmasını sağlamak amacıyla ağız sekresyonları ile nemlendirerek topak haline getirir. Bu ağız salgıları içinde amilaz, katalaz gibi enzimler mevcuttur (Silici, 2020). Polen peletleri aynı zamanda bir miktar nektar içermektedir. İçeriğinde bulunan nektar polenleri bir araya getirmek için kullanılır (Silici, 2020). Bal arısının toplamış olduğu bu polenler, kovan önünde bulunan uçuş deliklerine konulan polen tuzakları kullanılarak toplanmaktadır (Alataş vd., 1997).

Arı polenleri çiçek kaynağına göre monofloral ve polifloral olarak ikiye ayrılır (Silici, 2020). Monofloral arı poleni içeriğinde ana bitki taksonunun polen miktarı en az % 80 olmalıdır. Polifloral arı poleninden ise birden fazla bitki taksonuna ait polen bir arada bulunmalıdır (Silici, 2020). Polen toplandığı ilk haliyle su içeriği oranı %20-30 arasında olduğu için, içinde bakteri ve küf kontaminasyonunu engellemek amacıyla dondurularak kurutulmalıdır (Silici, 2020) veya 40 °C' den yüksek olmayan sıcaklıkta içindeki su miktarı %6' yı geçmeyecek şekilde kurutularak kullanıma hazırlanmalıdır (Silici, 2020). Arılar tarafından kovana getirilen polen, arılar tarafından kullanabilmesi için, öncelikle petek gözlerine depolanır, işçi arılar tarafından sıkıştırılmaya tabi tutulduktan sonra arının sindirim içeriği ve bir miktar bal eklendikten sonra depolanan peteklerin üzeri bal mumu tarafından kapatıldıktan iki hafta sonra fermantasyona bırakılır (Mayda, 2019). Bu şekilde elde edilen ve bu süreci tamamlayan polenlere 'arı ekmeği' ya da 'perga' denir. (Mayda, 2019). Protein ve amino asitler arıların beslenmesinde önemli rol oynar ve polen arıların tek protein kaynağıdır (Silici, 2020). Bal arılarının büyüyüp gelişmesi için ihtiyaç duyduğu temel amino asitlerden arginin, histidin, lizin, triptofan, fenilalanin, metiyonin, treonin, izolösin ve valin polen içerisinde mevcuttur (Silici, 2020). Polenlerin kalitesinin yüksek olması bal arısının patojenlere karşı direncinide artırmaktadır (Silici, 2020).

Arı polenlerinin kimyasal, biyolojik ve fiziksel özellikleri toplandığı bitkilere, toplandığı bölgenin toprak özelliklerine ve coğrafik konumuna, iklim özelliklerine, toplanma şekline ve hatta ambalajlamasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Silici, 2015; Akyol et al., 2015; Selamoğlu et al., 2016). Arı polenleri taşıdıkları şeker konsantrasyonları, esansiyel amino asitler, doymuş ve doymamış yağ asitleri, Zn, Cu, Fe ve yüksek potasyum/ sodyum oranları ile sağlıklı ve dengeli bir besin maddesi olarak tavsiye edilebilir kaynaklardır. Genel olarak polen içerikleri, minimum ve maksimum aralıkları gösterilmek suretiyle aşağıda verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Polen genel içeriği (Sorucu, 2019).

Polen içeriği			
Ana bileşenler	Min-max (g/100g)	Vitamin, mineral içeriği	Min-max (mg/100g)
Protein	10-40	Potasyum	4000-20000
Yağ	1-13	Mangenezyum	200-3000
Total Karbonhidrat	13-55	Kalsiyum	200-3000
Fibril-Pektin	0,3-20	Fosfor	800-6000
Kül	2-6	Demir	11-170
Nem	20-30	Çinko	30-250
		Bakır	2-16

	Manganez	20-110
	Vitamin A - $\beta$ -karoten	10-200
	B1- Tiyamin	6-13
	B2- Riboflavin	6-20
	B3- Niyasin	40-110
	B5- Pantotenik	5-20
	B6- Pridoksin	2-7
	Vitamin C- Askorbik asit	70-560
	Vitamin H- Biotin	0.5-0.7
	Folik asit -pteroglutamik asit (B9)	3-10
	Vitamin E-Tokoferol	40-320

Arı polenleri toplandığı kaynağa bağlı olarak antioksidan, yaşlanma karşıtı (anti-aging), antibiyotik, antifungal, probiyotik, antikarsinojenik vb. gibi birçok biyolojik aktiviteye sahiptir (Sorucu, 2019; Dogan et al., 2014; Selamoglu et al., 2016). Güncel literatürlere göre, polenlerin hücre içerisinde serbest radikallerin ve oksidan özellikli kanserojen olduğu bilinen bazı maddelerin zarar verici etkilerini ortadan kaldırdığı belirlenmiştir. Yine çeşitli polen numunelerinin antimikrobiyal, hücre yenileyici, iştah artırıcı etkileriyle birlikte soğuk algınlığı, kemik erimesi, baş ağrısı, ve ülser rahatsızlıkların tedavisini destekleyici nitelikte olduğu gösterilmiştir (Karlıdağ ve Keskin, 2020; Hegazi, 2012). Klinik düzeyde yapılan çalışmalarda ise bağırsakların fonksiyonlarını düzenleyiciyi etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir (Hegazi, 2012). Yine düzenli olarak kullanılan polen takviyeleri ile kandaki kolesterol ve trigliserit seviyelerinin normalleşmesine katkı sağladığı tespit edilmiştir (Hegazi, 2012; Aydın ve Tekeoğlu, 2018). Yine arı polenin cilt pürüzsüzleştirmede, nemlendirilmesinde, leke gidermede, göz çevresindeki kırışıklıkların giderilmesinde ve melanin endeksi üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir (Silici, 2020).

## MATERYAL METOD

### Polen Örneklerinin Toplanması

Sivas ilinde, Yıldızeli, Zara, Gürün, Divriği, Doğanşar, Hafik/Tozanlı ve Merkez ilçelerinde, arıcılıkla uğraşan yetiştiricilerden, 2022 hasat döneminde arı poleni numuneleri alınmıştır. Alınan numuneler uygun şekilde saklama ortamlarına alınarak laboratuvara getirilmiş ve analiz işlemleri yapılmıştır.

### Protein Tayini

Homojen şekilde karıştırılmış polen numuneleri TS EN ISO 5983-1 protokolüne uygun olacak şekilde, azotsuz kül kâğıdına 0,1 mg. yaklaşımla 1 g, tartılarak kağıtla birlikte distilasyon tüpüne aktarıldı. Üzerine katalizör tablet ( $\text{CuSO}_4 \cdot \text{CuO}$ ) konuldu ve 25 ml sülfürik asit ilave edildikten

sonra tüp yaş yakma kısmına yerleştirildi. Isıtıcı önce 170-180 °C sıcaklığında yarım saat kadar tutuldu. Sonra sıcaklık en yüksek dereceye kadar çıkarıldı. Kaynatmaya balondaki çözelti berraklaşınca kadar devam edildi. Yaş yakma ünitesi kapatıldıktan sonra balon soğumaya bırakıldı. Soğuması tamamlandıktan sonra protein cihazının distilasyon kısmında ilgili program seçilerek otomatik titrasyon yapılarak okuma yapıldı (Gerhardt, Germany). Aynı şekilde numune yerine 1 g sakkaroz kullanılarak ve tüm işlemlerin uygulanmasıyla birlikte kör numune okutuldu. Protein cihazında okunan değer % N veya % Protein olarak kaydedildi ve protein faktörü ile çarpılarak % Ham protein miktarı hesaplanmış oldu. Protein faktörü: Polen için 6.25 olarak kabul edilmektedir.

### Yağ Tayini

Türk Standartları Enstitüsü ISO 11085 protokolüne uygun olacak şekilde, 5 g polen numunesi, 0,001 g duyarlılıkla 250 ml lik bir erlen içine alınarak tartıldı. Deney numunesi bulunan balon içerisine 100 mL hidroklorik asit eklendi ve erlen geri soğutucuya takıldı. Erlen ve içindekiler, kaynamaya başlayınca kadar ısıtıldı. Kaynama 1 saat sürdürüldü. İçinde kaynama taşları bulunan ekstraksiyon cihazının beheri etüvde bir saat süre ile  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  da kurutuldu, soğutuldu ve tartıldı. Cam balondakiler sıcak olarak süzgeç kağıdı üzerine boşaltıldı. Mavi turnusol kâğıdının rengi değişinceye kadar yıkama işlemi sürdürüldü. Kurutulmuş ekstraksiyon cihazı beheri içerisine ekstraksiyon çözücüsü (petrol eteri) konuldu. Cam beher ekstarksiyon cihazı üzerinde 4 saat ısıtıldı. Ekstraksiyon işlemi cihazda tamamlandıktan sonra ekstraksiyon beheri  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  'ye ayarlı etüvde 1 saat tutuldu ve desikatorde soğutulduktan sonra, 0,001 g duyarlılıkla tartıldı. İki tartım arasındaki fark kullanılarak hesaplama yapıldı.

### TARTIŞMA SONUÇ

Polen numunelerin arıcılık faaliyetlerinin yapıldığı, kovanların yerleştirildiği bölgenin iklimsel, coğrafik ve floral çeşitliliğine göre bir takım spesifik niteliklerinin olmasının yanında genel özellikleri bakımından polenlerin taşınması gereken bazı genel özellikleri bulunmalıdır. Genel olarak polende bulunması gereken özellikler, Türk Standardları Enstitüsü'nün hazırladığı Türk Standardları tebliğlerinde polen bahsi içerisinde belirtilmiştir (TSE TS 10255, Polen). Türk Standartları Enstitüsü Polen tebliğine göre, polenler kendine özgü bir kokuya ve rayihaya sahip olmalıdır. Gözle incelendiğinde morfolojik bakımdan buruşuk, dikenimsi çıkıntılı, yağlı ve yapışkan görünüşlerde olabilmektedir. Polen taneciklerinin iriliği, arının polen topladığı kaynak bitkilere bağlı olmakla birlikte genellikle çapı 10  $\mu\text{m}$  - 100  $\mu\text{m}$  arasında olmalıdır. Arı tarafından toplanan polen topakçıklarının çapı ise 1 mm ile 4 mm arasında olmalıdır (Özkök ve Sorkun, 2021). Yabancı madde muhtevası en çok kütlece % 2.5 olmalıdır. Aralarında

yapısında alkolooid, glikozid (saponin vb. gibi) maddeleri ihtiva eden düğünçeğigillerin (*Ranunculus*) bazı türleri, atkestanesi (*Aesculus*), orman gülü (*Rhododendron*), yabancı biberiye (*Andromeda*), karabuğday (*Fagopyrum*) polenleri toplamı kütlece %5'ten fazla bulunmamalıdır. Rengi bitki çeşitliliğine ve bal çeşidine göre değişmekle beraber, genelde kahverengi, sarı, turuncu- kırmızı tonlarında, açık veya koyu mor, beyaz, ve değişik tonlarda pembe, yeşil veya siyah renklerde olabilmektedir. Polen, organik fosforlu pestisit kalıntısı içermemelidir. Polenin kimyasal yapısı, bitki türlerine göre değişmekle birlikte ham protein miktarı kütlece % olarak en az %7; ham selüloz oranı kütlece % olarak en az %0.9; ham yağ oranı kütlece % olarak en az %1.2; ve ham kül oranı kütlece % olarak en az %1.2 değerlerini karşılamalıdır. Ayrıca kurutulmuş polenin, rutubet muhtevası, kütlece %10'dan fazla olmamalıdır (TSE TS 10255).

Yaptığımız bu çalışmada Sivas ilinde farklı lokalitelerden toplanmış olan polen numunelerinin içerdikleri protein ve yağ miktarları araştırılmış ve TSE TS 10255 tebliğinde belirtilen değer aralıklarında olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). En yüksek protein içeriği % 29.15 değeriyle Sivas ili Merkez ilçesine bağlı köylerden alınan polenlerden elde edilmiştir. En düşük total protein içeriği %17.63 değeriyle Gürün ilçesinden toplanan polen numunelerinde görülmüştür. Ancak tüm ilçelerden elde edilen arı polenlerinin protein içeriklerinin ortalama değerinde oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Diğer taraftan total yağ miktarları bakımından polen numuneleri karşılaştırıldığında ise en düşük yağ içeriği %2.96 değeriyle Gürün ilçesi polen örneklerinde; en yüksek total yağ içeriği ise %5.26 değeriyle Divriği ilçesinden toplanan polen örneklerinde tespit edilmiştir. Yine bu çalışma kapsamında araştırılan tüm farklı polen numunelerinin ham yağ oranlarının TSE polen tebliğinde belirtilen oranların üzerinde olduğu görülmektedir.

**Tablo 2.** Sivas ili farklı ilçelerinden toplanmış polen örneklerinin protein ve yağ değerlendirilmesi.

Sivas ili polenlerinin özellikleri							
	Yıldızeli	Zara	Gürün	Divriği	Doğanşar	Hafik Tozanlı	Merkez
Yağ miktarı	%3.99	%3.19	% 2.96	%5.26	%2.99	%4.12	%4.43
Protein miktarı	%25.99	%23.55	%17.63	%26.93	%24.52	%25.97	%29.15

Sonuç olarak arı, bal arısı ırklarının ekolojik dengenin devamlılığını sağlamadaki büyük görevleri ve arı ürünlerinin besin kaynağı olarak kullanılmaları ve sağlık halinin sürdürülmesindeki faydaları ve terapötik nitelikleriyle birlikte, hastalıkların yan etkilerini azaltmadaki etkileri insanlığın kadim eski tarihindeki çeşitli kaynaklardan bilinmekle beraber, her geçen gün arı ve arı ürünlerinin faydaları üzerine yeni çalışmalar ya-

pılmakta ve önemli bilgiler literatüre kazandırılmaktadır. Arı polenin içeriğinde bulunan proteinler, mineraller, karbonhidratlar, yağlar, vitaminler ve sekonder metabolitler sayesinde arı poleni apiterapide önemli bir yere sahiptir. Dünya da arı koloni sayısı ve bal verimi bakımından, Türkiye ilk sıralarda bulunmakla beraber diğer arı ürünlerimizin dünya çapında yeterince tanınırlığı bulunmamaktadır. Arıcılık alanında önde gelen bir merkez olan Sivas ilinin de bal dışındaki diğer arı ürünlerinin kalite kriterlerinin ortaya konulmasını sağlayacak yeterli çalışma bulunmamaktadır (Koç ve Kartal, 2016; Şeker, 2020). Apiterapide önemli yeri bulunan arı polenin ve diğer arı ürünlerinin insan sağlığı üzerine faydalarının tespit edilebilmesi için ilk olarak tüm biyolojik ve kimyasal özelliklerinin ortaya konulması tüm çalışmalara başlangıç teşkil edecek ve terapi amacıyla kullanımlarında büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu çalışmada Sivas ilinin bazı lokalitelerinden alınmış polen örneklerinin sadece protein ve yağ özellikleri bakımından değerlendirilmesi yapılmış olup, daha büyük ölçekli çalışmalarla desteklenerek Sivas ilinin polen parmakızinin ortaya konulması çok önemlidir. Daha sonra yapılacak çalışmalara yol gösterici olacağı kanaatimiz bulunmaktadır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim dalında bir yüksek lisans tez projesi kapsamında hazırlanmıştır.

## KAYNAKÇA

- Akyol, E., Selamoglu, Z., Dogan, H., Akgul, H., Unalan, A., 2015. Determining the total antioxidant status and oxidative stress indexes of honey samples obtained from different phytogeographical regions in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin* 24 (4), 1204-1208.
- Alataş, İ., Yalçın, İ.İ., Öztürk, A.İ., 1997. Arıcılıkta polen üretiminin koloni gelişimine ve bal verimine etkileri. *Anadolu J. Arı*. 7(1), 30-42.
- Aydın, Y., Tekeoğlu, İ., 2018. Tamamlayıcı Tıp ve Güncel Apiterapi Uygulamaları, 2(2):64-73.
- Atayoğlu, A.T., 2019. Apiterapiye Genel Bakış, 3(Özel Sayı):61-66.
- Burucu, V., Bal, H.S.G., 2017. Türkiye’de Arıcılığın Mevcut Durumu ve Bal Üretim Öngörüsü, 3(1): 28-37.
- Burucu, V. (2021). Ürün Raporu Arıcılık, 2021. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE, Yayın No: 330, 30s.
- Dogan, H., Akyol, E., Akgül, H., Talas, Z.S., 2014. Biologic activities of honeybee products obtained from different phytogeographical regions of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology* 2(6), 273-276.
- Ekici, T., Gölgeci, A., 2021. Geleneksel ve tamamlayıcı tıpta apiterapi. *Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Dergisi*, 30,200-203.
- Hegazi, A.H., 2012. Arı Ürünlerinin Tıbbi Önemi, 12 (4): 136-146.
- Karlıdağ, S., Keskin, M., 2020. Arı Ürünlerine Genel Bir Bakış, Cilt 3, Sayı 1, 58-63.
- Koç, H., Kartal, F., 2016. Sivas ilinde arıcılık faaliyetleri. *Elektronik Sosyal Bilimler Eğitimi Dergisi*, 2, 2. <http://esosbil.aksaray.edu.tr>,
- Mayda, N., 2019. Arı Polenini Ve Arı Ekmeğinin Palinolojik, Kimyasal Ve Antitoksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019.
- Özdemir, G., Ersöz, E., Dilek, N.M., 2021. Apiterapi ve Sağlık, 4, 2.
- Özkök, A., Sorkun, K., 2021. Apiterapide Kullanılan Arı Poleninin Kalite Kriterleri. (Quality Criteria of Bee Pollen Used in Apitherapy). Apiterapi. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2021. p.81-85.
- Selamoglu, Z., Akgul, H., Dogan, H., 2016. Environmental effects on biologic activities of pollen samples obtained from different phytogeographical regions in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25, 2484-2489.
- Sorucu, A., 2019. Arı Ürünleri ve Apiterapi, 10(1): 1-15.
- Silici, S., 2015. Arı Polenini ve Arı Ekmeği, 14(2):99-105.
- Silici, S., 2020. Bilimsel Gerçeklerle Apiterapi. Akademisyen yayınevi.

Şeker, İ.T., 2020. Sivas İlinin Apı-Turizm Potansiyelinin İncelenmesi. Yönetim, Ekonomi ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi 2020, 4(5): 364-373 DOI: 10.29226/TR1001.2020.220.

Türk Standartları Enstitüsü Pollen tebliği TSE TS 10255. <https://standards.globalspec.com/std/10244656/TS%2010255>



“

## Bölüm 8

**YARI HEUSLER VIRBİ BİLEŞİĞİNİN  
YARI METALİK ÖZELLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI: İLK PRENSİPLER  
ÇALIŞMASI**

*Abdullah CANDAN<sup>1</sup>, Cihan KÜRKCÜ<sup>2</sup>*

”

---

1 Doç. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 0000-0003-4807-3017, acandan@ahievran.edu.tr

2 Doç. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 0000-0003-3597-1950, ckurkcucu@ahievran.edu.tr

## GİRİŞ

Fermi seviyesinde %100 spin polarizasyonuna sahip yarı metalik bileşikler, spintronikteki kullanımları nedeniyle oldukça ilgi çekmiştir (Rostami, Afshari, & Moradi, 2013). Peroksit (Park et al., 1998), çin-ko-blend bileşikler (Li, Li, Dai, Liu, & Yu, 2008), Heusler bileşikleri (Kandpal, Fecher, & Felser, 2007) ve manyetik yarı iletkenler (Stroppa, Picozzi, Continenza, & Freeman, 2003) gibi çeşitli yapılarda yarı metalik özellikler gözlenmiştir. Son yıllarda, yarı metalik özelliklere sahip yarı Heusler alaşımları, yüksek Curie sıcaklığı ve substrat olarak geleneksel yarı iletkenlerle yapısal uyumluluğu nedeniyle büyük ilgi görmüştür.  $C1_b$  yapısına sahip üçlü yarı-Heusler alaşımları, X atomunun bir geçiş veya bir alkali metal olabileceği, Y atomunun bir geçiş metali olduğu ve Z atomunun periyodik tabloda 4. veya 5. ana grup elementlerinden birini temsil ettiği XYZ stokiyometrisi ile tanıılır. Yarı Heusler'in yapısı, her biri ana köşegenin dörtte biri kadar kaydırılmış üç yüzey merkezli kübik (fcc) kafesinden oluşur ve Wyckoff konumları 4a (0, 0, 0), 4b (0.5, 0.5, 0.5) ve 4c (0.25, 0.25, 0.25)'dir (Damewood et al., 2015; Nanda & Dasgupta, 2003). Genel olarak, yarı-Heusler yapısı, sekizgen konumlarla doldurulmuş bir ZnS alt örgüsü olarak temsil edilir. Yarı-Heusler bileşiklerin yapısı içindeki yarı metalik ferromanyetlerin birçok özelliği, değerlik elektronlarının sayısı sayılarak tahmin edilebilir (Shrivastava & Sanyal, 2019).

Ti, Zr, Hf ve Co, Rh, Ir grubunun yanısıra As, Sb, Bi atomları sırasıyla periyodik tablonun IV–IX–V gruplarının parçalarıdır ve onlar birleşerek heyecan verici fiziksel özelliklere sahip sayısız önemli malzemeyi oluştururlar (Berland, Shulumba, Hellman, Persson, & Løvvik, 2019; Yan et al., 2015). Bu üçlü yarı-Heusler malzemeler son zamanlarda büyük ilgi uyandırmış ve ayrıca bu bileşikler termoelektrik, optoelektronik ve elektronik cihazlardaki uygulamaları ile ilgili birçok teorik ve deneysel araştırmaya konu olmuştur (Dey, Sharma, & Dar, 2020; Kaur, Kumar, & Rai, 2018). Deneysel olarak, Sekimoto ve ark. (Sekimoto, Kurosaki, Muta, & Yamanaka, 2005) Ti, Zr, Hf)CoSb numunelerini ark eritme tekniği kullanarak başarıyla sentezlendi ve bunların elektriksel özdirenç, termoelektrik güç ve termal iletkenlik gibi termoelektrik özelliklerini de ölçtüler. Benzer şekilde, Zhao ve çalışma arkadaşları (Zhao, Zuo, Bo, & Wang, 2018) hızlı sıcak presleme ve ark eritme tekniği ile Pd katkılı  $ZrCo_{1-x}Pd_xBi$  ( $x = 0, 0.03, 0.06, 0.09$ ) yarı-Heusler numunelerinin polikristalini sentezlediler. Teorik olarak, üçlü yarı Heusler bileşiği HfRhSb'nin fonon ve termoelektrik özellikleri, Kaur ve diğerleri tarafından Quantum Espresso paketi kullanılarak incelenmiştir (Kaur et al., 2018). Son zamanlarda Dey ve çalışma arkadaşları (Dey et al., 2020), tam potansiyel doğrusalılığı artırılmış düzlem dalga yöntemini kullanarak Bizmut tabanlı ZrRhBi, ZrIrBi ve HfRhBi üçlü yarı-Heusler bileşiklerinin elektronik, yapısal, optik ve

termoelektrik özelliklerini incelediler. Onlar bu üç malzemenin elektronik ve optoelektronik gibi alanlarda termoelektrik malzemeler olarak birçok teknolojik uygulamaya sahip olduğuna dikkat çekmişlerdir. Üçlü Bi-bazlı yarı-Heusler bileşikleri üzerine şimdiye kadar birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, literatürde V1rBi bileşiğinin temel fiziksel özellikleri ile ilgili herhangi bir araştırma bulunmamaktadır. Bu araştırmanın amacı, V1rBi bileşiğinin üç farklı fazı ( $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$ ) için yapısal hesaplamalar gerçekleştirilerek en kararlı fazın tespit edilmesi ve daha sonra manyetik ve elektronik özelliklerinden malzemenin spintronik uygulamalar için kullanılıp kullanılmayacağını tespit etmektir. Bu çalışmada elde edilen veriler bu malzemeyi spintronik cihaz uygulamalarında olası adaylardan birisi haline getirmektedir.

## HESAPLAMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada, değişim-korelasyon potansiyelini modellemek için Perdew-Burke-Ernzerhof'un (GGA-PBE) Genelleştirilmiş Gradyan Yaklaşımı kullanılarak Quantum-Espresso kodu ile hesaplamalar yapılmıştır (Perdew, Burke, & Ernzerhof, 1996). Bu kodda, kendi kendine tutarlı Kohn-Sham denklemleri (Hohenberg & Kohn, 1964), değerlik elektronik dalga fonksiyonlarının açılımı için bir düzlem dalga yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Bant yapısı hesaplamaları yapmak için birinci Brillouin bölgesinde yüksek simetri k noktaları W-L- $\Gamma$ -X-W-K olarak seçildi. Yeterince yakınsama testi yapıldıktan sonra, düzlem dalga genişlemesi için 50 Ry'lik bir enerji kesilim değeri seçildi. Brillouin bölgesinin entegrasyonları, 12 x 12 x 12 k-noktalı Monkhorst-Pack (Monkhorst & Pack, 1976) ağırları ve 0.01 Ry'lik genişletme parametresi olan Methfessel-Paxton (Methfessel & Paxton, 1989) yöntemi kullanılarak gerçekleştirildi.

## BULGULAR

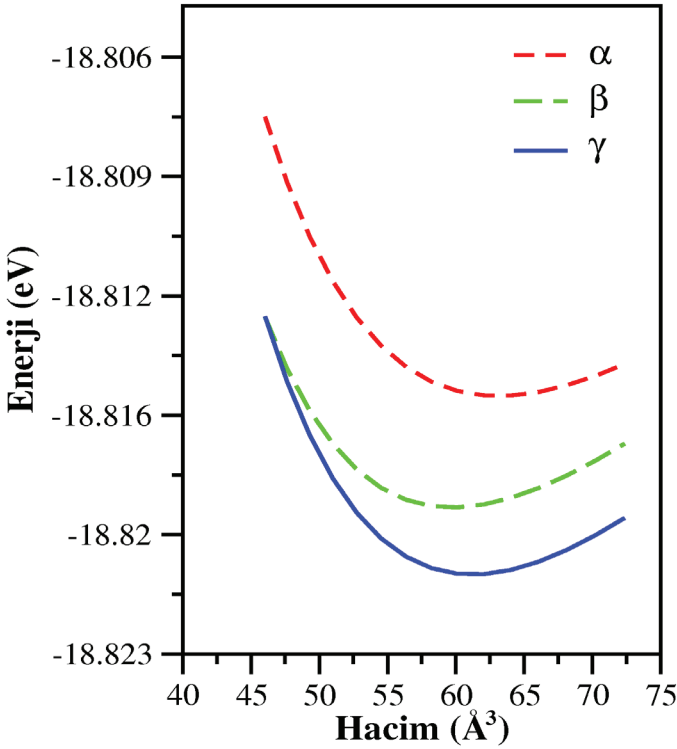
### Yapısal Stabilité

Yarı-Heusler yapısının  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  fazındaki atomların konumları Tablo 1'de listelenmiştir.

**Tablo 1:**  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  Fazındaki Yarı-Heusler V1rBi Bileşiğini Oluşturan Atomların Yerleşim Konumları

Faz	V	Ir	Bi
$\alpha$	(0.25,0.25,0.25)	(0.5,0.5,0.5)	(0,0,0)
$\beta$	(0.5,0.5,0.5)	(0,0,0)	(0.25,0.25,0.25)
$\gamma$	(0,0,0)	(0.25,0.25,0.25)	(0.5,0.5,0.5)

GGA yaklaşımı kullanılarak, V1rBi bileşiğinin hesaplanan toplam enerjileri, yarı Heusler yapılarının üç farklı fazı olan  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$ 'nın ferromanyetik (FM) durumları için birim hücre hacminin bir fonksiyonu olarak çizildi. Elde edilen enerji-hacim grafikleri Şekil 1'de sunulmuştur. Şekil 1'den görüldüğü üzere bu bileşiğin FM durumundaki  $\gamma$  fazı, diğer  $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarına kıyasla en düşük toplam enerjiye sahiptir. Hesaplanan toplam enerjilere karşı hacim eğrileri Murnaghan'ın durum denkleminde (Murnaghan, 1944) uydurularak, her bir faz için örgü sabitleri ( $a_0$ ), Bulk modülleri ( $B_0$ ), Bulk modüllerinin basınca göre birinci türevleri ( $B'_0$ ) gibi fiziksel denge parametrelerini belirlemek mümkündür. Hesaplanan değerler Tablo 2'de listelenmiştir.



Şekil 1: V1rBi Yarı-Heusler Bileşiğinin  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  Fazları İçin Toplam Enerji-Hacim Değişimleri

**Tablo 2:**  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  Fazları İçin Hesaplanan Örgü Sabitleri ( $\alpha_0$ ), Bulk Modülleri ( $B_0$ ), Bulk Modüllerinin Basınca Göre Birinci Türevleri ( $B'_0$ )

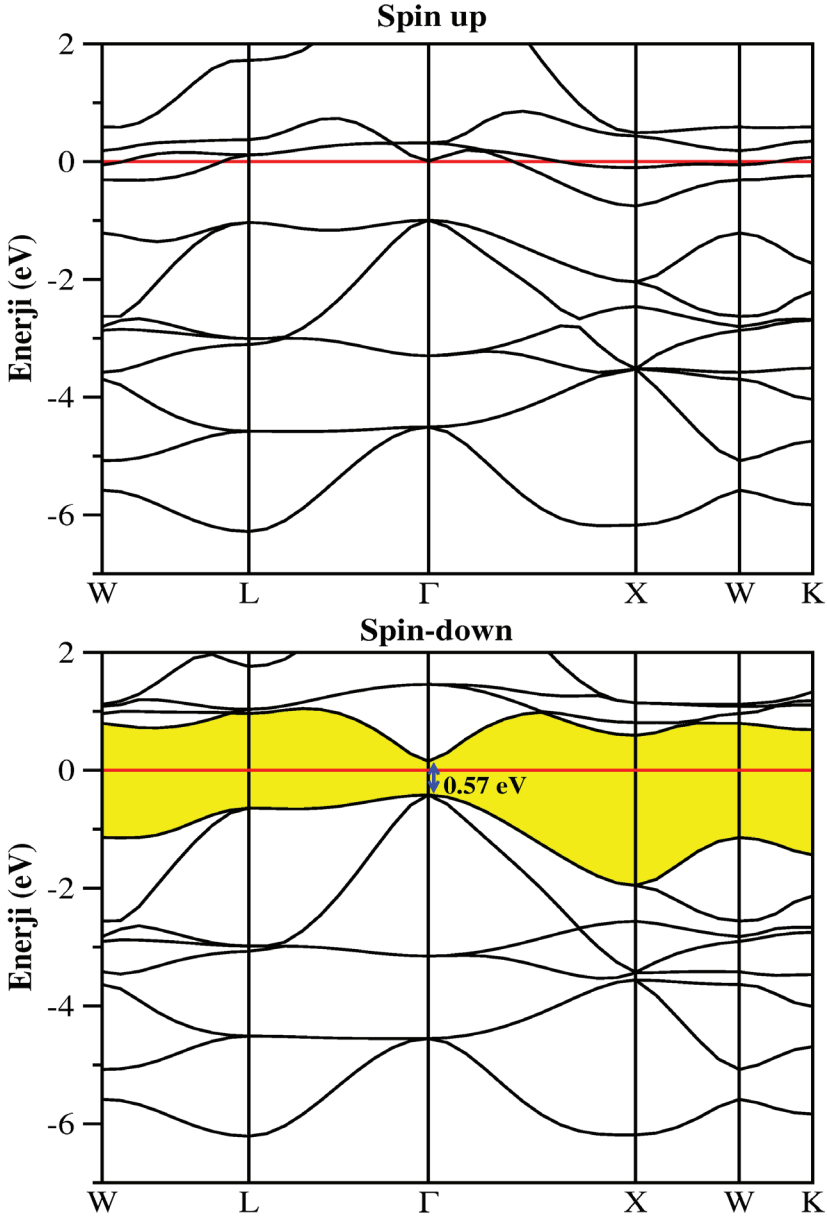
	Faz	$\alpha_0$ (Å)	$B_0$ (GPa)	$B'_0$
V1rBi	$\alpha$	6.323	104.6	4.86
	$\beta$	6.197	119.2	4.90
	$\gamma$	6.249	124.9	4.82

V1rBi bileşiğinin  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  fazları için hesaplanan kafes sabitleri sırasıyla 6.323

Å, 6.197 Å ve 6.249 Å olarak elde edilmiştir.

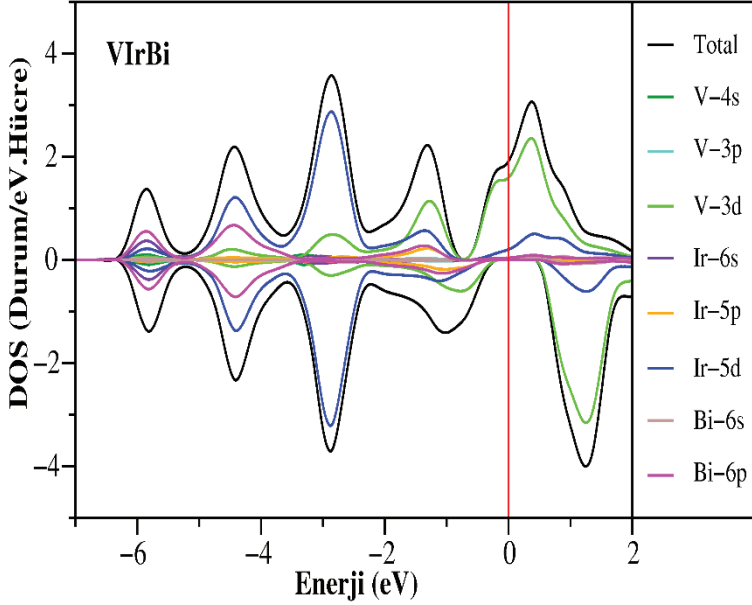
### Elektronik Özellikler

V1rBi bileşiğinin yarı metalik doğasını araştırmak için, yarı Heusler yapısının  $\gamma$  fazında elektronik bant yapısını ve parçalı elektronik durum yoğunluklarını hesaplandı. Tüm grafikler için Fermi seviyesi 0 eV olarak ayarlanmıştır ve kırmızı sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Yarı metalik ferromanyetler, bir spin durumunda yarı iletken veya dielektrik gibi davranırken diğer spin durumunda ise bir metal gibi davranır. Şekil 2 ve 3’de sunulan bant yapıları ve toplam durum yoğunluğu (TDOS) diyagramlarına göre, V1rBi bileşiğinin  $\gamma$  fazında yarı metalik bir özelliğe sahip olduğu söylenebilir. Şekil 2’deki spin-yukarı ve spin-aşağı durumlarında gösterildiği gibi, çoğunluk spin durumu için Fermi enerjisi enerji bantlarını keser, dolayısıyla bileşik metal gibi davranırken azınlık spin kanalı için Fermi enerjisi enerji bandlarını kesmez ve bileşik bir yarı iletken gibi davranır. Eğer incelenen bileşik yarı iletken özellik gösterirse iki farklı türden bahsedilebilir. Birincisi valans bandının maksimumu ile iletim bandının minimumu aynı yüksek simetri noktasında ise malzeme “doğrudan bant aralıklı yarı iletken” özellik gösterir. İkincisi ise valans bandının maksimumu ile iletim bandının minimumu farklı yüksek simetri noktalarında meydana geliyorsa o halde malzeme “dolaylı bant aralıklı yarı iletken” özellik gösterir. V1rBi’nin azınlık spin kanalında oluşan band aralığı doğrudan bant aralıklı yarı iletkeni belirtir ve aralığın değeri 0.57 eV olarak ölçülmüştür. Bu benzersiz davranış, Fermi enerjisinde %100 polarizasyona ve bu bileşiğin  $\gamma$  fazında yarı metalik özelliğe yol açar.



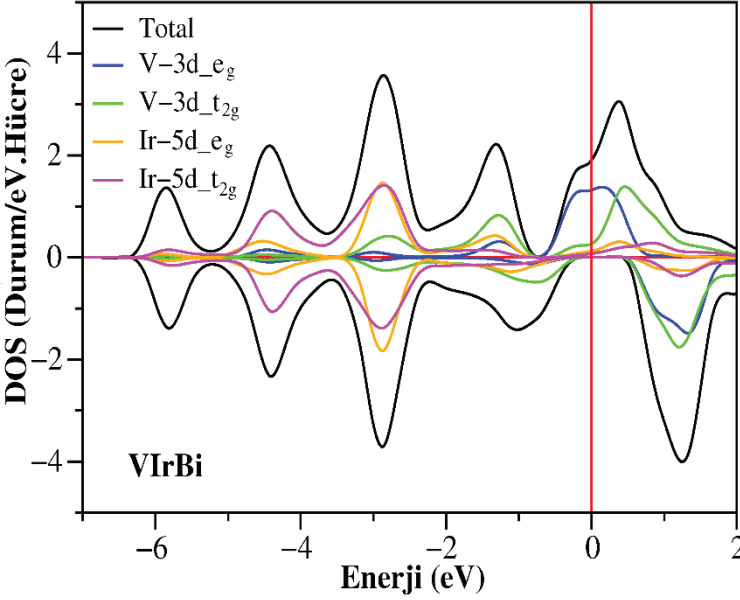
Şekil 2:  $V1rBi$  Bileşiğinin  $\gamma$ -fazı İçin Hesaplanan Spin Polarize Elektronik Band Yapısı

Bu bileşiğin yarı metalik özelliklerinin kökenini incelemek için, bileşiğin parçalı durum yoğunluğu (PDOS) diyagramları araştırıldı ve Şekil 3 ile gösterildi.  $V1rBi$  bileşiği için, Fermi seviyesinin altında Ir elementinin 5d durumları daha etkiliyken, Fermi seviyesinin üzerindeki katkıya V elementinin 3d durumları hakimdir.



Şekil 3: *V1rBi* Yarı-Heusler Bileşiği İçin  $\gamma$ -fazındaki Spin Polarize Toplam Ve Parçalı Durum Yoğunlukları

$d$ -orbitali izole durumda iken beş dejenereliğe sahiptir ve atomik orbitallerin kristal alanla etkileşimi nedeniyle kristalin içine yerleştirildiğinde,  $e_g$  ve  $t_{2g}$  gibi iki alt uzaya ayrılır, öyle ki örneğin çift dejenerasyonlu  $e_g$ 'nin üçlü dejenerasyona sahip  $t_{2g}$ 'den daha düşük enerjisi vardır. *V1rBi* bileşiğini oluşturan V-3d ve Ir-5d atomlarına ait  $e_g$  ve  $t_{2g}$  için hesaplanan durum yoğunluğu diyagramları Şekil 4 ile verilmiştir. Ir-5d atomlarının  $e_g$  ve  $t_{2g}$  durumları, Fermi seviyesinin altında her iki spin durumu içinde en çok katkıda bulunurken, Fermi seviyesi ve Fermi seviyesinin üzerinde V-3d atomlarının  $e_g$  ve  $t_{2g}$  spin durumları daha çok etkindir.



Şekil 4: *VIrBi* Yarı-Heusler Bileşiğindeki *V-3d* ve *Ir-5d* Atomlarına Ait Dejenereliği Gösteren Durum Yoğunlukları

### Manyetik Özellikler

Yarı-Heusler yapıdaki yarı metalik ferromanyet malzemelerin toplam manyetik momentleri, aşağıda verilen Slater-Pauling ilişkisinden hesaplanabilir (Pauling, 1938):

$$M_{toplam} = (Z_{toplam} - 18)\mu_B \quad (1)$$

Buradaki  $Z_{toplam}$ , bileşiği oluşturan atomların valans elektronlarının toplam sayısını gösterir. Yukarıdaki denkleme göre *VIrBi* bileşiği için değerlik elektronlarının sayısı 19'a eşit olduğundan, bu bileşiğin manyetik moment miktarının formül birimi başına  $1.0 \mu_B$  olduğu tahmin edilecektir. Toplam manyetik moment dört kısımdan oluşur: V atomu, Ir atomu, Bi atomu ve ara yer bölgeleridir. Denge örgü sabitinde yarı-Heusler *VIrBi* bileşiğinin  $\gamma$  fazı için hesaplanan toplam ve kısmi manyetik momentler Tablo 3'de rapor edilmiştir.

Tablo 3: *VIrBi* Bileşiğinin  $\gamma$  Fazında Hesaplanan Toplam Ve Kısmi Manyetik Momentler

	$M_t$	$M_V$	$M_{Ir}$	$M_{Bi}$	$M_{int.}$
<b>VIrBi</b>	1.000	1.139	-0.151	-0.041	0.053



Hesaplanan toplam manyetik moment değeri, yarı metalik ferromanyetler için Slater-Pauling kuralına tamamen uyan yarı-Heusler VIrBi bileşiği için bir tam sayı olan  $1 \mu_B$ 'dir. Tablo 3'den toplam manyetik momente ana katkının geçiş metali olan V atomundan kaynaklandığı görülmektedir.

## SONUÇ

Bu çalışmada, VIrBi yarı-Heusler bileşiğinin yapısal stabilitesi, yarı metalik özellikler kapsamında elektronik ve manyetik özellikleri ilk prensip hesaplamalar yardımıyla araştırılmıştır. VIrBi bileşiğinin  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  yapısal fazları için toplam enerji ve hacim değişimleri hesaplanmış ve elde edilen verilerden bu bileşiğin en kararlı fazının  $\gamma$  yapısal fazı olduğu belirlenmiştir. Daha sonra en kararlı faz olan  $\gamma$  için spin bağımlı elektronik bant yapı grafikleri, toplam ve kısmi durum yoğunluklar çizdirilmiştir. Bant yapısı hesaplaması, CrTiSi'nin yaklaşık 0.765 eV dolaylı bant aralığı ile yarı metal olduğunu ve CrScSi'nin doğada metalik olduğunu göstermektedir. Elektronik özelliklerden VIrBi'nin yarı metalik ferromanyet özellik gösterdiği bulunmuştur ve 0.57 eV'luk dolaylı bant aralığı değerine sahiptir. Ayrıca VIrBi için hesaplanan manyetik momentin tamsayı değeri bu bileşiğin yarı metalikliğini doğrular ve hesaplanan toplam manyetik moment Slater-Pauling kuralına da uyar. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bu bileşiğin spintronik cihazlarda kullanım için potansiyel bir aday olduğunu ortaya koymaktadır.

## KAYNAKÇA

- Berland, K., Shulumba, N., Hellman, O., Persson, C., & Løvvik, O. M. (2019). Thermoelectric transport trends in group 4 half-Heusler alloys. *Journal of Applied Physics*, 126(14), 145102.
- Damewood, L., Busemeyer, B., Shaughnessy, M., Fong, C., Yang, L., & Felser, C. (2015). Stabilizing and increasing the magnetic moment of half-metals: The role of Li in half-Heusler LiMn Z (Z= N, P, Si). *Physical Review B*, 91(6), 064409.
- Dey, A., Sharma, R., & Dar, S. A. (2020). An extensive investigation of structural, electronic, thermoelectric and optical properties of bi-based half-Huesler alloys by first principles calculations. *Materials Today Communications*, 25, 101647.
- Hohenberg, P., & Kohn, W. (1964). Density functional theory (DFT). *Phys. Rev*, 136, B864.
- Kandpal, H. C., Fecher, G. H., & Felser, C. (2007). Calculated electronic and magnetic properties of the half-metallic, transition metal based Heusler compounds. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 40(6), 1507.
- Kaur, K., Kumar, R., & Rai, D. (2018). A promising thermoelectric response of HfRhSb half Heusler compound at high temperature: a first principle study. *Journal of alloys and compounds*, 763, 1018-1023.
- Li, J., Li, Y., Dai, X., Liu, H., & Yu, X. (2008). Ab initio investigation of half-metal state in zinc-blende MnSn and MnC. *Physica B: Condensed Matter*, 403(13-16), 2473-2476.
- Methfessel, M., & Paxton, A. (1989). High-precision sampling for Brillouin-zone integration in metals. *Physical Review B*, 40(6), 3616.
- Monkhorst, H. J., & Pack, J. D. (1976). Special points for Brillouin-zone integrations. *Physical Review B*, 13(12), 5188.
- Murnaghan, F. D. (1944). The compressibility of media under extreme pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 30(9), 244-247.
- Nanda, B., & Dasgupta, I. (2003). Electronic structure and magnetism in half-Heusler compounds. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 15(43), 7307.
- Park, J.-H., Vescovo, E., Kim, H.-J., Kwon, C., Ramesh, R., & Venkatesan, T. (1998). Direct evidence for a half-metallic ferromagnet. *Nature*, 392(6678), 794-796.
- Pauling, L. (1938). The nature of the interatomic forces in metals. *Physical Review*, 54(11), 899.
- Perdew, J. P., Burke, K., & Ernzerhof, M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. *Physical review letters*, 77(18), 3865.

- Rostami, M., Afshari, M., & Moradi, M. (2013). Bulk and surface half-metallicity of CsS in CsCl structure: a density functional theory study. *Journal of alloys and compounds*, 575, 301-308.
- Sekimoto, T., Kurosaki, K., Muta, H., & Yamanaka, S. (2005). Thermoelectric properties of (Ti, Zr, Hf) CoSb type half-Heusler compounds. *Materials transactions*, 46(7), 1481-1484.
- Shrivastava, D., & Sanyal, S. P. (2019). Theoretical study of structural, electronic, phonon and thermoelectric properties of KScX (X= Sn and Pb) and KYX (X= Si and Ge) half-Heusler compounds with 8 valence electrons count. *Journal of alloys and compounds*, 784, 319-329.
- Stroppa, A., Picozzi, S., Continenza, A., & Freeman, A. (2003). Electronic structure and ferromagnetism of Mn-doped group-IV semiconductors. *Physical Review B*, 68(15), 155203.
- Yan, F., Zhang, X., Yu, Y. G., Yu, L., Nagaraja, A., Mason, T. O., & Zunger, A. (2015). Design and discovery of a novel half-Heusler transparent hole conductor made of all-metallic heavy elements. *Nature communications*, 6(1), 1-8.
- Zhao, D., Zuo, M., Bo, L., & Wang, Y. (2018). Synthesis and thermoelectric properties of Pd-doped ZrCoBi half-Heusler compounds. *Materials*, 11(5), 728.



“

## **BÖLÜM 9**

**ITS2 İKİNCİL YAPI VE TÜR  
SINIRLANDIRMA: OLIGOCHAETA  
(NAIS SPP.) ÜZERİNDEN  
DEĞERLENDİRMESİ**

*Deniz MERCAN<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü,  
Eskişehir, Türkiye

e-mail: dkara@ogu.edu.tr, Orcid: 0000-0002-5526-8501

## 1.GİRİŞ

Bir organizmanın doğru bir şekilde tanımlanması, yalnızca biyoçeşitliliğin değerlendirilmesi ve korunması için değil, aynı zamanda ayrıca diğer biyolojik disiplinler için (sitoloji, fizyoloji, vb.) gerekli bir unsurdur (Ding vd., 2019). İyi bir tür sınırlandırma süreci yalnızca tanımlanan türlerin biyolojik disiplinler arasındaki uyumsuzluklarını değil aynı zamanda çalışılan taksonların ve akrabalarının evrimsel süreçlerinin anlaşılmasına da katkıda bulunur (Struck vd., 2018). Ancak bir grubun taksonomik anlamda problemlerini çözmek için kullanılacak taksonomik yaklaşımın belirlenmesi araştırmacıların karşılaştığı en büyük problemlerdendir.

Araştırmacılar genellikle ilgi alanlarına göre en uygun tür sınırı belirleme yöntemini kullansalar da taksonomideki pratik kullanımı nedeniyle en yaygın kullanılan yöntem, morfolojik (fenetik) tür kavramı yöntemidir (Sokal ve Crovello, 1970). Türlerin sınırlandırılması ve türlerin teşhis edilmesine yönelik geleneksel yaklaşım olan nitelendirilen morfolojik tür kavramı, farklı popülasyonların tür seviyesinde sınıflandırmak için bireylerin tanınal fenotipik özelliklerini kullanmaktadır (Sokal ve Crovello, 1970). Bu geleneksel yöntemde tür sınırları belirlenecek gruplar arasındaki bilgi verici ve korunmuş morfolojik karakterlerden elde edilen evrimsel bilgilendirici kanıtlar, morfolojik olarak farklılaşmış birimleri sınıflandırmak için kullanılır (Podos, 2001). Ancak, gruplar arasındaki karakter sınırlarının doğru bir şekilde belirlenebilmesi için araştırmacının grup taksonomisi ve evrimi hakkında uzman olması gerekmektedir. Bununla birlikte, organizmalar arasındaki fenotipik ayırım, morfolojik varyasyon ve konvergent evrim mekanizması gibi nedenler araştırmacının uzman olmasına rağmen yanlış taksonomik değerlendirmelere neden olabilmektedir. Dahası, genetik olarak farklı soylar haline dönüşen bazı gruplarda genetik farklılaşma her zaman fenolojiye yansımayaabilmektedir (Visser vd., 2010).

Biyoloji biliminde birbirinden farklı tür kavramı ve dolayısıyla tür sınırları belirleme modelleri önerilmiş olmakla birlikte bunlardan Van Valen (1976) tarafından önerilen ve alternatif bir tür kavramı olarak değerlendirilen ekolojik tür kavramı benimsediği yaklaşım açısından diğer yöntemlerden oldukça farklılık göstermektedir.

Van Valen (1976), türleri adaptasyon sağladıkları farklı bölgeleri işgal eden en küçük birimler olarak tanımlamaktadır. Jeolojik dönemlerde gerçekleşen ekolojik değişimlerin ortak atalarda farklılaşmaya neden olduğu ve bu farklı soyların (türlerin) oluşmasında sadece ekolojik değişimlerin aktif rol oynadığı yine Van Valen (1976) tarafından belirtilmektedir. Andersson (1990)'ın da belirttiği gibi ekolojik veriler türlerin sınırlarını belirlemede kullanılan bir kriter olmakla birlikte tür sınırlarının belirlen-

mesinde sadece ekolojik kriterlerin kullanılması yetersiz ve eksik bir yaklaşımdır.

Diğer tür sınırlandırma (morfolojik, ekolojik, biyolojik vb.) yöntemlerine göre görece yakın bir tarihte ileri sürülen filogenetik tür kavramı günümüzde en sık kullanılan tür sınırları belirleme yöntemlerindedir. Filogenetik tür kavramı ve yöntemi ilk kez Cracraft (1983) tarafından geliştirilmiş ve ileri sürülmüştür.

## 2.FİLOGENETİK YAKLAŞIM

Filogenetik, kısaca dünya üzerindeki yaşamın evrimsel ilişkilerini tahmin etme ve analiz etme bilimidir. Başlangıçta, canlı organizmanın filogenetik ilişkileri morfolojik veriler kullanılarak oluşturulmuştur (Cracraft, 1983). Çünkü canlıların dış görünüşleri, morfolojik özellikleri yani kısacası fenotipleri genetik bilginin sonucudur. Canlıların sahip olduğu genetik bilgi bir sonraki nesle ve yavrulara geçer ve oluşan neslin fenotipik özellikleri bu genetik bilgi tarafından belirlenir.

Fenotip yani morfolojik özellikler bir canlıda proteinlerin, RNA'nın, DNA'nın ve bunların çevre ile etkileşiminin bir sonucu olmasına rağmen, intronlar gibi bazı genetik materyallerin işlevi hala tam olarak açıklanamamıştır. Her ne kadar intronların işlevsel özellikleri tam olarak bilinmese de teknolojik gelişmelerin sağladığı katkılar ile elde edilen birçok genetik veri organizmalar arasındaki filogenetik ilişkileri tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Montegut-Felkner ve Triemer, 1997).

Moleküler sistematik çalışmalarda proteinler ve DNA en çok kullanılan iki moleküldür. Bu moleküllerin her ikisi de kalıtsal olduğundan, lineer bir DNA veya protein dizisinin filogenetik bilgi içerdikleri varsayılr (Page ve Holmes, 2009).

DNA, her birinin 5' karbonu bir sonraki şekerin 3' karbonuna bağlayan bir fosfodiester ile deoksiribozlardan oluşan iki antiparalel polinükleotit şeridine sahip bir çift sarmal şeklindedir. Her şekerde, dört bazdan biri, adenin (A) veya guanin (G) (pürinler); timin (T) veya sitozin (C) (pirimidinler), 1' karbona bağlıdır. Bir DNA dizisinin belirli bir pozisyonunda bulunan bu bazlardan her birbiri bir karakter olarak değerlendirilir. Organizmadan organizmaya belirli pozisyondaki bu bazların farklılık göstermesi ise karakter durumu olarak nitelendirilir ve türlerin sınırlarını belirlemede homolog olan DNA dizilerindeki bu karakter ve karakter durumları kullanılmaktadır (Borodovsky ve McIninch, 1993).

Bir organizmanın nükleotid dizisi dört harfle (A, T, G, C) temsil edilir. Her üç harfin bir araya gelmesiyle belirli bir amino asit için bir kod oluşturulur. DNA'nın kendini çoğaltması sırasında, DNA polimeraz ba-

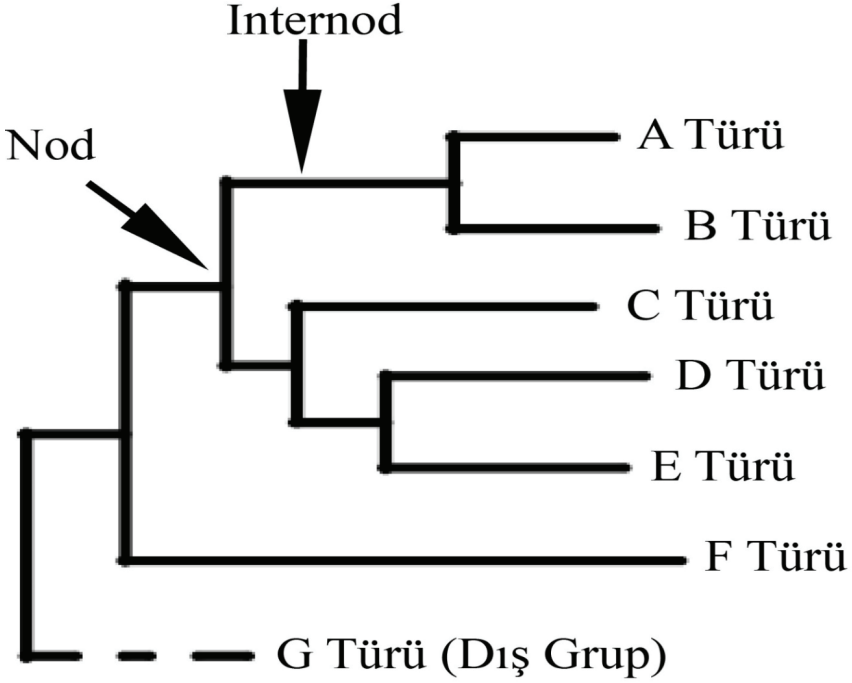
zen tamamlayıcı olmayan bir nükleotit içerebilir. Ayrıca çevresel etmenler (UV ışığı gibi) bazalara zarar verebilir. Bu gibi durumlarda DNA iplikçığı kimyasal olarak (DNA iplikçığını oluşturan bazların dizilişi) değiştirilebilir. Genetik materyalin onarım mekanizması çevresel etmenler nedeniyle meydana gelen bu hasarları kaçırırsa, nokta mutasyonu olarak mutasyon gerçekleşir. Mevcut dizide aminoasidi tanımlayan üçüncü kodon konumunda meydana gelen nokta mutasyonu nadiren bir amino asitte değişiklik yaparken, ilk kodonda meydana gelen mutasyon çoğunlukla bir amino asit değişikliği ile sonuçlanır. Amino asit dizisinde meydana gelen ancak hiçbir değişikliğe neden olmayan mutasyonlara sessiz veya eşanlı mutasyonlar denir (Freier ve Altmann, 1997; Chamary vd., 2006).

Genetik materyalde nokta mutasyonlarından başka farklılaşmaya neden olan başka yollar da vardır. Bunlar arasında transitions (geçişler) ve transversions (dönüşler) olarak bilinen genetik yapıda farklılaşmaya neden olan etmenler en sık karşılaşılanlardır (Freese, 1961). Bir pürinin (A, G) bir pürin veya pirimidin ile değiştirilmesi transitions (geçişler) olarak adlandırılırken tam tersi durum olan pürinden pirimidine değişim (veya tersi) transversions (dönüşler) olarak adlandırılır. Bu durum mayoz sırasında rekombinasyon ve gen duplikasyonu da neden olarak organizmalar arasındaki genetik çeşitliliğin artmasına neden olabilmektedir (Allers ve Lichten, 2001).

Pek çok protein, seçim veya şansa bağlı olarak uzun süre değişmeden kalabileceğinden, DNA'daki değişimler ve farklılıklar çoğunlukla filogenetik analizlerde sıklıkla kullanılmaktadır (Foster ve Hickey, 2009). Ancak her ne kadar DNA, filogenetik analizlerde sıklıkla kullanılsa da doğru filogenetik analizleri yapmak için bazı zorluklar (örneklem; DNA lokusu belirleme; uygun model seçimi vb.) bulunmaktadır.

Filogenetik çalışmalarda (ister morfolojik isterse genetik veri kullanılsın) canlılar arasındaki evrimsel akrabalık ilişkiler organizmalar tarafından paylaşılmış olan ortak karakterler temel alınarak (sinapomorfi) bir kladogram şeklinde gösterilir. Kladogramlarda (başka bir ifadeyle filogenetik ağaçlarda) türlerin ortak bir atadan köken aldığı prensibi geçerlidir. Birbirine yakın akraba olduğu belirtilen türlerde paylaşılmış ortak ataya ait olan karakterler yani apomorfik karakterler bulunmalıdır. İki türün ortak atadan dolayısıyla birbirlerinden farklılaşmaya başladıkları noktalar filogenetik bir ağaçta nod denilen ayrılma noktaları olarak ifade edilmektedir. Internodlar ise türlerin değişim geçirmeye devam ettikleri süreçler olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1).





Şekil 1. Farklı türlerin akrabalık ilişkilerinin filogenetik bir ağaç (kladogram) şeklinde gösterimi.

Filogenetik bir ağaçta (Şekil 1) ortak bir atadan geldiği gösterilen (yani monofiletik) en küçük birim filogenetik açıdan tür olarak değerlendirilir. Kladistik yaklaşımda canlıların ortak bir atadan geldiği düşüncesi hâkim olduğundan bir grubun filogenisi oluşturulurken ortak atanın yani atasal karakterlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Genetik veri kullanılarak oluşturulan filogenetik ağaçlarda atasal karakter ve karakter durumlarının tespit edilebilmesi için dış grup kullanımı gerekmektedir (Şekil 1).

Elde edilen filogenetik ağaçta monofiletik olduğu kabul edilen en küçük birimler farklı birer tür olarak değerlendirilir. Genetik veri kullanılarak canlıların tür sınırlarını belirlemek sadece filogenetik yöntemler ile gerçekleşmemektedir. Genetik bilgi kullanılarak farklı grupların tür sınırları farklı algoritmalar ve bilgisayar yazılımları kullanılarak tespit edilebilmektedir.

### 3. ITS2 İKİNCİL YAPI

Filogenetik çıkarsama dışında genetik veri kullanılarak gerçekleştirilen tür sınırı belirleme yöntemlerinden bir tanesi de birçok farklı organizmada bulunan çekirdek DNA'sının (nrDNA) ITS2 (Internal Transcribed

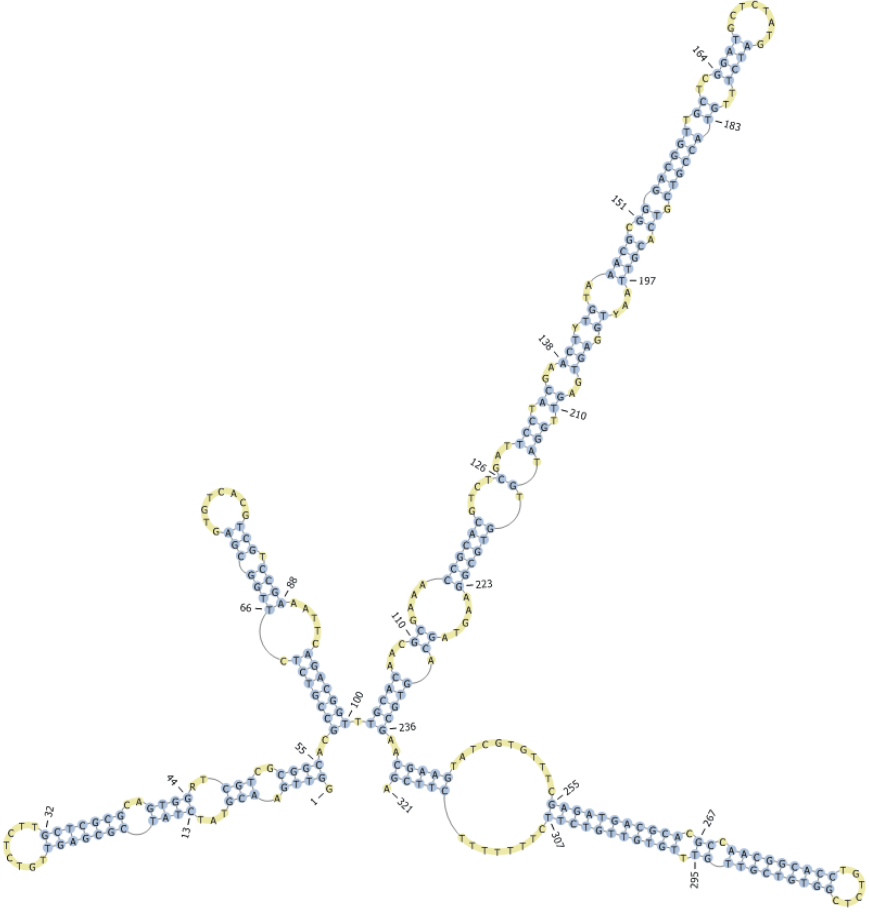
Spacer 2) sekonder katlanma yapısı ve bu katlanma üzerinde meydana gelen telafi edici baz değişiklikleri (CBC)'dir.

Toplamda yedi adet olan ribozomal RNA gen kümesinden üç tanesi olan 18S, 5.8S ve 26S bölgeleri birbirlerinden ITS1 ve ITS2 olarak adlandırılan aralayıcılar ile ayrılmaktadırlar (Baldwin vd., 1995). Yedi farklı alt bileşenden oluşan ribozomal RNA gen kümesinde ITS bölgesi çok fazla mutasyona içerebilse de ITS2 bölgesi rRNA oluşumunda oldukça önemli fonksiyonlara sahip olduğundan oldukça korunmuş bir ikincil yapıya sahiptir (Mai ve Coleman, 1997).

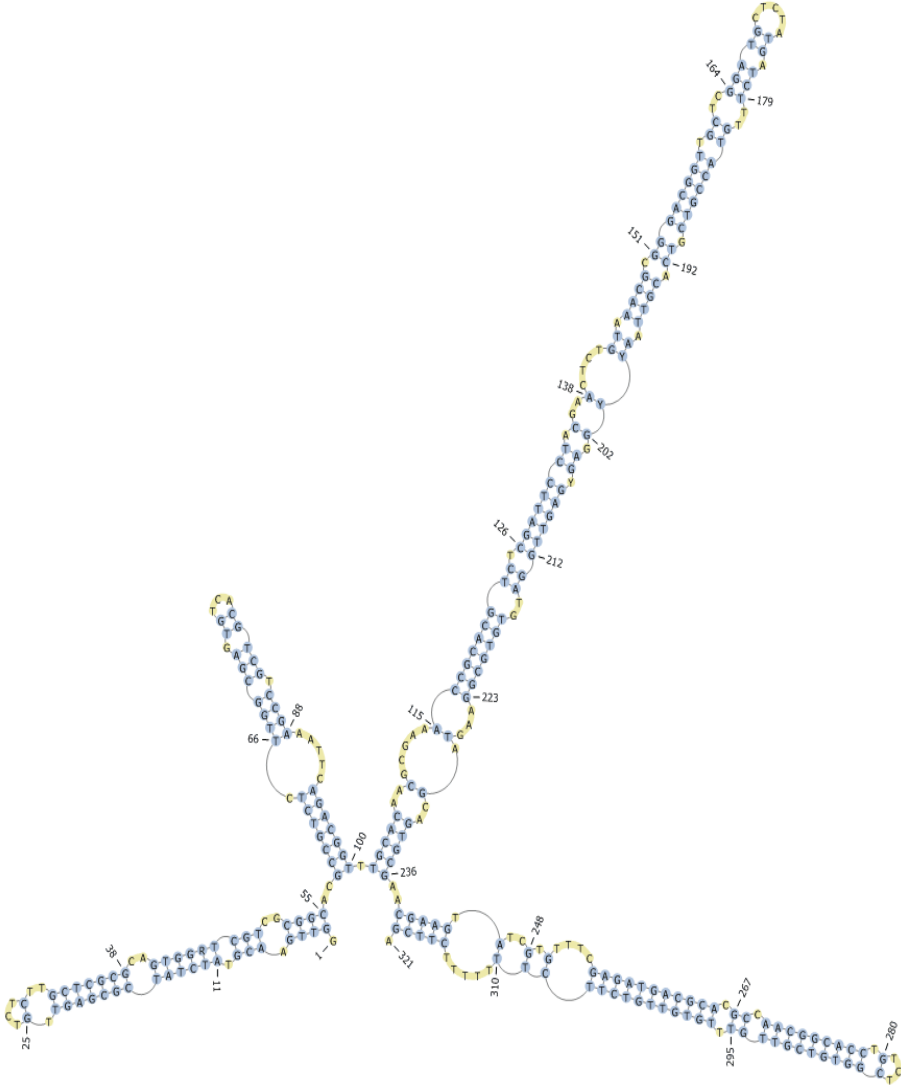
Coleman ve Vacquier (2002), çekirdek DNA'sının ITS bölgesi ile gerçekleştirdikleri çalışmada ITS2'nin ikincil yapısı ile türler arası üreme ve genetik materyal aktarımı arasında bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. Coleman ve Vacquier (2002) göre birbirleri ile gen akışı olmayan iki türün ITS2 ikincil yapıları incelendiğinde farklı türlerin farklı ITS2 ikincil yapısına sahip olduklarını tespit etmişlerdir.

### **3.1.ITS2 ikincil yapıların incelenmesi: *Oligochaeta (Nais spp.)* örneği**

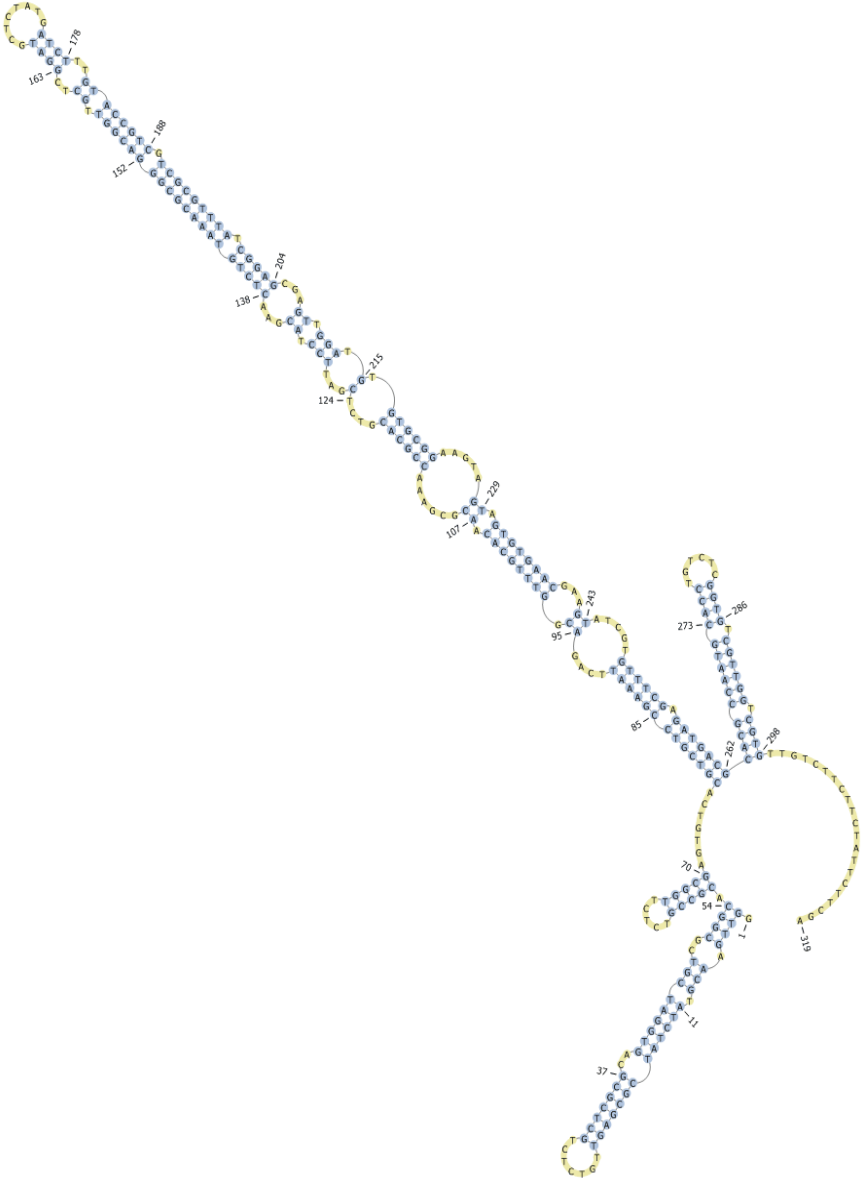
Aşağıdaki şekillerde (Şekil 2-5) bir tatlı su oligoketi olan ve Naididae ordosu içinde yer alan *Nais* cinsine ait farklı türlerin ITS2 ikincil yapıları görülmektedir. İlgili türlere ait olan DNA dizileri NCBI'dan alınmış ve şekiller ITS2 Database (<http://its2.bioapps.biozentrum.uni-wuerzburg.de/>)'den elde edilmiştir.



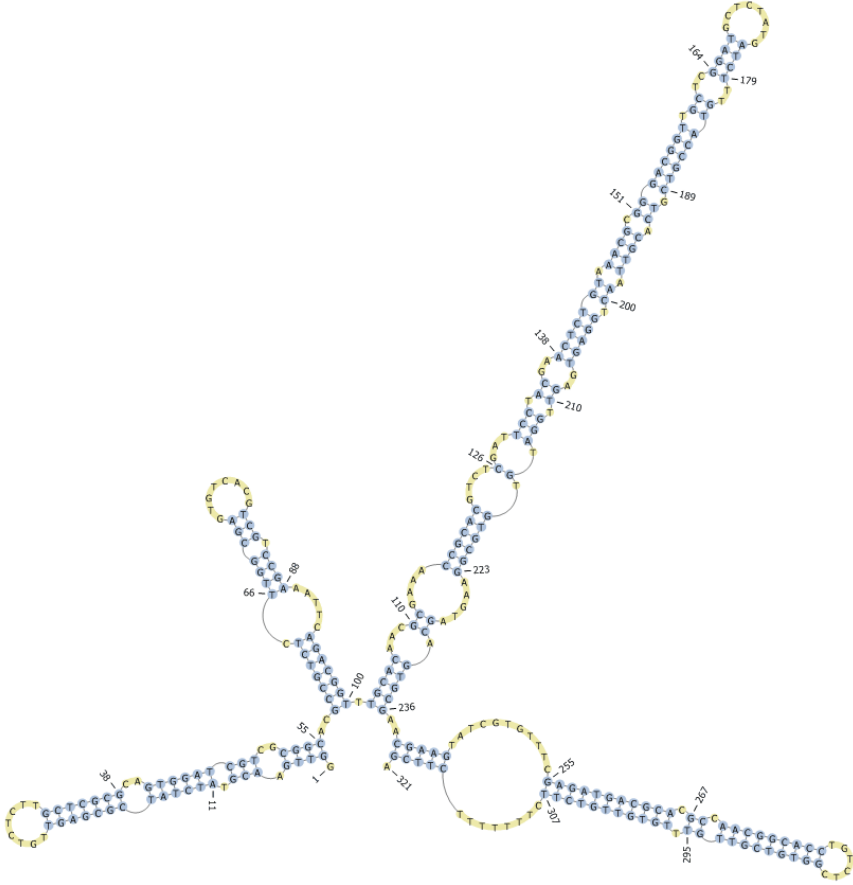
**Şekil 2.** NCBI'da JQ599175 referans numarasıyla kayıtlı olan *Nais* üyesine ait ITS2 sekonder yapısı.



Şekil 3. NCBI'da JQ599176 referans numarasıyla kayıtlı olan *Nais* üyesine ait ITS2 sekonder yapısı.



**Şekil 4.** NCBI'da JQ599177 referans numarasıyla kayıtlı olan *Nais* üyesine ait ITS2 sekonder yapısı.



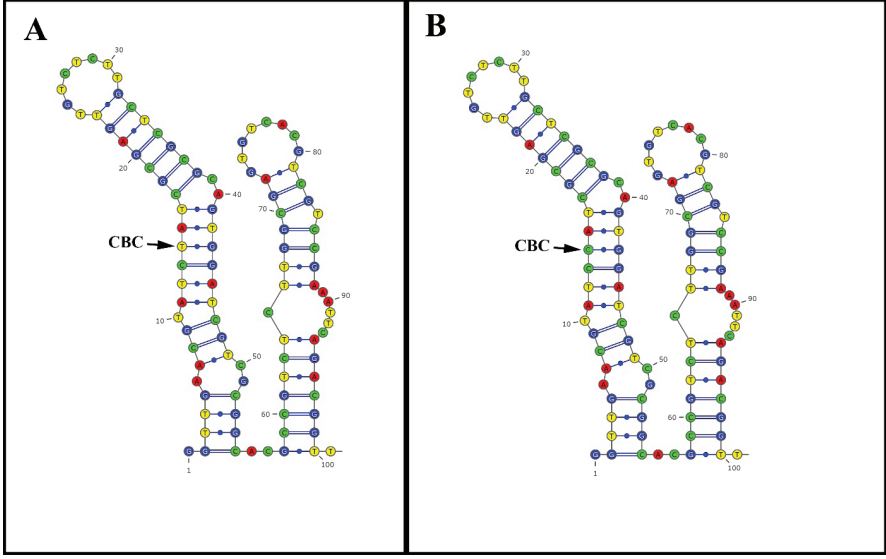
**Şekil 5.** NCBI'da JQ599186 referans numarasıyla kayıtlı olan *Nais* üyesine ait ITS2 sekonder yapısı.

Coleman ve Vacquier (2002)'ün ITS2'nin ikincil yapısı ile gerçekleştirdikleri çıkarılamaya göre incelenen *Nais* cinsine ait örneklerin birbirinden farklı türler olduğu söylenebilir. Çünkü örneklerin tamamının ITS2 ikincil yapıları incelendiğinde (Şekil 2-5) bu yapılarının her birinin birbirinden farklı katlanmalara sahip oldukları görülmektedir.

Coleman ve Vacquier (2002)'a göre farklı türden canlıların sadece ITS2 ikincil yapıları değil aynı zamanda bu canlıların ITS2 ikincil yapılarında aynı pozisyonda olan bazların da farklı olabildiği ve bu duruma bağlı olabildiği gösterilmiştir. ITS2 ikincil yapısında aynı pozisyonda farklı bazların bulunması ile Telafi Edici Baz Değişikliği (CBC; Compensatory Base Changes) denilen farklılaşmaların olabildiği gösterilmiştir.

ITS2'nin aynı pozisyonundaki baz değişikliği ile oluşan Telafi Edici Baz Değişikliği (CBC; Compensatory Base Changes) Coleman ve Vacqui-

ier (2002)'a göre türleşmenin ve farklılaşmanın belirtisi olmakla birlikte karşılaştırılan iki bireyin aynı pozisyonundaki baz değişikliği bu iki bireyin farklı tür olduğunu göstermektedir. Şekil 6'da iki farklı türün 14. baz pozisyonundaki CBC gösterilmektedir. Dikkat edilirse bu iki bireyde aynı ikincil yapıya sahip olmakla birlikte sahip oldukları CBC bunların farklı tür olabileceğini göstermektedir.



**Şekil 6.** Benzer ITS2 ikincil yapısına sahip olan A ve B olarak belirtilen farklı bireylerin 14. baz pozisyonundaki CBC bu iki bireyin farklı türler olduğunu göstermektedir.

Coleman ve Vacquier (2002) tarafından son dönemde ileri sürülen CBC tür konsepti her ne kadar bazı gruplarda doğru sonuçlar verse de bazı araştırmacılar (Wiemers vd., 2009; Caisová vd., 2013; Amado vd., 2013) sistemin uygulanabilirliğini halen tartışmaktadır.

Görüldüğü üzere tür sınırlarının belirlenmesinde geçmişten günümüze gelen bütün metotlarda hata payı bulunabilmektedir. Bu noktada morfolojik, biyolojik, fenetik, kladistik ve ekolojik gibi tür tanımları ve bu tür tanımlarının belirttiği tür sınırlandırma mekanizmaları çalışılan gruplara tek tek uygulamak yerine bu yaklaşımların birden fazlasını içeren ve bütünleşik taksonomik yöntem olarak belirtilen yöntemlerin uygulanması tür sınırlarının belirlenmesinde daha doğru sonuç elde etmeye yardımcı olacağı yadsınamaz bir gerçektir.

## KAYNAKLAR:

- Allers, T., & Lichten, M. (2001). Differential timing and control of noncrossover and crossover recombination during meiosis. *Cell*, 106(1), 47-57.
- Amado, Y., Patiño-Uzcátegui, A., Cepero de García, M. C., Tabima, J., Motta, A., Cárdenas, M., ... & Celis, A. (2013). Seborrhic dermatitis: predisposing factors and ITS2 secondary structure for *Malassezia* phylogenetic analysis. *Medical mycology*, 51(8), 868-875.
- Baldwin, B. G., Sanderson, M. J., Porter, J. M., Wojciechowski, M. F., Campbell, C. S., & Donoghue, M. J. (1995). The ITS region of nuclear ribosomal DNA: a valuable source of evidence on angiosperm phylogeny. *Annals of the Missouri botanical garden*, 247-277.
- Borodovsky, M., & McIninch, J. (1993). GENMARK: parallel gene recognition for both DNA strands. *Computers & chemistry*, 17(2), 123-133.
- Caisová, L., Marin, B., & Melkonian, M. (2013). A consensus secondary structure of ITS2 in the Chlorophyta identified by phylogenetic reconstruction. *Protist*, 164(4), 482-496.
- Chamary, J. V., Parmley, J. L., & Hurst, L. D. (2006). Hearing silence: non-neutral evolution at synonymous sites in mammals. *Nature Reviews Genetics*, 7(2), 98-108.
- Coleman, A. W., & Vacquier, V. D. (2002). Exploring the phylogenetic utility of ITS sequences for animals: a test case for abalone (*Haliotis*). *Journal of molecular evolution*, 54(2), 246-257.
- Cracraft, J. (1983). Species concepts and speciation analysis. In *Current ornithology* (pp. 159-187). Springer, New York, NY.
- Ding, X., Xiao, J. H., Li, L., Conran, J. G., & Li, J. (2019). Congruent species delimitation of two controversial gold-thread nanmu tree species based on morphological and restriction site-associated DNA sequencing data. *Journal of Systematics and Evolution*, 57(3), 234-246.
- Foster, P. G., & Hickey, D. A. (1999). Compositional bias may affect both DNA-based and protein-based phylogenetic reconstructions. *Journal of molecular evolution*, 48(3), 284-290.
- Freese, E. B. (1961). Transitions and transversions induced by depurinating agents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 47(4), 540-545.
- Freier, S. M., & Altmann, K. H. (1997). The ups and downs of nucleic acid duplex stability: structure-stability studies on chemically-modified DNA: RNA duplexes. *Nucleic acids research*, 25(22), 4429-4443.
- Mai, J. C., & Coleman, A. W. (1997). The internal transcribed spacer 2 exhibits a common secondary structure in green algae and flowering plants. *Journal of Molecular Evolution*, 44(3), 258-271.



- Montegut-Felkner, A. E., & Triemer, R. E. (1997). Phylogenetic Relationships of Selected Euglenoid Genera Based on Morphological and Molecular Data 1. *Journal of phycology*, 33(3), 512-519.
- Page, R. D., & Holmes, E. C. (2009). *Molecular evolution: a phylogenetic approach*. John Wiley & Sons.
- Podos, J. (2001). Correlated evolution of morphology and vocal signal structure in Darwin's finches. *Nature*, 409(6817), 185-188.
- Sokal, R. R., & Crovello, T. J. (1970). The biological species concept: a critical evaluation. *The American Naturalist*, 104(936), 127-153.
- Struck, T. H., Feder, J. L., Bendiksby, M., Birkeland, S., Cerca, J., Gusarov, V. I., ... & Dimitrov, D. (2018). Finding evolutionary processes hidden in cryptic species. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(3), 153-163.
- Van Valen, L. (1976). Ecological species, multispecies, and oaks. *Taxon*, 233-239.
- Visser, M. E., Caro, S. P., Van Oers, K., Schaper, S. V., & Helm, B. (2010). Phenology, seasonal timing and circannual rhythms: towards a unified framework. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1555), 3113-3127.
- Wiemers, M., Keller, A., & Wolf, M. (2009). ITS2 secondary structure improves phylogeny estimation in a radiation of blue butterflies of the subgenus *Agrodiaetus* (Lepidoptera: Lycaenidae: Polyommatus). *BMC Evolutionary Biology*, 9(1), 1-27.



“

## Bölüm 10

### ***CAENORHABDITIS ELEGANS* MODEL ORGANİZMASINDA TRANSKRİPTOM VE METABOLOM ANALİZLERİ**

*Şeyda BERK<sup>1,2</sup>*

*Ayşe Nur PEKTAŞ<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Moleküler Biyoloji ve Genetik, Sivas, Türkiye.

e-posta:aysenurpektas@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-5621-2844,

Öğr. Gör. Dr. Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, Fen Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, 58140, Sivas, Türkiye, e-posta:sberk@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4687-0223

## GİRİŞ

Metabonomi veya metabolomik, spektrometri ve genomik araştırmaları sonrası bu teknolojiler ile geliştirilen yeni bir “omik” disiplini olup, genellikle, canlı sistemlerdeki tüm metabolitlerin ve eksojen uyarılara, genetik veya çevresel modifikasyona yanıt olarak metabolik varyasyonların eş zamanlı olarak ölçülmesini ifade eder. Metabonominin ana amacı, bir hücrenin veya canlı sistemin biyolojik durumunun, biyoakışkanlardaki metabolitlerin kimyasal profil modellerini ortaya çıkarmaktır. Bu nedenle, metabonomik çalışmaların odağı, küçük molekül metabolitlerinin kantitatif ve kantitatif karakterizasyonudur. Metabonominin toksikoloji, hastalık teşhisi, biyobelirteç keşfi ve ilaç alanındaki çalışmalar ile sağlık alanında büyük bir potansiyele sahip olduğu kanıtlanmıştır.

Metabolom doğası gereği büyük ve karmaşıktır. *Escherichia coli* ve *Saccharomyces cerevisiae* gibi mikropların sırasıyla 3.700 ila 16.000 metaboliti vardır (Ramirez-Gaona ve ark., 2017; Sajed ve ark., 2016). Tek tek bitkilerin 30.000–80.000 metabolite sahip olduğu düşünülürken, tüm bitkiler âleminde 200.000 ila 1.000.000 arasında metabolitten oluşur (Binning, 2004; Saito & Matsuda, 2010). En çok sayıda bitki bileşikleri, ikincil metabolitler ve lipitlerdir. Omurgalılar, bitkilerde görülen daha “egzotik” ikincil metabolitlerin aksine, metabolitlerin çoğunluğu farklı lipit türleri olmak üzere, büyük olasılıkla tek tek bitkilere benzer boyutta bir metaboloma sahiptir. Serbest yaşayan insanlar çok çeşitli bir diyete sahip oldukları ve çok çeşitli ilaçlara, gıda katkı maddelerine, kozmetiklere ve ev kimyasallarına maruz kaldıkları için, insan metabolomunun muhtemelen bir milyondan fazla endojen ve ekzojen bileşikten oluştuğuna inanılmaktadır (Uppal ve ark., 2016). Ancak bugüne kadar *Homo sapiens*’te sadece yaklaşık 114.000 kadar metabolit tanımlanmıştır (Wishart ve ark., 2018).

Son yirmi yıl, genomik dizileme teknolojilerinde patlayıcı bir büyümeye tanık olmuştur. Artan verim, daha yüksek doğruluk ve daha düşük maliyetlerin bir sonucu olarak, son yirmi yılda genomik dizi veritabanlarında üstel bir büyüme olmuştur. Bununla birlikte, moleküler biyolojideki büyük bir zorluk, aynı genomun farklı doku tiplerinde, gelişim aşamalarında ve çevresel koşullarda farklı fenotiplere karmaşık haritalanması olmaya devam etmesidir. Transkriptlerin ve gen regülasyonunun ifadesinin daha iyi anlaşılması önemsiz olmamakla birlikte bu zorluğun merkezinde yer alır (Wang ve ark., 2019).

Transkriptomik, gen yapısı, ekspresyonu ve düzenlenmesi hakkında önemli bilgiler sunar ve birçok organizmada geniş çapta incelenmiştir. Nematod *Caenorhabditis elegans* da bu alanda çokça çalışılmış bir model organizmadır.

## Nematod *C. elegans*'ın Transkriptom Analizleri

İnsan genomunun ve nematod *C. elegans*'ın DNA dizilerinin tamamlanması, ayrıntılı genetik ve moleküler analizlere uygun bir organizmadaki insan genlerinin ortologlarının büyük ölçekli tanımlanmasına ve analizine olanak tanımaktadır. *C. elegans*'ın gen düzenleyici ağların ayrıntılarını araştırmak için bir platform olarak kullanılmasının birçok önemli avantajı vardır. İki önemli avantajı, tam bir sekansa sahip en basit çok hücreli organizma olmasıdır (Consortium, 1998) ve tamamen belgelenmiş bir hücre soyuna sahip tek çok hücreli organizmadır (Sulston & Horvitz, 1981; Sulston ve ark., 1983). *C. elegans* hem forward hem de reverse genetiğe uygundur (Riddle ve ark., 1997). *C. elegans*'ın 2 haftalık yaşam süresi ve yalnızca 3 günlük üretim süresi, genomik analizler için fare veya zebra balığı modellerinin kullanımına kıyasla deneysel prosedürlerin çok daha kısa, daha esnek ve daha uygun maliyetli olmasını sağlamaktadır. Son olarak, solucanın küçük boyutu, şeffaflığı ve sınırlı hücre sayısı, daha karmaşık organizmalarda kolayca gözlemlenemeyen birçok karmaşık hücresel ve gelişimsel süreci gözlemlenmeyi mümkün kılmaktadır. Organ ve dokuların morfogenezi tek bir hücre düzeyinde gözlemlenmektedir (White ve ark., 1986). *C. elegans* biyolojisinin ayrıntılarını araştırmak, insan sağlığı ve biyolojisi hakkında temel gözlemlere elde etmemize sağlayabilmektedir (Ellis & Horvitz, 1986; Hedgecock ve ark., 1983; Sulston, 1976).

Bir genomun protein kodlayan genleri, onun temel niteliklerinden biridir, ancak daha genel olarak *Caenorhabditis elegans* ve metazoanlar için, büyük intronlar, karmaşık alternatif ek biçimleri ve çok sayıda psödojen, protein kodlayan transkriptlerin doğru ve kapsamlı bir ek açıklamasını zorlu bir görevidir. Örneğin, *C. elegans* için, son derece doğru genom dizisi (Consortium, 1998), ifade edilen dizi etiketi (EST), cDNA ve açık okuma çerçevesi dizi etiketi (OST) dizileri ve son on yılda diğer ekspresyon veri setlerini toplamaya yönelik sistematik girişimler (Kohara, 1996; Reboul ve ark., 2003; Reboul ve ark., 2001; Waterston ve ark., 1992) ve son on beş yılda diğer ekspresyon veri setleri (Merrihew ve ark., 2008; Rogers ve ark., 2008; Wei ve ark., 2005), ilk gen tahminlerinin çoğunu doğrulamıştır ve diğerlerini değiştirmiştir. Yine de Ocak 2007 itibariyle, yalnızca 7825 gen (%34) tüm ekleme bağlantıları ve sonuçta ortaya çıkan açık okuma çerçeveleri için tam deneysel desteğe sahipken, genlerin beşte biri herhangi bir deneysel destekten yoksun olarak kaydedilmiştir (L. W. Hillier ve ark., 2009). Desteklenmeyen genlerin çoğu muhtemelen önceki çabalardan kaçmıştır çünkü transkriptler düşük seviyelerde ve/veya yalnızca çok özel aşamalarda veya koşullarda ifade edilmektedir. Gen öngörüsünde kullanılan temel sıra ve bileşimdeki yanlışlıklar genellikle yetersiz ifade edilen genlerde daha zayıf olduğundan, bu genlerin tahmin edilmesi bile problemlili olabilmektedir (L. W. Hillier ve ark., 2009). Bu desteklen-

meyen gen modelleri, OST dizilişinden elde edilen sonuçların önerdiği gibi, kaynaşmış veya bölünmüş genler, yanlış ekleme bağlantıları ve eksik alternatif ekleme biçimleri içerebilmektedir (Reboul ve ark., 2003; Reboul ve ark., 2001). Ek olarak, shotgun proteomik verileri, bazı genlerin veya ekzonların mevcut WormBase tahminlerinde tamamen eksik olduğunu göstermektedir (Merrihew ve ark., 2008).

RNA transkriptleri, bir genomda depolanan bilgilerin doğrudan okunmasını temsil eder. Bunların diferansiyel bolluğu da organizmada işleyen düzenleyici ağları yansıtır. RNA transkript seviyelerinin doğru ve kapsamlı karakterizasyonu, bir organizmanın genomunun onun özelliklerini ve davranışını nasıl belirlediğini anlamının merkezinde yer almaktadır (Boeck ve ark., 2016). Nematod *C. elegans elegans*'ta, çok sayıda farklı çalışma, farklı aşamalarda ve farklı dokularda RNA içeriğini analiz etmiştir. Elle seçilmiş az sayıda embriyonun kullanıldığı ayrıntılı bir embriyonik zaman süreci de dahil olmak üzere mikroarray çalışmaları, erken gelişim boyunca genel gen ifadesinin bir resmini vermiştir (Baugh ve ark., 2003; Stuart K Kim ve ark., 2001; Levin ve ark., 2012). *C. elegans* genlerinin tüm organizmadaki ifadesini incelemek için DNA mikroarray analizi veya seri gen ifadesi analizi (SAGE) kullanan birkaç çalışma yapılmıştır (Hill ve ark., 2000; Jones ve ark., 2001; S. K. Kim ve ark., 2001; Reinke ve ark., 2000). SAGE, mikrodizi analizini tamamlayıcı niteliktedir ve şu anda ifade edilen RNA'lar hakkında niteliksel ve niceliksel bilgi elde etmek için en hassas ve spesifik yöntemdir (Velculescu ve ark., 1995). SAGE etiketleri, çeşitli aşamalarda ve belirli dokularda veya hücre tiplerinde bulunan transkriptlerin daha derin bir analizini sağlamıştır (McGhee ve ark., 2009; Shin ve ark., 2008). Daha yakın zamanlarda, CEL-seq, ayrıntılı bir embriyonik zaman serisi oluşturmak için bireysel embriyolar üzerinde kullanılmıştır (Hashimshony ve ark., 2015). Bu çalışmaların her biri, yaşam döngüsü sırasında mevcut olan RNA transkriptleri hakkında yararlı bilgiler sağlamıştır, ancak hiçbiri tüm yaşam döngüsünü kapsamaz ve her birinin kendi eksiklikleri vardır. Mikroarray çalışmaları sınırlı bir dinamik aralığa sahiptir, genellikle yalnızca açıklamalı genleri tahlil eder, yakın paralogları ayırt edemez ve genellikle farklı izoformları göz ardı eder. Az sayıda embriyo kullanan çalışmalar, birden fazla amplifikasyon turu gerektirir ve muhtemelen ifade ölçümlerinde önemli bozulmalara neden olur. SAGE etiketleri, eklemeyi göz ardı ederek poliadenile [poli(A)] transkriptlerin yalnızca 3' ucunu test etmeye çalışır; A yönünden zengin sitelerde dahili hazırlama, yanlış pozitif etiketler oluşturabilir. Ek olarak, erken dönem SAGE etiketlerinin kısa olması, genom dizilişinde belirsizliğe yol açabilir. Bireysel embriyolar üzerindeki CEL-seq, çok kesin zaman noktalarını tahlil edebilir, ancak yine yöntem, poli(A) mRNA'ların yalnızca 3' ucunu saymayı amaçlar. Ek olarak, CEL-seq'in RNA'yı DNA'ya

kopyalamadaki sınırlı etkinliği ve sonraki amplifikasyon, daha düşük bolluk transkriptlerinin düzensiz temsiline yol açar. Tüm yaşam döngüsü boyunca tek bir kapsamlı veri setinin olmaması, farklı aşamalarda gen ekspresyon seviyelerinin karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır (Boeck ve ark., 2016).

Boeck ve arkadaşları, *C. elegans* için kapsamlı, yüksek kaliteli, tek biçimli olarak toplanmış bir ifade veri seti sağlamak için, dört hücreden başlayan ve 30 dakikalık aralıklarla örneklenen embriyonik örnekler dahil olmak üzere tüm yaşam döngüsü boyunca senkronize hayvanlardan alınan toplu örnekler üzerinde RNA-seq gerçekleştirmişlerdir (Boeck ve ark., 2016). Bu embriyo verilerinin elde edilmesi, toplu embriyo popülasyonlarını senkronize etmek için yeni bir yöntemin geliştirilmesini ve bireysel gelişimsel serilerdeki gen ekspresyonu tahminlerini iyileştirmek ve çoklu serileri birleştirmek için bir Bayesian yaklaşımı uygulanmıştır. Elde edilen yeni embriyo verileri, önceki yapılan çalışmalarda kullanılan larva evreleri, yavrular, erkekler ve yaşlı yetişkinlerden alınan ifade verileriyle birleştiginde (Gerstein ve ark., 2010; Gerstein ve ark., 2014; LaDeana W Hillier ve ark., 2009), protein kodlayan genlerin yanı sıra tüm yaşam döngüsü boyunca kodlamayan transkriptlerin, ek bağlantılarının ve eklenmiş lider dizilerin modellerini içermiştir. Dauer aşamalarının yanı sıra genç erkekler de dahil olmak üzere hermafroditin tüm yaşam döngüsünü kapsayan veri setlerimiz, topluluk için zengin bir katalog olarak sunarak yaşam döngüsünün her aşamasında tüm hayvanda bulunan transkriptlerin kapsamlı bir resmini ortaya çıkarmışlardır.

*C. elegans* ve insan genomlarının en az 4.300 ortolog gen çiftine sahip olduğu tahmin edilmektedir. Bu genlerin birçoğunun işlevi her iki organizmada da bilinmemektedir, ancak nematod anatomisinin basitliği ve güçlü genetik araçlar işlevlerinin anlaşılmasına katkıda bulunması gerekmektedir. Temporal ve dokuya özgü promotörler vardır, ancak tek hücre promotörleri çok azdır veya hiç yoktur. Bir doku içindeki bireysel hücre kimliğinin kombinatoriyal örtüşmelerden kaynaklandığı bilinmektedir. SAGE teknolojisi, nematoda en az 14.600 genin ifadesini doğrulamıştır. Teknoloji geliştikçe bu sayı artacaktır. SAGE, *C. elegans*'taki genlerin yarısı için çok sayıda farklı etiket ortaya çıkarır; bu da, bu organizmada genlerin alternatif olarak eklenmesinin yaygın olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, SAGE etiketlerinin çoğu, nematod genomunun açıklama yapılmamış bölgelerine eşlenir ve bu nedenle yeni genleri tanımlayabilir.

### **Nematod *C. elegans*'ta Metabolom Analizleri**

*C. elegans* araştırmalarına en son eklenen yaklaşımlar, nematod metabolizmasına ilişkin yeni ve daha derin araştırmalara olanak sağlayan metabolomik ve lipidomiktir. *C. elegans* gibi genetik olarak izlenebilir bir

model organizmanın fonksiyonel okuma metabolomik ve/veya lipidomik ile kombinasyonu, metabolizma ve metabolik düzenleme konusundaki bilgilerimizi ilerletme konusunda büyük umut vaat etmektedir.

*C. elegans*, karmaşık bir metaboloma sahiptir ve birkaç yeni molekül, örneğin yeni ascarosides, dafachronic asitler gibi bileşikler rutin olarak tanımlanır (Falcke ve ark., 2018; Izrayelit ve ark., 2012; Pungaliya ve ark., 2009; Von Reuss ve ark., 2012). Bu nematodun metabolomunu ve lipidomunu analiz etmek için farklı türde analitik yöntemler kullanılmıştır (Salzer & Witting, 2021).

### ***C. elegans* Metabolomikleri için Analitik Yöntemler**

#### **• Ekstraksiyon Yöntemleri**

Metabolom ve lipidomun analizine yönelik ilk adım, ilgili bileşiklerin nematodlardan ekstraksiyonudur. Hedeflenmemiş metabolom analizinde mümkün olduğu kadar çok maddenin ekstraksiyonu gereklidir. Farklı solvent sistemleri her zaman belirli metabolitleri ve metabolit sınıflarını diğerlerine göre tercih edeceğinden, gerçekten hedefsiz bir ekstraksiyonun mevcut olmadığı belirtilmelidir. Ayrıca ekstraksiyon, biyolojik soruya ve analiz için kullanılacak analitik yöntemle bağlıdır. Metabolomu olabildiğince doğru bir şekilde analiz etmek için, ekstraksiyon sırasında metabolitlerin bozunmasını önlemek de gereklidir.

Bu nedenle, ekstraksiyonlar mümkün olan en düşük sıcaklıklarda yapılmalıdır. Nematod, ekstraksiyondan önce kırılması gereken sert bir kütükle sahip olduğundan, *C. elegans*'tan metabolitlerin ekstraksiyonu zordur. *C. elegans*'ta manuel öğütme, homojenleştirme ve doku değirmenlerinde farklı öğütme ortamları dâhil olmak üzere farklı parçalama teknikleri denenmiştir (Geier ve ark., 2011). Bununla birlikte, numune bozulmasına neden olabileceğinden, boncuklu parçalama sistemleri kullanılırken numunelerin aşırı ısınmasını önlemek için özen gösterilmelidir. *C. elegans*'a farklı ekstraksiyon yöntemleri uygulanmıştır. En yaygın olarak (soğuk) metanol, etanol ve kloroform, tek tek veya kombinasyon halinde (farklı oranlarda) uygulanmıştır (Aguilaniu ve ark., 2016; Müthel ve ark., 2019; Teo ve ark., 2019; Zdraljevic ve ark., 2019).

Spesifik metabolitlerin veya lipitlerin analizi genellikle bunların başka numune hazırlama adımları kullanılarak zenginleştirilmesini gerektirir. İnce tabaka kromatografisi (TLC), lipit bileşimini belirlemek için analitik amaçlarla veya belirli madde sınıflarının hazırlanması için ek bir adım olarak kullanılan bir yaklaşımdır. TLC'de gliserofosfolipidler, seramidler, glikosfingolipidler, yağ asitleri veya steroller gibi ana lipid sınıfları ayrılabilir ve miktarları belirlenebilir. Kromatografik çözünürlük, ikinci



bir solvent sistemi kullanılarak iki boyutlu TLC'ye genişletilmesi yoluyla geliştirilebilir (Klapper ve ark., 2016; Salzer & Witting, 2021).

- ***Nükleer Manyetik Rezonans (NMR)***

Metabolomikte çoğunlukla tek boyutlu <sup>1</sup>H NMR spektroskopisi, organik bileşiklerin evrensel tespiti için hızlı ve çok uygun olduğu için kullanılır. NMR, minimum numune hazırlama ve müdahale ile kantitatif ve tahribatsızdır, bu nedenle diğer tekniklere kıyasla en düşük analitik varyasyonla sonuçlanır (Szeto ve ark., 2011). Yüksek hassasiyeti, metabolit bolluklarındaki küçük değişikliklerin bile tespit edilmesini sağlar. NMR, kalitatif (yapı) ve kantitatif bilgileri tek seferde sunar. Güçlü yanları özellikle MS'de iyonlaşması zor olan veya türevlendirme gerektiren maddelerde belirgindir. Bununla birlikte, MS ile karşılaştırıldığında NMR'nin önemli bir dezavantajı daha düşük hassasiyettir. Bu nedenle, yalnızca az miktarda bileşik 1D-<sup>1</sup>H NMR kapsamındadır (Markley ve ark., 2017).

Hedeflenmemiş metabolomikte metabolit kapsamını artırmak için 1D-<sup>1</sup>H NMR genellikle DI-MS, GC-FID, GC-MS veya LC-MS gibi diğer analitik platformlarla birleştirilir (Castro ve ark., 2013; Castro ve ark., 2012; Lourenço ve ark., 2015; Wan ve ark., 2017).

- ***Kütle Spektrometresi (MS)***

Kütle Spektrometresi (MS), metabolomikte NMR ile birlikte kullanılan güçlü analitik teknolojilerden biridir. Bir kütle spektrometresi, iyonları üreten ve bunları ilgili kütle-yük oranlarına (m/z) göre ayıran bir araçtır. İyonlar, kullanılan kütle spektrometresinin tipine bağlı olarak farklı fiziksel yaklaşımlar nedeniyle ayrılır. MS'de iyonların m/z oranları, hem kalitatif (m/z) hem de kantitatif (yoğunluk) bilgileri birleştirerek karşılık gelen yoğunluklarıyla birlikte ölçülür. Bununla birlikte, aynı moleküler formüle sahip metabolitler aynı kütle ve dolayısıyla aynı m/z değerine sahiptir. Benzer şekilde, toplam formülü çok benzer ancak aynı olmayan kütlelere ve m/z değerlerine sahip olabilirler. Bu tür bileşikler, ardışık MS (MS<sup>2</sup> veya MS/MS) deneyleri kullanılarak daha fazla analiz edilebilir. Burada, ilgilenilen iyonlar çoğunlukla çarpışma kaynaklı ayrışma (CID) kullanılarak parçalanır ve parça iyon m/z değerleri analiz edilerek potansiyel alt yapılar hakkında bilgi verilir. Hedeflenmemiş metabolomikte, MS/MS verilerini oluşturmak ve elde etmek için çoğunlukla veriye bağlı edinim (DDA) kullanılır. DDA'da, belirli kullanıcı tanımlı eşikleri karşılayan en yoğun iyonlar seçilir ve parçalanır. Hedeflenmemiş metabolomikte giderek daha fazla kullanılan başka bir yaklaşım, veriden bağımsız edinim (DIA) ya da Tüm Teorik fragman iyon spektrumlarının MS Sıralı Pencere Edinimi (SWATH) gibi yaklaşımlardır. DIA'nın yararı, her öncül iyonun parçalanacak olması ve yeniden edinmeye gerek kalmadan geriye dönük veri analizine izin vermesidir (Salzer & Witting, 2021).

MS, önceden kromatografik veya elektroforetik ayırma olmaksızın veya bunlar ile birlikte kullanılır. Kullanılan iyonizasyon kaynağı, örneğin GC için elektron iyonizasyonu (EI) veya kimyasal iyonizasyon (CI), doğrudan infüzyon, LC veya CE için elektrosprey iyonizasyon (ESI) ve atmosferik basınçlı kimyasal iyonizasyon (APCI) gibi ön numune giriş sistemine bağlıdır. Doğrudan infüzyon (DI) MS’de numune, önceden ayrılmadan doğrudan iyonizasyon kaynağına enjekte edilir. İzobarik yapılar arasında ayırım yapmak için uçuş süresi (TOF) MS, Fourier dönüşümü iyon siklotron rezonans (FT-ICR) MS veya Orbitrap MS gibi yüksek çözünürlüklü (HR) MS’lerin kullanılması, bir DI-MS’de ön koşuldur. Ayırma, iyon bastırmayı azaltmak ve tek başına MS veya MS/MS ile ayrılmayan izomerik ve izobarik yapıları ayırmak için kullanılır. Ayrıca, ilgili ayırma özelliklerine dayalı olarak tespit edilen metabolitlerin fizikokimyasal özellikleri hakkında ek bilgiler sağlanır (Salzer & Witting, 2021).

### C.elegans araştırmalarında kullanılan teknikler

Yukarıda bahsedilen analitik tekniklerin çoğu, *C. elegans* metabolomunun analizi için kullanılmıştır. Tablo 1. avantajları ve dezavantajları dâhil olmak üzere *C. elegans* metabolomik ve lipidomikte kullanılan analitik yöntemleri özetlemektedir (Salzer & Witting, 2021). Her yöntemin avantajları ve sınırlamaları bulunmaktadır. Örneğin, DI-MS sıklıkla *C. elegans* lipidomunun analizi için kullanılır. Böylece lipitlerin tanımlanması, doğru kütleleri ve/veya MS/MS karakterizasyonları üzerinde gerçekleştirilir. GC-MS, yağ asitlerini, amino asitleri veya organik asitleri tanımlamak için *C. elegans*’ta metabolomikler için kullanılmıştır.

**Tablo1.** *C. elegans* metabolomik/lipidomikte kullanılan analitik yöntemlere ve bunların avantajlarına, dezavantajlarına genel bakış (Salzer & Witting, 2021)

	Metod	Avantajları	Dezavantajları
	1H NMR	Kantitatif, tahribatsız, minimum numune hazırlama	Sadece sulu, bol miktarda bulunan metabolitler
	DANS	Metabolitlerin biyolojik fonksiyonla basit bağlantısı	Sadece bol miktarda bulunan metabolitler
NMR	HR-MAS	Metabolit ekstraksiyonu gerekmez, bozulmamış solucanlar	<i>C. elegans</i> ’ın büyük popülasyonları gereklidir, yalnızca bol miktarda bulunan metabolitler.
	HR-MACS + 1H NMR	Az sayıda solucan analiz edilebilir.	Sadece bol miktarda bulunan metabolitler
	<sup>13</sup> C HMN + <sup>13</sup> C-işerletme	1H-1D NMR’den çok daha fazla metabolit tespit edilir.	<sup>13</sup> C- <sup>13</sup> C kuplajı nedeniyle azaltılmış hassasiyet, uygun puls programı gerekir (ct-HSQC)

MS	DI-MS	Hızlı ve yüksek verim	İzomerler ayırt edilemez
	GC-MS	Yüksek çözünürlük, Mutlak ölçüm mümkün. Lipitlerin ve metabolitlerin analizi mümkün	Türevlendirme gerekli
	LC-MS	Mutlak kantifikasyon mümkün, izomerlerin ayrılması, birçok metabolit tanımlanabilir.	GC'den daha düşük çözünürlük

## SONUÇ

Mevcut transkriptom çalışmaları, büyük ölçüde, en yaygın şekilde kullanılan yüksek verimli cDNA dizileme teknolojilerine özgü kısa okuma uzunluklarına dayanmaktadır. Örneğin, *C. elegans* transkriptomunun analizi, transkript izoformlarının yarısından fazlası tam uzunluk desteğinden yoksundur ve bunun yerine izoformun tüm uzunluğunu kapsamayan kısa okumalardan elde edilen çıkarıma dayanmaktadır. *C. elegans*, değişmez hücre sayısı, kolay ve hızlı ekimi ve kısa ömrü nedeniyle metabolomik araştırmalar için ideal bir organizmadır. Metabolomik alanındaki en yaygın uygulamalardan biri, uzun ömürlü mutantlar ve solucanda yaşlanma çalışmalarıdır. Bu nedenle en çok çalışılan uzun ömürlü mutant *daf-2*'dir. Bununla birlikte, metabolizmadaki hangi değişikliklerin uzun ömrü olmayı desteklediği ve hangilerinin ilişkili olmadığı hala belirsizliğini korumaktadır. Metabolomik çalışmalar, ağırlıklı olarak, tek tek veya kombinasyon halinde, 1D ve 2D-NMR yaklaşımları gibi analitik platformlar ve MS'e bağlı farklı kolon seçiciliğine sahip GC ve LC kullanılarak gerçekleştirilir. Özellikleri metabolitlerden çok farklı olduğu için lipitler çoğunlukla kendi yöntemleriyle tek tek incelenir. Ağırlıklı olarak ya doğrudan infüzyonda ya da kromatografik ayırmadan sonra kütle spektrometresi ile analiz edilirler.

## KAYNAKÇA

- Aguilaniu, H., Fabrizio, P., & Witting, M. (2016). The role of dafachronic acid signaling in development and longevity in *Caenorhabditis elegans*: digging deeper using cutting-edge analytical chemistry. *Frontiers in Endocrinology*, 7, 12.
- Baugh, L. R., Hill, A. A., Slonim, D. K., Brown, E. L., & Hunter, C. P. (2003). Composition and dynamics of the *Caenorhabditis elegans* early embryonic transcriptome.
- Binning, L. (2004). *Commercial vegetable production in Wisconsin*. University of Wisconsin--Extension.
- Boeck, M. E., Huynh, C., Gevirtzman, L., Thompson, O. A., Wang, G., Kasper, D. M., Reinke, V., Hillier, L. W., & Waterston, R. H. (2016). The time-resolved transcriptome of *C. elegans*. *Genome research*, 26(10), 1441-1450.
- Castro, C., Krumsiek, J., Lehrbach, N. J., Murfitt, S. A., Miska, E. A., & Griffin, J. L. (2013). A study of *Caenorhabditis elegans* DAF-2 mutants by metabolomics and differential correlation networks. *Molecular BioSystems*, 9(7), 1632-1642.
- Castro, C., Sar, F., Shaw, W. R., Mishima, M., Miska, E. A., & Griffin, J. L. (2012). A metabolomic strategy defines the regulation of lipid content and global metabolism by  $\Delta 9$  desaturases in *Caenorhabditis elegans*. *BMC genomics*, 13(1), 1-13.
- Consortium, T. C. e. S. (1998). Genome sequence of the nematode *C. elegans*: a platform for investigating biology. *Science*, 282(5396), 2012-2018. <https://doi.org/doi:10.1126/science.282.5396.2012>
- Ellis, H. M., & Horvitz, H. R. (1986). Genetic control of programmed cell death in the nematode *C. elegans*. *Cell*, 44(6), 817-829. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(86\)90004-8](https://doi.org/10.1016/0092-8674(86)90004-8)
- Falcke, J. M., Bose, N., Artyukhin, A. B., Rödelsperger, C., Markov, G. V., Yim, J. J., Grimm, D., Claassen, M. H., Panda, O., & Baccile, J. A. (2018). Linking genomic and metabolomic natural variation uncovers nematode pheromone biosynthesis. *Cell chemical biology*, 25(6), 787-796. e712.
- Geier, F. M., Want, E. J., Leroi, A. M., & Bundy, J. G. (2011). Cross-platform comparison of *Caenorhabditis elegans* tissue extraction strategies for comprehensive metabolome coverage. *Analytical Chemistry*, 83(10), 3730-3736.
- Gerstein, M. B., Lu, Z. J., Van Nostrand, E. L., Cheng, C., Arshinoff, B. I., Liu, T., Yip, K. Y., Robilotto, R., Rechtsteiner, A., & Ikegami, K. (2010). Integrative analysis of the *Caenorhabditis elegans* genome by the modENCODE project. *Science*, 330(6012), 1775-1787.

- Gerstein, M. B., Rozowsky, J., Yan, K.-K., Wang, D., Cheng, C., Brown, J. B., Davis, C. A., Hillier, L., Sisu, C., & Li, J. J. (2014). Comparative analysis of the transcriptome across distant species. *Nature*, *512*(7515), 445-448.
- Hashimshony, T., Feder, M., Levin, M., Hall, B. K., & Yanai, I. (2015). Spatio-temporal transcriptomics reveals the evolutionary history of the endoderm germ layer. *Nature*, *519*(7542), 219-222.
- Hedgecock, E. M., Sulston, J. E., & Thomson, J. N. (1983). Mutations affecting programmed cell deaths in the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Science*, *220*(4603), 1277-1279. <https://doi.org/10.1126/science.6857247>
- Hill, A. A., Hunter, C. P., Tsung, B. T., Tucker-Kellogg, G., & Brown, E. L. (2000). Genomic analysis of gene expression in *C. elegans*. *Science*, *290*(5492), 809-812. <https://doi.org/10.1126/science.290.5492.809>
- Hillier, L. W., Reinke, V., Green, P., Hirst, M., Marra, M. A., & Waterston, R. H. (2009). Massively parallel sequencing of the polyadenylated transcriptome of *C. elegans*. *Genome research*, *19*(4), 657-666.
- Hillier, L. W., Reinke, V., Green, P., Hirst, M., Marra, M. A., & Waterston, R. H. (2009). Massively parallel sequencing of the polyadenylated transcriptome of *C. elegans*. *Genome Res*, *19*(4), 657-666. <https://doi.org/10.1101/gr.088112.108>
- Izrayelit, Y., Srinivasan, J., Campbell, S. L., Jo, Y., von Reuss, S. H., Genoff, M. C., Sternberg, P. W., & Schroeder, F. C. (2012). Targeted metabolomics reveals a male pheromone and sex-specific ascarioside biosynthesis in *Caenorhabditis elegans*. *ACS chemical biology*, *7*(8), 1321-1325.
- Jones, S. J., Riddle, D. L., Pouzyrev, A. T., Velculescu, V. E., Hillier, L., Eddy, S. R., Stricklin, S. L., Baillie, D. L., Waterston, R., & Marra, M. A. (2001). Changes in gene expression associated with developmental arrest and longevity in *Caenorhabditis elegans*. *Genome Res*, *11*(8), 1346-1352. <https://doi.org/10.1101/gr.184401>
- Kim, S. K., Lund, J., Kiraly, M., Duke, K., Jiang, M., Stuart, J. M., Eizinger, A., Wylie, B. N., & Davidson, G. S. (2001). A gene expression map for *Caenorhabditis elegans*. *Science*, *293*(5537), 2087-2092. <https://doi.org/10.1126/science.1061603>
- Kim, S. K., Lund, J., Kiraly, M., Duke, K., Jiang, M., Stuart, J. M., Eizinger, A., Wylie, B. N., & Davidson, G. S. (2001). A gene expression map for *Caenorhabditis elegans*. *Science*, *293*(5537), 2087-2092.
- Klapper, M., Findeis, D., Koefeler, H., & Döring, F. (2016). Methyl group donors abrogate adaptive responses to dietary restriction in *C. elegans*. *Genes & Nutrition*, *11*(1), 1-12.
- Kohara, Y. (1996). Large scale analysis of *C. elegans* cDNA. *Tanpakushitsu kakusan koso. Protein, nucleic acid, enzyme*, *41*(5), 715-720.

- Levin, M., Hashimshony, T., Wagner, F., & Yanai, I. (2012). Developmental milestones punctuate gene expression in the *Caenorhabditis* embryo. *Developmental cell*, 22(5), 1101-1108.
- Lourenço, A. B., Muñoz-Jiménez, C., Venegas-Calerón, M., & Artal-Sanz, M. (2015). Analysis of the effect of the mitochondrial prohibitin complex, a context-dependent modulator of longevity, on the *C. elegans* metabolome. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1847(11), 1457-1468.
- Markley, J. L., Brüschweiler, R., Edison, A. S., Eghbalnia, H. R., Powers, R., Raftery, D., & Wishart, D. S. (2017). The future of NMR-based metabolomics. *Current opinion in biotechnology*, 43, 34-40.
- McGhee, J. D., Fukushige, T., Krause, M. W., Minnema, S. E., Goszczynski, B., Gaudet, J., Kohara, Y., Bossinger, O., Zhao, Y., & Khattra, J. (2009). ELT-2 is the predominant transcription factor controlling differentiation and function of the *C. elegans* intestine, from embryo to adult. *Developmental biology*, 327(2), 551-565.
- Merrihew, G. E., Davis, C., Ewing, B., Williams, G., Käll, L., Frewen, B. E., Noble, W. S., Green, P., Thomas, J. H., & MacCoss, M. J. (2008). Use of shotgun proteomics for the identification, confirmation, and correction of *C. elegans* gene annotations. *Genome research*, 18(10), 1660-1669.
- Müthel, S., Uyar, B., He, M., Krause, A., Vitrinel, B., Bulut, S., Vasiljevic, D., Marchal, I., Kempa, S., & Akalin, A. (2019). The conserved histone chaperone LIN-53 is required for normal lifespan and maintenance of muscle integrity in *Caenorhabditis elegans*. *Aging cell*, 18(6), e13012.
- Pungaliya, C., Srinivasan, J., Fox, B. W., Malik, R. U., Ludewig, A. H., Sternberg, P. W., & Schroeder, F. C. (2009). A shortcut to identifying small molecule signals that regulate behavior and development in *Caenorhabditis elegans*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(19), 7708-7713.
- Ramirez-Gaona, M., Marcu, A., Pon, A., Guo, A. C., Sajed, T., Wishart, N. A., Karu, N., Djoumbou Feunang, Y., Arndt, D., & Wishart, D. S. (2017). YMDB 2.0: a significantly expanded version of the yeast metabolome database. *Nucleic Acids Res*, 45(D1), D440-d445. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw1058>
- Reboul, J., Vaglio, P., Rual, J.-F., Lamesch, P., Martinez, M., Armstrong, C. M., Li, S., Jacotot, L., Bertin, N., & Janky, R. s. (2003). *C. elegans* ORFeome version 1.1: experimental verification of the genome annotation and resource for proteome-scale protein expression. *Nature genetics*, 34(1), 35-41.
- Reboul, J., Vaglio, P., Tzellas, N., Thierry-Mieg, N., Moore, T., Jackson, C., Shin-i, T., Kohara, Y., Thierry-Mieg, D., & Thierry-Mieg, J. (2001). Open-reading-frame sequence tags (OSTs) support the existence of at least 17,300 genes in *C. elegans*. *Nature genetics*, 27(3), 332-336.

- Reinke, V., Smith, H. E., Nance, J., Wang, J., Van Doren, C., Begley, R., Jones, S. J., Davis, E. B., Scherer, S., Ward, S., & Kim, S. K. (2000). A global profile of germline gene expression in *C. elegans*. *Mol Cell*, *6*(3), 605-616. [https://doi.org/10.1016/s1097-2765\(00\)00059-9](https://doi.org/10.1016/s1097-2765(00)00059-9)
- Riddle, D. L., Blumenthal, T., Meyer, B. J., & Priess, J. R. (1997). In *C. elegans II*. Cold Spring Harbor Laboratory Press
- Copyright © 1997, Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Rogers, A., Antoshechkin, I., Bieri, T., Blasiar, D., Bastiani, C., Canaran, P., Chan, J., Chen, W. J., Davis, P., Fernandes, J., Fiedler, T. J., Han, M., Harris, T. W., Kishore, R., Lee, R., McKay, S., Müller, H. M., Nakamura, C., Ozersky, P., . . . Sternberg, P. W. (2008). WormBase 2007. *Nucleic Acids Res*, *36*(Database issue), D612-617. <https://doi.org/10.1093/nar/gkm975>
- Saito, K., & Matsuda, F. (2010). Metabolomics for functional genomics, systems biology, and biotechnology. *Annual review of plant biology*, *61*, 463-489.
- Sajed, T., Marcu, A., Ramirez, M., Pon, A., Guo, A. C., Knox, C., Wilson, M., Grant, J. R., Djoumbou, Y., & Wishart, D. S. (2016). ECMDDB 2.0: A richer resource for understanding the biochemistry of *E. coli*. *Nucleic acids research*, *44*(D1), D495-D501.
- Salzer, L., & Witting, M. (2021). Quo Vadis Caenorhabditis elegans Metabolomics—A Review of Current Methods and Applications to Explore Metabolism in the Nematode. *Metabolites*, *11*(5), 284. <https://www.mdpi.com/2218-1989/11/5/284>
- Shin, H., Hirst, M., Bainbridge, M. N., Magrini, V., Mardis, E., Moerman, D. G., Marra, M. A., Baillie, D. L., & Jones, S. J. (2008). Transcriptome analysis for Caenorhabditis elegans based on novel expressed sequence tags. *BMC biology*, *6*(1), 1-14.
- Sulston, J. E. (1976). Post-embryonic development in the ventral cord of Caenorhabditis elegans. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *275*(938), 287-297. <https://doi.org/10.1098/rstb.1976.0084>
- Sulston, J. E., & Horvitz, H. R. (1981). Abnormal cell lineages in mutants of the nematode Caenorhabditis elegans. *Dev Biol*, *82*(1), 41-55. [https://doi.org/10.1016/0012-1606\(81\)90427-9](https://doi.org/10.1016/0012-1606(81)90427-9)
- Sulston, J. E., Schierenberg, E., White, J. G., & Thomson, J. N. (1983). The embryonic cell lineage of the nematode Caenorhabditis elegans. *Dev Biol*, *100*(1), 64-119. [https://doi.org/10.1016/0012-1606\(83\)90201-4](https://doi.org/10.1016/0012-1606(83)90201-4)
- Szeto, S. S., Reinke, S. N., & Lemire, B. D. (2011). 1H NMR-based metabolic profiling reveals inherent biological variation in yeast and nematode model systems. *Journal of biomolecular NMR*, *49*(3), 245-254.
- Teo, E., Ravi, S., Barardo, D., Kim, H.-S., Fong, S., Cazenave-Gassiot, A., Tan, T. Y., Ching, J., Kovalik, J.-P., & Wenk, M. R. (2019). Metabolic stress is a

primary pathogenic event in transgenic *Caenorhabditis elegans* expressing pan-neuronal human amyloid beta. *Elife*, 8, e50069.

- Uppal, K., Walker, D. I., Liu, K., Li, S., Go, Y.-M., & Jones, D. P. (2016). Computational metabolomics: a framework for the million metabolome. *Chemical research in toxicology*, 29(12), 1956-1975.
- Velculescu, V. E., Zhang, L., Vogelstein, B., & Kinzler, K. W. (1995). Serial analysis of gene expression. *Science*, 270(5235), 484-487. <https://doi.org/10.1126/science.270.5235.484>
- Von Reuss, S. H., Bose, N., Srinivasan, J., Yim, J. J., Judkins, J. C., Sternberg, P. W., & Schroeder, F. C. (2012). Comparative metabolomics reveals biogenesis of ascarosides, a modular library of small-molecule signals in *C. elegans*. *Journal of the American Chemical Society*, 134(3), 1817-1824.
- Wan, Q.-L., Shi, X., Liu, J., Ding, A.-J., Pu, Y.-Z., Li, Z., Wu, G.-S., & Luo, H.-R. (2017). Metabolomic signature associated with reproduction-regulated aging in *Caenorhabditis elegans*. *Aging (Albany NY)*, 9(2), 447.
- Wang, B., Kumar, V., Olson, A., & Ware, D. (2019). Reviving the transcriptome studies: an insight into the emergence of single-molecule transcriptome sequencing. *Frontiers in genetics*, 10, 384.
- Waterston, R., Martin, C., Craxton, M., Huynh, C., Coulson, A., Hillier, L., Durbin, R., Green, P., Shownkeen, R., & Halloran, N. (1992). A survey of expressed genes in *Caenorhabditis elegans*. *Nature genetics*, 1(2), 114-123.
- Wei, C., Lamesch, P., Arumugam, M., Rosenberg, J., Hu, P., Vidal, M., & Brent, M. R. (2005). Closing in on the *C. elegans* ORFeome by cloning TWINS-CAN predictions. *Genome Res*, 15(4), 577-582. <https://doi.org/10.1101/gr.3329005>
- White, J. G., Southgate, E., Thomson, J. N., & Brenner, S. (1986). The structure of the nervous system of the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 314(1165), 1-340. <https://doi.org/10.1098/rstb.1986.0056>
- Wishart, D. S., Feunang, Y. D., Marcu, A., Guo, A. C., Liang, K., Vázquez-Fresno, R., Sajed, T., Johnson, D., Li, C., Karu, N., Sayeeda, Z., Lo, E., Assempour, N., Berjanskii, M., Singhal, S., Arndt, D., Liang, Y., Badran, H., Grant, J., . . . Scalbert, A. (2018). HMDB 4.0: the human metabolome database for 2018. *Nucleic Acids Res*, 46(D1), D608-d617. <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1089>
- Zdraljevic, S., Fox, B. W., Strand, C., Panda, O., Tenjo, F. J., Brady, S. C., Crombie, T. A., Doench, J. G., Schroeder, F. C., & Andersen, E. C. (2019). Natural variation in *C. elegans* arsenic toxicity is explained by differences in branched chain amino acid metabolism. *Elife*, 8, e40260.



“

# Bölüm 11

**ADSORPSİYON İZOTERMİ VE  
TERMODİNAMİĞİNİN DENEYSEL  
VERİLERE DAYANARAK  
İNCELENMESİ**

*Nilgün ONURSAL<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Dr., Siirt Üniversitesi Eğitim Fakültesi, ORCID: 0000 0002 2460 6475

## 1. Giriş:

Adsorpsiyon olayı, maddenin temas yüzeyinde atom veya moleküller arasındaki çekim kuvvetlerinin denkleşmemesinden kaynaklanmaktadır (Orbak, 2009). Katı veya sıvı içerisinde moleküller her taraftan çekilmektedirler. Bu nedenle bu çekim kuvvetleri denge halindedir. Ancak fazlar arasındaki yüzeylerde moleküllere etki eden bu çekim kuvvetleri birbirinden farklıdır. Bu nedenle malzemenin konsantrasyonu yüzeye yakın olan alanda, yüzeyi meydana getiren konsantrasyondan farklılık göstermektedir. (Fikir, 2019) Buna bağlı olarak katı yüzeyine temas eden maddeler veya bunlarda çözünmüş olanlar yüzey tarafından tutulabilirler. Sonuç olarak adsorpsiyon, atom ya da moleküllerin temas ettikleri yüzey tarafından çekme kuvvetine bağlı olarak etkileşime girip birleşmesi olayıdır (onursal,201). Adsorpsiyon olayı, ancak son yüzyılda daha çok ifade edilmeye başlanmıştır. Özellikle endüstride kullanım alanı çok yaygınlaşmaya başlamış olup, sıvı veya gaz fazlı uygulama alanlarının vazgeçilmezi olmuştur. Endüstriyel atıkları sıvıdan gidermek için kullanılan en etkili ve ucuz yöntemdir. (Onursal N. D.). Özellikle ozonizasyon, fenton ayırıcı, fotokatalizör şeklindeki kimyasal yöntemler. Biyolojik yöntemler ise, aerobik ve anaerobik bozunma yöntemleridir. Bunların dışında ise fiziksel yöntemler mevcuttur. Bunlar iyon değişimi, adsorpsiyon ve desorpsiyon, Günümüzde adsorplayıcıların türleri ile ilgili kullanım sahaları genişlemiştir. Bunun nedeni insan yaşamında kolay uygulanabilmesi, düşük maliyetli olması ile beraber kalite sağlamasıdır ( Demir & Yalçın, 2014). Buna ilaveten, adsorpsiyon izoterm modellerinin, adsorpsiyon kapasitesi ile ilgili bilgi verir (Wang & Guo, 2020).Moleküler türlerin herhangi bir katının yüzeyinde birikimi olan adsorpsiyon olayı, mühendislik, fizik ve kimya alanları arasında çok disiplinli çalışmalar olarak içi içe geçmiştir. Ancak fizik bilimleri açısından ayrı bir alan olarak kabul görmektedir (Kalam, 2021)

Adsorpsiyon izoterminin uygulama mekanizmasını açıkladığı bilinen iki teori mevcuttur. Bunlardan birincisi iki aşamalı olarak bilinen teori, diğeri ise dört bölge teorisi. Bunlar dan iki aşamalı teoriyi, Gu ve Zhu literatüre dahil etmişlerdir. Gu ve Zhu'ya göre; L- S ve LS tipi adsorpsiyon izoterm modellerinde yüzeyde bulunan aktif moleküller ile boş yüzeyde bulunan bölgeler arasında gerçekleşen bir reaksiyon olarak ifade etmektedirler.

### 1.1.1. Tek Aşamalı Model

Tek aşamalı modelin geliştirilme gerekçesi, temel olarak S-tipi eğri tanımlayan silika jel üzerinde noniyonik yüzey olan aktif maddeler içindir. Bu modelin matematiksel formu;

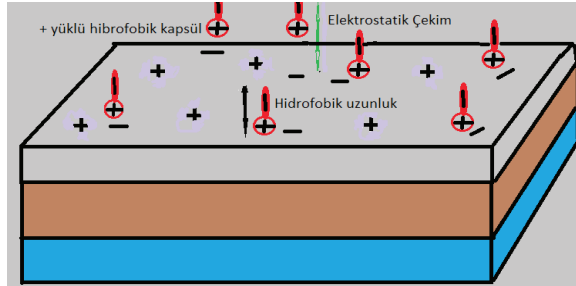
$$\Gamma = \frac{\Gamma_{\infty} k C^n}{1 + k C^n} \quad (1)$$

Şeklinde yazılabilir. Bu ifade kütle- hareket yasasına dayanarak türetilmiştir.

Burada,  $\Gamma$  adsorpsiyon yoğunluğunu,  $\Gamma_{\infty}$  ise yüksek konsantrasyondaki adsorpsiyon yoğunluğunu (maksimum),  $n$  kümelenme sayısını gösterirken,  $C$  yüzey aktif madde konsantrasyonunu ve  $k$ ' da denge sabitini temsil etmektedir.

Aslında iki aşamalı model, adsorpsiyonun iki adımla gerçekleşen tek aşamalı modelin değiştirilerek, farklı bir şekilde gösterilmiş biçimidir. Maddelerin yüzeyindeki aktif madde adsorpsiyonunun en temel özelliği elektrostatik çekimdir. Katyonik olan yüzey aktif maddesi, diğer maddenin yüzeyinde bulunan negatif yüklere doğru çekildiği ve bu şekilde bir adsorpsiyon sürecinin başladığı ifade edilebilir. Aşağıdaki şekil bu durumu temsil etmektedir.

(Kalam, 2021).



Şekil 1. Yüzey aktif maddenin adsorpsiyon mekanizması

### 1.1.2.Dört Bölge Teorisi

Bu teoride Somasundaran-Fuerstenau izotermi negatif ve pozitif yükler bulunduran alanlarda iyonik yüzey aktif maddenin adsorpsiyonu açısından geliştirilmiş olan en yaygın olan adsorpsiyon izotermidir. Bu teoriyi, raman, ESR (elektron spin rezonansı) ve in situ floresan çalışmaları desteklemektedirler. İşlemsel süreç dört aşamalıdır. Birinci aşama da sıvı içerisinde bulunan madde, adsorplayıcının bölgesine doğru ilerlemektedir. İkinci aşamada adsorplanan, sıvı film içerisinde bulunan gözeneklerin içine doğru ilerler. Üçüncü aşamada maddenin difüzyonu söz konusu iken, dördüncü aşamada adsorpsiyon olayı gerçekleşerek süreç tamamlanmaktadır (Çakıroğlu, 2011).

Sonuç olarak, günümüzde ise adsorpsiyon, madde konsantrasyonunun veya birikim miktarının ara kesitte veya yüzeyde oluşması şeklinde ifade edilmektedir (onursal, 2019).

## **1.2. Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler**

Adsorpsiyona etki eden etmenler arasında adsorplayıcı ile adsorplananın yapısal özellikleri, sıcaklık, etki süresi, pH sayılabilir.

### **1.2.1. Adsorpsiyonun yüzeye bağlılığı**

Adsorpsiyon olayı, maddenin hacmi veya kütlesi ile ilgilenmez, daha ziyade maddenin yüzeyi ile ilişkilidir. Adsorpsiyonun kaynaklanma nedeni, moleküller arasında bulunan kuvvetlerin dengelenmemiş olmasıdır. Buda yüzeyde hâkim durumda olan yüzey enerjilerini etkilerken, aynı zamanda ondan da etkilenir. Kısacası, maddenin yüzey özellikleri, maddenin kütlesi ile ilişkili değil direkt olarak yüzeyin kendisine bağlıdır. (Dinçyürek, 2006). Bu tanımdan hareketle adsorpsiyon olayında adsorplayıcının yüzey özellikleri en önemli faktördür şeklinde ifade edilebilir. Çünkü adsorplayıcının gözenek boyutu ne kadar büyük olursa, adsorplama oranı da o oranda fazla olmaktadır.

### **1.2.2. Adsorplananın yapısal etkisi**

Adsorplananın yapısal özelliğinden kaynaklı çözünürlük, molekülün boyutu ve iyonizasyon en önemli faktörler arasındadır. Bunun yanı sıra adsorplananın sürecini etkileyen dengeyi kontrol altında tutan adsorplananın çözücülüğü de etkilidir. Genellikle maddenin adsorpsiyon miktarı ile adsorpsiyonun gerçekleşmekte olduğu ortamın çözünürlüğü arasında ters bir ilişki bulunmakta, çünkü çözünürlüğün büyük olması adsorplanan – çözelti arasındaki bağ o denli güçlü olur. Buna bağlı olarak adsorpsiyon miktarı o oranda düşük olmaktadır (Savlak, 2008).

### **1.2.3. Adsorpsiyon Ortamının pH Etkisi**

Adsorpsiyon çalışmalarının temel unsurlarından biri de pH'tır. Çünkü Çözeltilinin pH'ı adsorpsiyon miktarını tayin etmede oldukça önemlidir. Genellikle adsorplayıcıların yüzeyi negatif olduğundan, katyonları (Pozitif yüklü) kolaylıkla adsorbe edebilirler. Burada söz konusu olan negatif ve pozitif yük arasındaki çekim kuvvetidir. Adsorpsiyon çalışmalarında yüzeyin artı veya eksi olması oldukça önemlidir. Bu bağlamda yüzeyin sahip olduğu yükü belirlemek için adsorpsiyonun ZPC (Zero Point Charge) değerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Eğer bu değer ZPC'nin altında olursa yükü pozitif, üzerinde olursa negatif olarak tanımlanmaktadır (Dal, 2021).

### 1.2.4. Sıcaklığın Etkisi

Adsorpsiyona etki eden parametrelerden biri de sıcaklıktır. Hem gaz hem de sıvı fazdaki adsorpsiyonunda sıcaklığa bağlı olduğu bilinmektedir. Fiziksel adsorpsiyonda işlem ekzotermiktir. Yani daha düşük sıcaklıklar, daha yüksek bir adsorpsiyon için uygun olmaktadır ( Karaca , 2021)

### 1.3. Adsorpsiyon Termodinamiği:

Termodinamik kavramı, ısıyı güce dönüştürmeye yönelik olarak en açıklayıcı olanı, Yunanca ısı (therme) ve kuvvet (dinamik) sözcüklerinin birleşiminden gelmektedir.

Evrendeki hiçbir olay termodinamik yasalarına aykırı şekilde gerçekleşmez. Termodinamiğin incelediği tüm madde topluluğunun adı sistemdir. Sistemin dışında kalan her şeye çevre denmektedir. Sistem ile çevrenin birleşimi evreni meydana getirmektedir. Bunun yanı sıra, şayet sistem etrafındakilerle madde ve enerji alışverişi gerçekleştirirse buna açık sistem denmektedir. Ancak yalnızca enerji alışverişi yaparak madde alışverişi yoksa buna da kapalı sistem denmektedir. Sistem tüm bunların hepsine kapalı olursa bu da yalıtılmış sistem adını almaktadır.

Termodinamik, çalışma alanı olarak daha çok denge halindeki sistemlerle ilgilenir. Bu nedenle fiziksel ya da kimyasal bir reaksiyonun sonucu oluşan sistemin enerjisini, entropisini, bu enerjinin değişim miktarını ve serbest enerji değişimini incelemektedir. Ayrıca termodinamik değişiklik olup olmadığı konusunda bilgi vermekle beraber olayın hem yönünü hem de kendiliğinden gerçekleşip gerçekleşmediğini ifade eder. Ancak olayın sadece başlangıç ve bitişi ile ilgili bilgi edinebiliriz. Yani reaksiyonun mekanizması, süresi ve hızı hakkında bilgi edinemeyiz.

#### 1.3.1 Entalpi ( $\Delta H$ )

Entalpi, maddenin taneciklerinin iç enerjilerinin tümü ile hacminin basıncı ile çarpımının toplam değerine eşittir. ( $H = E + P \cdot V$ ) Kısacası maddenin sabit basınç altında iken, tüm enerji çeşitlerinin toplamı entalpi olarak ifade edilmektedir. Bu enerjinin doğrudan ölçümü söz konusu değildir. Tepkimede ürünlerin enerjisinden girenlerin enerjisinin farkı alınarak bulunmaktadır. Buna bağlı olarak, tepkimedeki ürünlerin toplam entalpilerinden, girenlerin toplam entalpi farkının alınması sonucu elde edilen değer, entalpi değişimi ( $\Delta H$ ) olarak ifade edilmektedir. Şayet bu sonuç pozitif ise reaksiyon endotermik, negatif ise ekzotermiktir.

### 1.3.2. Entropi ( $\Delta S$ )

Entropi bir sistemdeki düzensizliğin ölçüsünü ifade etmektedir. Eğer evrende bulunan bütün maddeler ve de sistemler hiçbir etkiye maruz kalmazsa düzensizliğini arttırma eğilimi göstermektedirler. Ancak adsorpsiyon olayında durum farklıdır. Çünkü adsorplanan madde zamanla adsorplayıcının yüzeyinde birikerek düzensiz durumdan düzenli hale geçerler ve entropide bu şekilde azalma gözlemlenmektedir. Bir sistem daha düzensiz ve dağınık bir hale geçerse, entropisi artma eğilimindedir ve  $\Delta S$  (+) olmaktadır.

### 1.3.3. Serbest Enerji Değişimi ( $\Delta G$ )

Serbest enerji değişimi, bir reaksiyonun kendiliğinden ya da dışarıdan bir müdahale ile mi yani istemli veya istemsiz mi gerçekleştiğini gösteren termodinamiğin en önemli parametrelerinden biridir.

Gibbs serbest enerjisi, bir sistemin sabit sıcaklık ve basınç ve altında üretilen aynı zamanda kullanılabilir iş miktarını ifade etmektedir. Amerikalı bilim insanı J. Willard Gibbs'e ait olan ifade onun adının baş harfi olan G ile gösterilmekte ve bu durum fonksiyonu aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$G = H - TS \quad (2)$$

Gibbs serbest enerjisinin entalpi (H), Sıcaklığı ifade eden (T) ve entropinin (S) değeri, yani üç farklı durum fonksiyonunun birleşmesinden elde edilen hesaplanma da , hiçbir matematiksel ispata gerek olmaksızın kendisinin de bir durum fonksiyonu olduğu söylenebilmektedir. Buna bağlı olarak bir sistemin belli bir durumdaki serbest enerjisi doğrudan ölçülemediğinden, Gibbs serbest enerjisi de, diğer durum fonksiyonlarında olduğu gibi, değerindeki değişimler üzerinden ( $\Delta G$ ) değerlendirilmektedir.

Dışarıdan herhangi bir müdahale olmaksızın açıkçası istemli olarak gerçekleşen tepkimelerde sistem daha kararlı hale geçmek eğilimindedir. Bu nedenle de için enerjisini düşürürken, entropisini arttırmak eğilimindedir. Gibbs serbest enerji değişimi aşağıdaki şekildedir;

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (3)$$

$\Delta G$ ; Gibbs serbest enerji değişimini ( $\text{kJmol}^{-1}$ ),  $\Delta H$ ; entalpi değişimini ( $\text{kJmol}^{-1}$ ),  $\Delta S$ ; entropi değişimini ( $\text{kJmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ ), T: mutlak Sıcaklığı (K) ifade etmektedir. Adsorpsiyon deneylerinde Gibbs serbest enerjisini hesaplamak için öncelikle Kd (adsorpsiyon denge sabiti) hesaplanmalıdır. Bunun için ise aşağıdaki bağıntıdan yararlanılmaktadır (Dal, 2021).

$$K_d = \frac{q_e}{C_e} = \frac{C_a}{m \cdot C_e} \cdot V \quad (C_a = C_i - C_e) \text{ dir.} \quad (4)$$

Burada;

$K_d$ ; denge sabitini (Lg-1),  $q_e$ ; dengede adsorplanan madde miktarını (mgg-1),  $C_e$ ; çözültide kalan maddenin konsantrasyonunu (mgL-1),  $C_i$ ; çözültinin başlangıç konsantrasyonunu (mgL-1),  $V$ ; hacimi (L) ve  $m$ ; kütleyi (g) ifade etmektedir. Gibbs serbest enerjisini tanımlayan  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  ile  $\Delta G = -RT \ln K$  denklemleri birbirlerine eşitlenerek, yeniden düzenlenirse aşağıdaki Van't Hoff eşitliği elde edilmektedir.

$$\ln K_d^0 = -\Delta H/RT + \Delta S/R \quad (5)$$

Burada,  $R$ ; evrensel gaz sabitini (8,314 J mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) temsil etmektedir.

$\ln K_d$  değerine karşılık  $C_e$  grafiğe geçirilince, buradan  $\ln K_d^0$  değeri elde edilir. Elde edilen  $\ln K_d^0$  değerleri,  $1/T$ 'ye karşı grafiğe geçirildiğinde ise Van't Hoff grafiği elde edilmektedir. Bu grafikteki doğrunun eğiminden  $\Delta H/R$  değeri, kaymasından ise  $\Delta S/R$  değeri hesaplanmaktadır.

Adsorpsiyon olayı, sabit sıcaklık ve sabit basınç altında kendiliğinden gerçekleştiğinden dolayı adsorpsiyon esnasındaki serbest entalpi değişimi, kısacası adsorpsiyon serbest entalpisi olan  $\Delta G$  daima negatif işaretlidir. Öte yandan sıvı veya gaz ortamında daha düzensiz olan taneler katı yüzeyine tutunarak daha düzenli durum aldıklarından dolayı adsorpsiyon esnasındaki entropi değişimi, kısacası adsorpsiyon entropisi olan  $\Delta S$  de daima negatif işaretli olmaktadır. Adsorpsiyonun serbest enerjisi ile adsorpsiyonun entropisinin daima negatif olması,  $\Delta H = \Delta G + T\Delta S$  eşitliği gereğince adsorpsiyon sırasındaki entalpi değişiminin, açıkçası adsorpsiyon entalpisinin ( $\Delta H$ ) sürekli negatif olmasını gerektirmektedir. Adsorpsiyon ısısı olarak ta ifade edilen adsorpsiyon entalpisi eğer negatif işaretli ise, adsorpsiyon olayının daima ısı alan, bir başka ifadeyle ekzotermik olduğunu göstermektedir. Fiziksel adsorpsiyonunun tamamı ile kimyasal adsorpsiyonun çoğu ekzotermik olduğu halde, bazı kimyasal adsorpsiyonlar endotermiktir. Örneğin; hidrojen gazının camın yüzeyinde tutunması gibi. Fiziksel adsorpsiyonun en belirgin özelliği düşük sıcaklıklarda meydana gelmesidir. Kimyasal adsorpsiyon da ise yüksek adsorpsiyon sıcaklığı bulunmaktadır (Durmaz, 2008).

### 1.3. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi, sıcaklık sabit olmak şartıyla adsorplayıcının çözeltisinde kalan konsantrasyonu ile adsorplananın adsorplayıcı üzerindeki biriken miktarı arasındaki dengeyi açıklayarak, kantitatif açıdan ifade biçimidir. Buna en iyi örnek olarak, İki parametrelilerde Langmuir izotermi, Freundlich izotermi, Temkin izotermi, D-R(Dubin-Radushkevich) izotermi verilebilir (Koçkaya, 2016). Bunlara ait Denklemler ile genel bağlantıları aşağıda ki tabloda verilmiştir (Eynur, 2016)

**Tablo 1.** Adsorpsiyon İzoterm Modelleri

İzoterm (İki Parametreliler)	Doğrusal Gösterim	Genel Gösterim	Grafikteki Karşılığı	Sabitler ve Birimler
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} + \frac{C_e}{q_m}$	$q_e = \frac{q_{max} b P}{1 + b P}$	$C_e$ , $C_e/q_e$ 'ye karşı grafiğe geçirilir, meydana gelen doğrunun eğimi $1/q_m$ 'yi vermekte kayma değeri ise, $1/(q_m K_L)$ değerini vermektedir. Bu verilerden $q_m$ ve $K_L$ değerleri bulunabilir.	$P$ ; Adsorplanan gazın dengede olan kısmi basıncını (atm) $C_e$ ; Adsorbana ait denge konsantrasyonu derişimini ( $mgL^{-1}$ ) $q_e$ ; Denge anındaki adsorban maddenin miktarını ( $mgg^{-1}$ ) $q_m$ ; Tek tabakalı adsorpsiyonun kapasitesini( $mgg^{-1}$ ) $b$ ; Langmuir sabitini ( $Lmg^{-1}$ ) $K_L$ ; Langmuir sabitini ( $Lmg^{-1}$ ) ifade etmektedir. (Buldağ, 2018)
Freundlich	$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$	$q_e = K_F C_e^n$	$\log C_e$ , $\log q_e$ 'ye karşı grafiğe geçirildiğinde oluşan doğrunun eğimi $1/n$ değerini vermekte, kayma değeri ise, $\log K_F$ değerini verir. Bu veriler ile $n$ ve $K_F$ değerleri bulunur.	$C_e$ ; Dengedeki konsantrasyon değerini ( $mgL^{-1}$ ) $q_e$ ; Dengede adsorplanan maddenin miktarını ( $mgg^{-1}$ ) $K_F$ ; Freundlich sabitini( $mgg^{-1}$ ) vermektedir. Ayrıca $n$ : Adsorpsiyon şiddetini vermektedir (Bal, 2019)



Temkin	$q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e$ $B_T = (RT/b)$ dir.	$q_e = (RT/b) \ln (K_T C_e)$	$\ln C_e$ , $q_e$ 'ye karşı grafiğe geçirildiğinde doğru bulunur. Doğrunun eğiminden B değeri, kayma değerinden ise $K_T$ değeri elde edilir.	b; adsorpsiyon ısısı ile ilgili sabiti ( $Jmol^{-1}$ ) $K_T$ ; Denge durumundaki bağlanma sabitini ( $Lg^{-1}$ ) T; Mutlak sıcaklığı (K) ve R; Evrensel gaz sabitini ( $Jmol^{-1}K^{-1}$ ) ifade etmektedir (Alacabey, 2014)
Dubinin-Radushkevich	$\ln q_e = \ln q_m - \beta \varepsilon^2$	$q_e = q_m e^{(\beta_{DR} \varepsilon^2)}$	$\ln q_e$ 'nin $\varepsilon^2$ 'ye karşı grafiğe geçirilmesi sonucu elde edilen doğrunun eğimi $\beta$ 'yı verirken, kayma değeri ise $q_m$ değerini vermekte. Ortalama adsorpsiyon serbest enerjisi olan E ( $Jmol^{-1}$ ) ise, $E = -\frac{1}{\sqrt{2}\beta}$ formülünden bulunmaktadır.	$q_e$ ; Adsorplayıcının birim kütlelerinde tutunan adsorban derişimi ( $molg^{-1}$ ) $q_m$ ; En yüksek adsorpsiyon kapasitesi ( $molg^{-1}$ ) $\beta$ ; Adsorpsiyon serbest enerjisine ilişkin sabit ( $mol^2J^{-2}$ ) E; Polanyi potansiyeli R; Evrensel gaz sabiti ( $Jmol^{-1}K^{-1}$ ) T; Mutlak sıcaklık (K) (Hünür, 2019)

#### 1.4. Adsorpsiyon İzoterminde Deneysel Yöntemin Uygulanışı

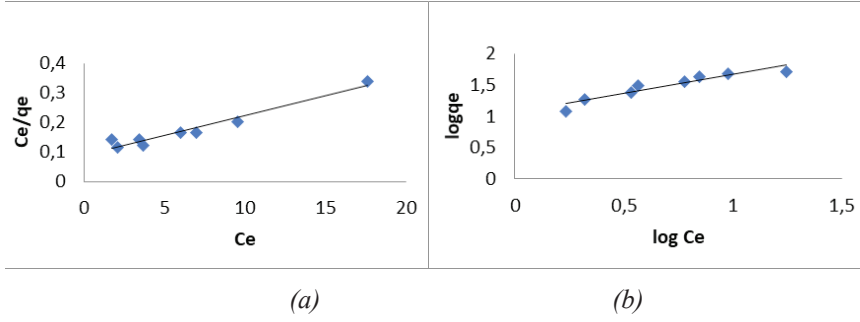
- ❖ Farklı konsantrasyonlarda ki çözeltiler hazırlanır.
- ❖ Adsorplayıcı belirlenir.

❖ Çalışma eğrisi elde edilmelidir. Bunu oluşturma nedeni bilimin ölçüm temeline dayanması ve bu ölçümü de gerçekleştirebilmek için karşılaştırma yapabilmek adına çeşitli standartlara ihtiyaç vardır. Çalışma grafiği bir anlamda bu standartları temsil etmektedir.

- ❖ Optimum çalışma derişimi tespit edilir.

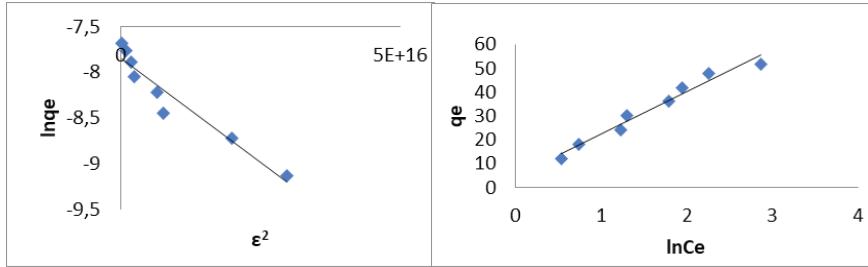
Uygulamaya geçilerek hangi izoterm modeli çalışılacaksa elde edilen veriler bunlara uygulanarak grafikler ve bu grafikler yardımı ile istenen sabitler ve diğer değerler hesaplanabilir.

Bu çalışmaların çoğunda Langmuir, Temkin, Freundlich, ve Dubinin-Radushkevich (D-R) izotermine uygulanmaktadır. Bunlara ait daha önceden yapılan bir çalışmanın grafikleri örnek olarak aşağıda verilmiştir. (Onursal,2022)



Şekil. 2. (a) Langmuir izoterm grafiği

(b) Freundlich izoterm grafiği



Şekil. 3. (a) Temkin izoterm grafiği

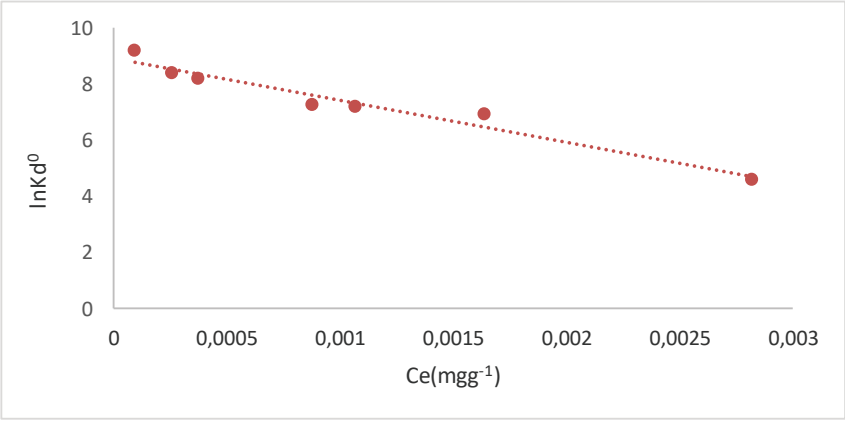
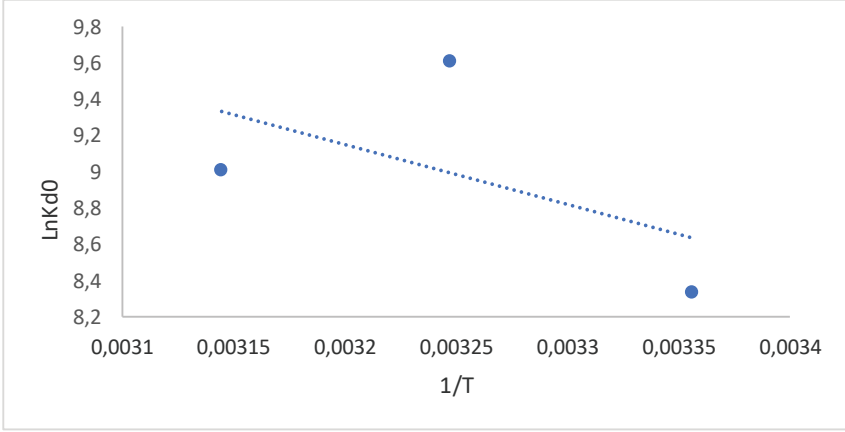
(b) D-R izoterm grafiği

Bu grafiklerden elde edilen veriler kullanılarak korelasyon değeri olan  $R^2$  değerleri ve sabitler bulunmaktadır. Bu değerlere bakılarak hangi izoterm modeline daha çok uyduğu tespit edilmektedir.

**Tablo 2.** Adsorpsiyon İzoterm deneylerinden elde edilen parametreler (Onursal, Dal, Kul, & Yavuz, 2020)

Langmuir İzotermi				Freundlich			Temkin İzotermi			Dubinin-Radushkevich İzotermi		
T (K)	$K_L$ (L/mg)	$q_{max}$ (mg/g)	$R^2$	$K_F$	n	$R^2$	B	$K_{TM}$	$R^2$	$K_{DR}$ (L/mg)	E (kJ/mol)	$R^2$
298	0.096	11.06	0.987	5.02	6.16	0.864	1.447	21.3	0.718	1.109	23.37	0.787

Dengedeki  $q_e/C_e$  değeri bize  $K_d$  sabitini verir. Denge derişimi arttıkça  $K_d$  sabiti azalanan bir ivme ile düşer. En yüksek  $K_d$  sabiti konsantrasyonun sifıra yakınsadığı değerdir ( $\ln K^0$ ). Şekil 4'te  $\ln K^0$  değerlerinin bulunduğu grafik verilmiştir.  $C_e$ 'ye karşı  $\ln K^0$  grafiğe geçilir. Denkleme ait kayma değeri doğrudan  $\ln K^0$  değerini verir (onursal, 2019).



*Şekil. 4. lnKd<sup>0</sup>'ın Ce ye karşı izoterm grafiği*

*Şekil 5. Van't Hoff grafiği*

Bulunan lnK<sup>0</sup> değerleri ile 1/T arasındaki ilişkiyi Van't hoff denklemi verir. Van't hoff denklemi bize ΔH ve ΔS'yi bulmamızı sağlar:

$$\ln Kd^0 = - \Delta H/RT + \Delta S/R$$

Burada,

ΔH; Adsorpsiyon entalpisi,

ΔS; Adsorpsiyon entropisi,

R; Evrensel gaz sabiti (8,314 J mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) ve

T; Mutlak sıcaklık (K)'dir.

Şekil 5'te grafik verilmiştir.  $1/T$ 'ye karşı  $\ln K^0$  grafiğe geçirilir. Denklemin eğiminden  $\Delta H$ , denkleme ait kayma değerinden ise  $\Delta S$  değeri bulunur. (Onursal, 2019)

$\Delta G$  değerleri; Gibbs denkleminden  $\Delta H$  ve  $\Delta S$  değerleri yardımıyla her sıcaklık için bulunabilir.

Gibbs Denklemi;

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

## SONUÇLAR

Bu çalışmada adsorpsiyonun temel dinamikleri, adsorpsiyona etki eden faktörler, adsorpsiyon izoterm modelleri ele alınmıştır. Adsorpsiyon modelleri olarak; en yaygın şekilde kullanılan 4 model (Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich ve Temkin modelleri) seçilmiştir. Ayrıca adsorpsiyon izotermine deneysel yöntemin uygulanışı basamak basamak anlatılmış ve bu basamakların pratiği için literatürdeki örnekler üzerinden tablo ve grafikler ile konu pekiştirilmeye çalışılmıştır.

Ayrıca termodinamik kavramlar ele alınmış,  $\Delta G$ ,  $\Delta H$  ve  $\Delta G$  gibi kavramlar açıklanmıştır. Ayrıca bu kavramların adsorpsiyon termodinamiğinde nasıl yer aldıkları izah edilmiştir. Konu yine literatürdeki tablo ve grafiklerle birlikte açıklanmış, grafiklerden elde edilen eşitliğin Van't Hoff denklemi ve Gibbs denklemine nasıl uygulandığı gösterilmiş, böylece deneysel verilerin nasıl işlendiği gösterilmiştir.

Sonuç olarak çalışmanın teorisinin pratik uygulamasını göstermesi bakımından, yararlı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

1. Orbak, İ. (2009, Haziran). Aktif Karbon ile Çevre Kirleticisi Bazı Unsurların Giderilmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
2. Fikir, G. (2019). Deneysel Adsorpsiyon Verilerine Kinetik ve Termodinamik Modellerin Uygulanması Ve İncelenmesi. *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa.
3. Onursal, N. (2019, Şubat). Bazı ağır metal iyonlarının doğal ve modifiye edilmiş kil mineralleri (Siirt/Kurtalan) üzerindeki adsorpsiyonunun izoterm, kinetik ve termodinamik analizi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Doktora tezi*. Van: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi.
4. Onursal, N. D. (2021). Altı Tip Yalancı- İkinci Dereceli (Ho – Mckay ) Kinetik Denkleminin Malahit Yeşilinin Siirt Kurtalan/ Ağaçlıpınar Kili İle Adsorpsiyonunda Karşılaştırılmalı Doğrusal Yöntemler. *International Siirt Conference on Scientific Research Conference Proceedings Book*. Siirt.
5. Demir, E., & Yalçın, H. (2014). Adsorbentler: Sınıflandırma, Özellikler, Kullanım ve Öngörüler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 7 (2), 70-79.
6. Kalam, S. A.-K. (2021). Surfactant Adsorption Isotherms: A Review. *American Chemical Society (ACS Omega* 6, 48), 32342–32348.
7. Çakıroğlu, E. (2011). Titanyum Dioksit Esaslı (tio<sub>2</sub>) Fotokatalizör Kullanılarak Toksik Madde İçerikli Atık Suların Detoksifikasyonu. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Yüksek Lisans Tezi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
8. Dinçyürek, Ö. (2006). Termik santral uçucu kül tiplerinin atık sularındaki fenolün adsorpsiyon yöntemi ile giderim etkinliklerinin karşılaştırılması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Yüksek Lisans*. Adana: Çukurova Üniversitesi.
9. Savlak, Ö. (2008, Haziran). Adsorpsiyon Yöntemi İle Cr (VI) Giderimi ve Aktif Karbonun Elektrokimyasal Rejenerasyonu. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Yüksek Lisans Tezi*. Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi .
10. Dal, M. (2021, Temmuz). Cu(II), Ni (II) Ve Co(II)'Nin Karacadağ Skoryası İle Adsorpsiyonunun İzoterm, Kinetik ve Termodinamik Analizi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Dicle Üniversitesi fen Bilimleri Enstitüsü.
11. Karaca , G. (2021, Şubat). Gözenekli Karbonların Adsorpsiyon Kapasiteleri Üzerine Yüzey Modifikasyonunun Etkisinin İncelenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü /Yüksek Lisans Tezi*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

12. Durmaz, F. (2008). Akış Enjeksiyon – Katı Faz Ekstraksiyon Sistemi İle Bazı Metal İyonlarının Tayin Edilmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya: Selçuk Üniversitesi.
13. Koçkaya, G. (2016, Şubat). Anilin Mavisinin Atıksulardan Uzaklaştırılmasında Yeni Bir Adsorbent Kullanımı. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü /Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi .
14. Eynur, S. Y. (2016). Xad-7 Reçinesi Üzerindeki Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermelerinin İncelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
15. Buldağ, E. (2018, Aralık). Nikel(II) ve Mangan (II)'nin Sulu Çözeltilerden Klorit İhtiva Eden Killerle Uzaklaştırılması. *Yüksek Lisans/Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* . Diyarbakır: Dicle Üniversitesi.
16. Bal, N. (2019, Haziran). Kobalt (II) ve Kadmiyum(II) İyonlarının sulu Çözeltilerden Klorit İhtiva Eden Killerle Uzaklaştırılması. *Yüksek Lisans tezi/ Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi.
17. Alacabey, İ. (2014). Doğal ve Aktive Edilmiş Van Gölü Sediment (Dip Çamuru) Örneklerinin Bazı Ağır Metallerle Adsorpsiyonunun İzoterm Ve Termodinamik Analizi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/ Yüksek Lisans tezi*. Van: Yüzüncü Yıl Üniversitesi.
18. Hünür, S. (2019). Metilen Mavisinin Sulu Çözeltilerden Klorit İçeren. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi.
19. Onursal, N. (2022). Siirt Kurtalan Koçpınar Kilinin Yapısal Analizi ve Kil İle Kadmiyum (II) İyonunun Adsorpsiyonunun İzoterm Analizi. *3.Ululararası Siirt Bilimse l Araştırmalar Kongresi* (s. 15-24). Siirt: İksad yayıevı.
20. Onursal, N., Dal, M. c., Kul, A. R., & Yavuz, Ö. (2020). Cu(II) İyonlarının Doğal ve Karışık Tipteki Kil ile sulu Ortamdan uzaklaştırılması, İzoterm, Kinetik ve Termodinamik Parametrelerin İncelenmesi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences* 7 , 85-103.

“

## Bölüm 12

### **TOR GRYPUS KARACIĞER DOKUSU YAĞ ASIDI İÇERİĞİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ**

*Semra KAÇAR\*<sup>1</sup>*

*Mehmet BAŞHAN<sup>2</sup>*

”

1 Mardin Artuklu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Mardin, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-9869-90452>

2 Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Diyarbakır <https://orcid.org/0000-0002-1228-9548>

\*Sorumlu Yazar e-posta: [semrakacar21@gmail.com](mailto:semrakacar21@gmail.com)

\*Bu çalışma Semra KAÇAR'ın doktora tezinin bir kısmını içermektedir. Tez Adı: Atatürk Baraj gölündeki bazı tatlısu balıklarının total lipit ve yağ asitlerinin mevsimsel değişimi. 2010. Doktora Tezi/ 276 s.

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet BAŞHAN

Tez No:300022

## Giriş

Yurdumuzda Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve civarlarında (Dicle ve Fırat Nehirlerinde) yaşayan ve halk arasında şabut, şabot veya sore ismiyle bilinen şabut balığı (*Tor grypus*) Fırat Nehri'nin Atatürk Barajı ve mansap sularında görülen, eti sevilerek tüketilen endemik balık türlerden biri olup, hızlı akan sığ suları sever, avlanması zor, cüsseli bir tatlı su balığı türüdür. Bu balık, büyük pullarla örtülü olup vücudu yanlardan yassılaştırmıştır. İki çift bıyık bulunur. Kuyruk yüzgeci derin çatallı olup, her iki lobu da sivrileşmiştir. Rengi sırtta koyu kahverengi, yanlarda esmer, kahverengi, karın bölgelerinde ise kirli sarıdır. Anal ve kuyruk yüzgeçleri koyu, diğer yüzgeçleri açıktır. Nisan-mayıs-haziran aylarında yumurta bıraktığı bildirilmektedir (Geldiay ve Balık 1996, Epler ve ark., 2001).

Balık yağı ve yağ asidi bileşimi, ekolojik faktörler ve balığın fizyolojik durumuna göre en fazla değişime uğrayan biyokimyasal bileşiklerdir. Balıklarda toplam yağ oranı ve yağ asidi bileşimleri türlere, cinsiyete, mevsime, beslenme ortamına, besin farklılığına, su sıcaklığına, su kirliliğine ve türün kültür ya da doğal formda olmasına bağlı olarak değişmektedir. Farklı balık türlerinde yağ ve yağ asitleri yapısal farklılık gösterir. Aynı türe ait balıklar farklı coğrafik bölgede yaşıyorlarsa yine yağ asidi çeşitliliği yönünden farklılık gösterebilir. Bu farklılık aynı zamanda balığın değişik organlarında da görülmektedir (Crowford ve ark., 1986, Suzuki ve ark., 1986, Yılmaz ve ark., 1995). Üreme, adaptasyon, büyüme ve gelişme gibi besleme ve balık biyolojisi ile ilgili konular üzerine çalışırken de balığın yağ asidi bileşimini bilmek oldukça önemlidir.

Bu çalışmada Atatürk Baraj Gölü'nden toplanan *Tor grypus*'un karaciğer dokusu total lipit, fosfolipit (PL) ve triaçilgliserol (TAG) yağ asitleri içeriğinin mevsimsel değişimlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Balık Örneklerinin Toplanması:

Bu çalışmada, *Tor grypus*, balık türlerine ait örnekler, Atatürk Baraj Gölü'nden gözenekli fanyalı ağlar kullanılarak yakalanmıştır. Örneklemeler; Bozova, Arıkök, Yaslıca, Bağpınar, Belören, Samsat ve Kahta yerleşim birimleri civarındaki Adıyaman avlak sahalarında yörede bulunan balıkçılar yardımıyla yapılmıştır. Yakalanan balık örnekleri, aynı gün, içinde buz bulunan ısı yalıtımlı koruyucu kaplara konularak laboratuvara getirilmiştir. Balık örneklerinin karınları açılarak büyük çoğunluğunun eşeyleri makroskobik, küçük bireylerin eşeyleri ise stereoskopik binoküller mikroskop altında saptanmıştır. Yeterli miktarda karaciğer örnekleri alınmıştır. Alınan karaciğer örneklerinin yağ ağırlıkları saptandıktan sonra



tüplere konularak analiz edilinceye kadar  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kloroform-metanol (2:1v/v) karışımında muhafaza edilmiştir.

### **Lipit Ekstraksiyonu ve Yağ Asitlerinin Metil Esterlerine Dönüştürülmesi**

Karaciğer örnekleri; kloroform-metanol (2:1 v/v) karışımında yüksek devirli IKA marka homojenizatörde homojenize edilmiştir (Folch ve ark., 1957). Homojenat, Whatman No: 1 süzgeç kağıdı ile süzölmüştür. Aşırı doymamış yağ asitlerinin otooksidasyonunu önlemek için ekstraksiyon sistemine, kloroformda %2 oranında hazırlanan bütillenmiş hidroksitö-luen (BHT) maddesinden 50 µl ilave edilmiştir. Sulu fazın ayrılması için, süzöntü, bir ayırma hunisine alınmıştır. Süzöntüye total hacminin 1/4 'i kadar % 0.88'lik KCl çözeltisi ilave edilerek iyice karıştırılmıştır. Berrak iki faz oluşuncaya kadar beklenmiştir. Faz ayırımından sonra alt tabakadaki kloroform fazı ikinci bir ayırma hunisine alınarak hacminin 1/4'i kadar metanol-su ile (1:1 v/v) yıkanmış ve faz ayırımı için tekrar bekletilmiştir. İkinci faz ayırımından sonra alttaki kloroform tabakası temiz bir erlen içine alınarak susuz sodyum sülfat ile muamele edilerek, kloroform içinde bulunan eser miktardaki su uzaklaştırılmıştır. Saf lipit bileşenlerinden oluşan kloroform fazı, darası alınmış bir tartı kabı içerisine Whatman No: 1 süzgeç kağıdı ile süzölmüştür. Tartı kabı içerisindeki ekstraktın çözö-cüsü, evaporatörde tamamen uçurulmuştur. Daha sonra hassas terazide tartılarak total lipit miktarı gr olarak bulunarak % lipit miktarı hesaplanmıştır. Örneklerdeki total lipitlerin fraksiyonlanmasında ince tabaka kromatografi tekniği kullanılmıştır. Bunun için 30 gr silikajel ile 50 ml saf su karıştırılarak hamur haline getirildikten sonra, 20 cm X 20 cm ebatındaki pleytlere ince bir tabaka halinde sürölüp etövde  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bir saat boyunca kurutulmuş, bu süre sonunda etövden çıkarılan pleytler havada soğumaya bırakılmıştır. Örneklerin total lipit ekstraktları, pleytlerin üzerine tek sıra halinde spot edilmiştir. Total lipitler; petrol eteri-dietil eter-asetik asit (80:20:1) karışımında yürütölmüştür. Pleytler havada kurutulduktan sonra, 2'7' dikloroflorosein püskürtölerek, lipit fraksiyonları UV lambası altında görölür hale getirilmiştir. Standartlar yardımıyla saptanan fosfolipit ve triaçilgliserol fraksiyonuna ait bantlar kazılarak reaksiyon tüplerine aktarılmıştır. Her fraksiyona, ayrı ayrı 3 ml metanol ve 3-5 damla sülfürik asit damlatılarak 2 saat süreyle geri soğutucu altında  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ısıtılmıştır. Böylece yağ asitlerinin, yağ asidi metil esterlerine dönüşümü sağlanmış-tır. Çözelti soğuduktan sonra, hekzan kullanılarak metil esterleri ekstrakte edilmiştir. Yağ asidi metil esterlerinin analizi için FID dedektörüne sahip gaz kromatografi aleti kullanılmıştır.

## Gaz Kromatografi Koşulları

Metil esterlerine dönüştürülen yağ örneklerinin yağ asitleri analizleri HP 6890 model Gaz Kromatografisi (GC) cihazında, alev iyonizasyon dedektörü (FID) ve BPX 70 (70 % Cyanopropyl polysilphenylene-siloxane) kapiler kolon (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm film kalınlığı) kullanılarak yapılmıştır. Dedektör sıcaklığı: 280 °C; enjektör sıcaklığı: 270 °C; enjeksiyon: Split-model 1/20. Gaz akış hızları: Taşıyıcı gaz: 30 m'lik kolon için helyum 1.4 ml/dk; 60 m'lik kolon için 2.8 ml/dk (sabit akış modeli); hidrojen: 30 ml/ dk; hava: 300 ml/dk. Kolon (fırın) sıcaklığı: 130 °C'de, bekleme süresi, 1 dakika; 170 °C'ye 6.5 °C/dakika; 215 °C'ye 2.75 °C/dakika, bekleme süresi 12 dakika; 230 °C'ye 40 °C/dakika, bekleme süresi 3 dakika; toplam analiz süresi: 38.8 dakika. Örnek, alete 1 mikrolitre enjekte edilmiştir. Yağ asitlerinin teşhisinde, standart olarak yağ asitlerinin metil esterleri karışımı (Sigma-Aldrich Chemicals) kullanılmıştır. Yağ asitleri metil esterlerinin kromatogramları ve toplam yağ asitleri miktarları bilgisayarda HP 3365 Chem Station bilgisayar programı ile elde edilmiştir. Analiz edilen örneklerin kromatogramındaki pikler, standarttaki bütün yağ asitlerinin metil esterlerinin alı- konma zamanları ile karşılaştırılarak teşhis edilmiştir.

## Verilerin değerlendirilmesi

Yağ asitleri yüzdelерinin karşılaştırılmasında SPSS 16 bilgisayar programı uygulanmıştır. Çalışmamızdan elde edilen bütün veriler üç tekrarın ortalamasından elde edilmiştir. Yağ asidi metil esterlerinin gaz kromatografik analizlerinde, her döneme ait üçer numune ayrı ayrı enjekte edilerek aynı yağ asidine ait üç değerin ortalaması alınmıştır. Yağ asidi yüzdelерinin karşılaştırılması, tek yönlü varyans analizi (Anova) ile yapılmıştır. Farklılıklar TUKEY HSD testi ile belirlenmiştir. Yapılan istatistikler sonucu, veriler  $p < 0.05$  düzeyinde olduğu zaman farkların önemli olduğu kabul edilmiştir.

## Bulgular

### *T. grypus*'un karaciğer total lipit yağ asidi içeriği

Mevsime bağlı olarak dişilerde  $\Sigma$ SFA oranı benzerlik göstermektedir. Erkeklerde 16:0 ve dolayısıyla  $\Sigma$ SFA, temmuz ayında artmış, mart ayında ise azalmıştır. Oleik asit ve buna bağlı olarak  $\Sigma$ MUFA her iki bireyde diğer dönemlere oranla üreme dönemi olan mart, mayıs ve temmuz ayında daha fazla, üreme dönemi sonrası olan eylül ve kasımda düşme saptanmıştır. Total PUFA'ler dişi ve erkeklerde üreme dönemi sonrası olan eylül ve kasım aylarında fazla bulunmuştur. Dokosaheksaenoik asit ve dolay-

sıyla PUFA'ler her iki bireyde üreme dönemi sonrası olan eylül ayında fazla saptanmıştır (Tablo 1 ve 2).

Dişi bireylerde Mayıs, Temmuz aylarında en çok  $\Sigma$ SFA, diğer aylarda  $\Sigma$ PUFA en fazla iken, en az ise  $\Sigma$ MUFA bulunmuştur. Erkek bireylerde Temmuz ve Ocak aylarında  $\Sigma$ SFA, Eylül ve Kasım aylarında  $\Sigma$ PUFA fazla bulunmuştur.

Bir yıl boyunca yüzde olarak en fazla bulunan yağ asitleri  $\Sigma$ SFA'ler içinde 16:0 (dişilerde % 25.18-30.67; erkeklerde % 21.46-31.10),  $\Sigma$ MUFA'ler içinde 18:1n-9 (dişilerde % 15.41-21.96; erkeklerde % 16.47-28.48),  $\Sigma$ PUFA'ler arasında 22:6n-3 (dişilerde % 14.94-27.08; erkeklerde % 9.78-25.08).

N-3/n-6 oranı, dişilerde 1.30 (Mart)- 3.50 (Eylül); erkeklerde 1.51 (Ocak)- 3.17 (Eylül) aralığında değişmiştir. *T. grypus*'un her iki eşeyinde n-3/n-6 oranı, Eylül ayında yüksek ve birbirine yakın değerlerde oldukları görülmüştür (Tablo 1 ve 2).

Balıkların kasında olduğu gibi karaciğer lipitlerinde, major yağ asitleri benzerlik gösterir. İncelenen birçok balıkta doymuş yağ asitleri içinde en çok 16:0, tekli doymamışlar içinde 18:1n-9, çoklu doymamışlar içinde ise 22:6n-3 ve 20:5n-3 bulunmaktadır (Kminkova ve ark., 2001; Sharma ve ark. 2009; Kaçar ve Başhan, 2021; Kaçar ve ark., 2021). Atatürk Baraj Gölü'nden topladığımız *T. grypus* balığında da benzer sonuçlar saptanmıştır.

Tablo 1: Dişi *T. grypus*'un karaciğer total yağ asidi yüzdelerinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 <sup>s</sup>	0.13±0.01	-	-	-	-	-
12:0	-	-	-	-	-	-
13:0	0.24±0.02a	0.08±0.06b	-	-	-	-
14:0	1.58±0.11a	2.14±0.21b	1.18±0.18a	1.26±0.15a	1.44±0.16a	1.64±0.19a
15:0	0.63±0.06a	0.71±0.05a	0.44±0.03a	0.76±0.07a	0.52±0.05a	0.75±0.06a
16:0	26.72±1.27a	25.18±1.29a	30.67±1.30a	25.34±1.27a	27.61±1.24a	26.27±1.23a
17:0	0.30±0.03a	0.32±0.02a	0.34±0.03a	0.38±0.02a	0.49±0.04a	0.78±0.06b
18:0	10.49±1.01a	9.33±0.98a	7.33±0.71a	7.49±0.74a	6.57±0.67a	7.37±0.70a
$\Sigma$ S.F.A	<b>40.09±1.49a</b>	<b>37.76±1.37a</b>	<b>39.96±1.36a</b>	<b>35.23±1.48a</b>	<b>36.63±1.35a</b>	<b>36.81±1.33a</b>
16:1n-7	5.66±0.53a	4.99±0.46a	2.69±0.21b	3.43±0.38b	4.98±0.48a	2.78±0.23b
18:1n-9	20.14±1.22a	21.96±1.29a	15.41±1.05b	15.71±1.03b	16.76±1.06b	20.24±1.28a
20:1n-9	0.98±0.97a	1.14±0.13a	0.43±0.04b	1.89±0.18a	0.97±0.08a	1.47±0.17a
$\Sigma$ M.U.F.A	<b>26.78±1.28a</b>	<b>28.09±1.29a</b>	<b>18.53±1.08b</b>	<b>21.03±1.06b</b>	<b>22.71±1.22b</b>	<b>24.49±1.24ab</b>
18:2n-6	2.15±0.20a	1.64±0.17a	0.60±0.05b	1.68±0.16a	1.56±0.12a	1.55±0.13a
18:3n-3	1.14±0.14a	1.16±0.10a	0.58±0.04b	1.24±0.12a	0.79±0.07b	0.68±0.06b

20:2n-6	0.41±0.03a	0.30±0.02a	0.32±0.03a	0.20±0.01b	0.38±0.03a	0.31±0.04a
20:3n-6	-	0.30±0.02a	-	0.29±0.02a	0.27±0.01a	0.29±0.02a
20:4n-6	6.44±0.65a	7.74±0.73a	8.19±0.81a	8.19±0.80a	9.19±0.91a	14.58±1.05b
20:5n-3	3.58±0.34a	3.38±0.33a	2.75±0.22a	4.35±0.41b	6.10±0.10b	3.39±0.34a
22:5n-3	3.04±0.31a	2.94±0.20a	1.91±0.11b	2.80±0.22a	3.10±0.34a	2.89±0.25a
22:6n-3	16.28±1.17a	16.59±1.19a	27.08±1.23b	24.93±1.29b	19.18±1.02a	14.94±1.22a
<b>ΣP.U.F.A</b>	<b>33.04±1.35a</b>	<b>34.05±1.39a</b>	<b>41.43±1.48b</b>	<b>43.68±1.46b</b>	<b>40.57±1.40b</b>	<b>38.63±1.37c</b>
ω3	24.04±1.22a	24.07±1.20a	32.32±1.37b	33.32±1.34b	29.17±1.28c	21.90±1.20a
ω6	9.00±0.92a	9.98±0.95a	9.11±0.98a	10.36±1.02a	11.40±1.04a	16.73±1.07b
ω3/ω6	2.67	2.41	3.50	3.21	2.55	1.30

\*Her veri 3 tekrarin ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

Ş her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri

*Tablo 2: Erkek T. grypus'un karaciğer total yağ asidi yüzdelerinin aylara göre değişimi*

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 <sup>s</sup>	-	-	-	-	-	-
12:0	0.02±0.01	-	-	-	-	-
13:0	0.07±0.04	-	-	-	-	-
14:0	2.46±0.23a	3.10±0.33a	1.42±0.12b	1.52±0.15b	2.33±0.20a	2.26±0.31a
15:0	0.47±0.04a	0.55±0.05a	0.59±0.04a	0.49±0.03a	0.91±0.08b	0.93±0.07b
16:0	21.46±1.28a	31.10±1.31b	25.99±1.27a	23.64±1.20a	29.51±1.36b	23.98±1.28a
17:0	0.51±0.04a	0.41±0.03a	0.05±0.01b	0.96±0.07c	0.75±0.06c	1.03±0.18c
18:0	6.33±0.64a	10.41±1.02b	8.39±0.89ab	5.89±0.56a	6.87±0.69a	6.24±0.57a
<b>ΣS.F.A</b>	<b>31.32±1.37a</b>	<b>45.57±1.46b</b>	<b>36.44±1.35a</b>	<b>32.50±1.32a</b>	<b>40.37±1.45b</b>	<b>34.44±1.37a</b>
16:1n-7	5.71±0.54a	3.73±0.34a	3.65±0.39a	4.39±0.48a	5.94±0.51a	4.47±0.44a
18:1n-9	27.85±1.23a	28.48±1.20a	16.47±1.06b	20.24±1.20b	24.47±1.29a	27.35±1.27a
20:1n-9	1.83±0.13a	0.61±0.06b	1.17±0.11a	2.14±0.24c	1.85±0.16a	2.62±0.22c
<b>ΣM.U.F.A</b>	<b>35.39±1.38a</b>	<b>32.82±1.30a</b>	<b>21.29±0.21b</b>	<b>26.77±1.29c</b>	<b>32.26±1.30a</b>	<b>34.44±1.39a</b>
18:2n-6	2.10±0.27a	1.41±0.13b	1.34±0.12b	1.98±0.17a	2.29±0.23a	3.42±0.32a
18:3n-3	1.56±0.18a	0.50±0.05b	0.76±0.04b	2.58±0.22c	0.93±0.07ab	0.99±0.66ab
20:2n-6	0.40±0.04a	0.31±0.02a	0.33±0.03a	0.21±0.01b	0.28±0.02b	0.46±0.03a
20:3n-6	0.37±0.02a	0.33±0.03a	0.18±0.01b	0.56±0.04c	0.28±0.02a	0.36±0.03a
20:4n-6	6.03±0.60a	4.96±0.45a	8.26±0.81b	7.08±0.78ab	8.21±0.80b	8.11±0.81b
20:5n-3	5.43±0.53a	2.37±0.23b	3.80±0.31b	3.47±0.30b	3.42±0.45b	3.58±0.40b
22:5n-3	2.58±0.22a	1.89±0.11a	2.44±0.23a	2.85±0.25a	2.01±0.20a	2.83±0.19a
22:6n-3	14.73±1.03a	9.78±0.99b	25.08±1.27c	21.92±1.20c	9.87±0.98b	11.27±1.01ab
<b>ΣP.U.F.A</b>	<b>33.20±1.33a</b>	<b>21.55±1.29b</b>	<b>42.19±1.45c</b>	<b>40.65±1.42c</b>	<b>27.29±1.29d</b>	<b>31.02±1.31a</b>
ω3	24.30±1.23a	14.54±1.17b	32.08±1.39c	30.82±1.36c	16.23±1.15b	18.67±1.16ab
ω6	8.90±0.81a	7.01±0.72a	10.11±1.05a	9.83±0.93a	11.06±1.03a	12.35±1.04a
ω3/ω6	2.73	2.07	3.17	3.13	1.46	1.51

\*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

§ her satırda aynı harflerle belirlenen veriler  $P>0.05$  olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri

### ***T. grypus*'un karaciğer fosfolipit ve triaçilgliserol yağ asidi içeriği**

*T. grypus*'un karaciğer PL fraksiyonunda mevsime bağlı olarak  $\Sigma$ SFA oranı dişi bireylerde % 38.21-40.50, erkekler bireylerde % 38.18-41.36;  $\Sigma$ MUFA oranı dişilerde % 16.43-20.16, erkeklerde % 16.16-18.50;  $\Sigma$ PUFA oranı dişilerde % 40.72-42.99, erkeklerde % 40.87-43.26 aralığında saptanmıştır. Görüldüğü gibi,  $\Sigma$ SFA,  $\Sigma$ MUFA ve  $\Sigma$ PUFA yüzdeleri, her iki bireyde tüm aylarda birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Palmitik asit ve 18:1n-9 oranı, dönemler arasında farklılık göstermemiştir. Arakidonik asit, her iki eşeyde üreme öncesi dönem olan mart ve üreme dönemi olan mayıs ayında diğer dönemlere oranla biraz daha fazla oranda bulunmuştur. Dokosaheksaenoik asit, erkeklerde eylül ayında yüksek, mart ayında ise düşük yüzdede saptanmıştır (Tablo 3 ve 4).

Her iki bireyde tüm dönemlerde en çok  $\Sigma$ PUFA, daha sonra  $\Sigma$ SFA en az olarak  $\Sigma$ MUFA bulunmuştur. Fosfolipit fraksiyonunda en çok  $\Sigma$ PUFA'nın olması, beklenen bir sonuçtur.

*T. grypus*'un karaciğer fosfolipit fraksiyonundaki kantitatif yağ asidi içeriğinin her iki eşeyde oldukça benzer olduğu söylenebilir.

N-3/n-6 oranı dişilerde 1.49 (mart)-2.46 (ocak), erkeklerde 1.18 (mart)-2.91 (eylül) aralığında saptanmıştır. Her iki bireyde n-3/n-6 oranı, mart ayında en düşük saptanmıştır.

Balığın, karaciğer TAG fraksiyonunda mevsime bağlı olarak  $\Sigma$ SFA oranı dişi bireylerde % 36.8-43.50, erkek bireylerde % 34.58-39.62;  $\Sigma$ MUFA oranı dişilerde % 30.94-42.38; erkeklerde % 35.12-41.11;  $\Sigma$ PUFA oranı dişilerde % 19.41-26.76; erkeklerde ise % 20.65-26.02 arasında değişmiştir. Dişilerde 16:0 ve  $\Sigma$ SFA oranı kasım ve mart aylarında, erkeklerde ocak ayında düşmüştür. Her iki eşeyde 18:1n-9 ve  $\Sigma$ MUFA yüzdesi mayıs ayında,  $\Sigma$ PUFA ise mart ayında azalmıştır. Arakidonik asit, dalgalanmalar oluşturmuştur. Dokosaheksaenoik asit yüzdesi, her iki eşeyde dönemler arasında benzerlik göstermiştir (Tablo 5 ve 6).

Ackman ve ark. (2002)'ları, balık karaciğer PL fraksiyonunda en çok SFA sonra PUFA en az MUFA tespit etmişlerdir. Ancak çalışmamızda balık türünün PL'inde çoğu aylarda en çok  $\Sigma$ PUFA saptanmıştır.

Tablo 3: Dişi *T. grypus*'un karaciğer fosfolipit fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelerinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
14:0 <sup>δ</sup>	0.72±0.06a	0.84±0.08a	1.97±0.18b	0.60±0.05a	0.68±0.04a	1.21±0.13b
15:0	0.60±0.05a	0.40±0.03a	1.07±0.13b	0.67±0.05a	0.41±0.04a	0.99±0.07b
16:0	25.86±1.33a	27.85±1.32a	24.42±1.14a	28.97±1.21a	27.57±1.23a	29.45±1.27a
17:0	0.25±0.02a	0.10±0.03b	0.66±0.05c	0.28±0.01a	0.66±0.05c	0.84±0.07c
18:0	10.78±0.96a	9.56±0.89a	11.02±1.10a	8.94±0.91a	10.13±0.99a	8.01±0.85a
∑S.F.A	<b>38.21±1.54a</b>	<b>38.75±1.59a</b>	<b>39.14±1.55a</b>	<b>39.46±1.58a</b>	<b>39.45±1.56a</b>	<b>40.50±1.83a</b>
16:1n-7	3.92±0.33a	2.92±0.21a	3.33±0.34a	3.09±0.35a	2.58±0.26a	2.56±0.27a
18:1n-9	15.82±1.07a	16.22±1.08a	15.05±1.05a	14.39±1.03a	15.00±1.05a	13.10±1.21a
20:1n-9	0.42±0.04a	0.74±0.06b	0.69±0.05b	1.16±0.13c	1.05±0.17c	0.77±0.06b
∑M.U.F.A	<b>20.16±1.11a</b>	<b>19.88±1.09a</b>	<b>19.07±1.10a</b>	<b>18.64±1.08a</b>	<b>18.63±1.16a</b>	<b>16.43±1.14a</b>
18:2n-6	0.59±0.05a	0.59±0.04a	1.15±0.11b	1.20±0.14b	0.61±0.05a	0.81±0.07a
18:3n-3	0.21±0.01a	0.22±0.02a	0.76±0.06b	0.48±0.04c	0.18±0.01a	0.28±0.02a
20:2n-6	0.24±0.02a	0.46±0.03b	0.25±0.02a	0.28±0.01a	0.44±0.03b	0.13±0.01c
20:3n-6	0.44±0.03a	0.43±0.03a	0.10±0.01b	0.07±0.03b	0.16±0.01b	0.07±0.01b
20:4n-6	13.69±1.06a	10.81±1.10a	12.42±1.02a	11.69±1.17a	10.85±1.11a	16.19±1.16b
20:5n-3	3.49±0.37a	4.26±0.41a	3.70±0.31a	3.30±0.33a	3.57±0.36a	3.29±0.35a
22:5n-3	1.91±0.17a	1.55±0.15a	1.96±0.18a	1.03±0.10b	2.10±0.25a	1.59±0.15a
22:6n-3	20.15±1.15a	22.97±1.17a	21.18±1.15a	23.66±1.09a	23.87±1.13a	20.63±1.19a
∑P.U.F.A	<b>40.72±1.59a</b>	<b>41.29±1.56a</b>	<b>41.52±1.58a</b>	<b>41.71±1.63a</b>	<b>41.78±1.78a</b>	<b>42.99±1.95a</b>
ω3	25.76±1.33a	29.00±1.28b	27.60±1.39ab	28.47±1.43b	29.72±1.67b	25.79±1.34a
ω6	14.96±1.05a	12.29±1.02a	13.92±1.06a	13.24±1.09a	12.06±1.11a	17.20±1.07b
ω3/ω6	1.72	2.35	1.98	2.15	2.46	1.49

\*Her veri 3 tekrarı ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

§ her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri

Tablo 4: Erkek *T. grypus*'un karaciğer fosfolipit fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelerinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
14:0 <sup>δ</sup>	1.28±0.11a	1.01±0.10a	0.53±0.05b	0.44±0.42b	1.01±0.12a	0.49±0.04b
15:0	0.29±0.02a	0.25±0.03a	0.45±0.04b	0.41±0.04b	1.07±0.13c	0.52±0.05b
16:0	25.97±1.14a	26.42±1.16a	26.28±1.19a	25.16±1.15a	26.32±1.22a	26.44±1.19a
17:0	0.11±0.01a	0.15±0.02a	0.13±0.01a	0.13±0.01a	1.00±0.13b	0.27±0.01c
18:0	12.00±0.99a	11.63±1.01a	13.23±1.08a	15.22±1.07a	11.23±1.10a	10.46±1.01a
∑S.F.A	<b>39.65±1.45a</b>	<b>39.46±1.38a</b>	<b>40.62±1.55a</b>	<b>41.36±1.67a</b>	<b>40.63±1.40a</b>	<b>38.18±1.59a</b>
16:1n-7	2.43±0.22a	1.18±0.17b	1.74±0.05ab	1.54±0.51b	3.05±0.03a	2.42±0.18a
18:1n-9	13.51±1.03a	16.71±1.05a	13.72±1.04a	15.69±1.02a	13.38±1.01a	14.58±1.04a

20:1n-9	1.42±0.12a	0.61±0.05b	0.70±0.06b	0.45±0.04b	1.19±1.13a	1.48±1.23a
ΣM.U.F.A	<b>17.36±1.09a</b>	<b>18.50±1.11a</b>	<b>16.16±1.10a</b>	<b>17.68±1.07a</b>	<b>17.62±1.01a</b>	<b>18.48±1.13a</b>
18:2n-6	1.04±0.11a	0.93±0.95a	0.99±0.34a	0.81±0.71a	1.06±0.12a	1.34±0.14a
18:3n-3	0.48±0.04a	0.37±0.03a	0.30±0.02a	0.14±0.01b	0.11±0.01b	0.48±0.03a
20:2n-6	0.29±0.02a	0.43±0.03b	0.32±0.03a	0.18±0.01a	0.30±0.02a	0.20±0.02a
20:3n-6	0.54±0.04a	0.58±0.05a	0.15±0.01b	0.14±0.01b	0.36±0.02c	0.02±0.01d
20:4n-6	13.50±1.04a	11.07±0.99a	9.56±0.85a	10.66±0.98a	12.52±1.02a	18.23±1.08b
20:5n-3	2.12±0.23a	2.16±0.24a	2.54±0.20a	3.04±0.35a	2.42±0.24a	4.78±0.41b
22:5n-3	2.20±0.21a	2.65±0.29a	1.85±0.18b	1.88±0.15b	2.52±0.23a	2.54±0.29a
22:6n-3	22.75±1.29a	23.77±1.26a	27.42±1.27b	24.02±1.24a	22.39±1.26a	15.67±1.05c
ΣP.U.F.A	<b>42.92±1.55a</b>	<b>41.96±1.49a</b>	<b>43.13±1.40a</b>	<b>40.87±1.47a</b>	<b>41.68±1.53a</b>	<b>43.26±1.48a</b>
ω3	27.55±1.28a	28.95±1.29a	32.11±1.31b	29.08±1.27a	27.44±1.28a	23.47±1.23c
ω6	15.37±1.05a	13.01±1.03a	11.02±1.10a	11.79±1.12a	14.24±1.04a	19.79±1.21b
ω3/ω6	1.79	2.22	2.91	2.46	1.92	1.18

\*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

Ş her satırda aynı harflerle belirlenen veriler  $P>0.05$  olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri

Dişi balığın TAG fraksiyonunda dönemler arasında, çoktan aza doğru sıralanma; mayıs, temmuz, eylül ve ocakta, ΣSFA, ΣMUFA ve ΣPUFA; kasım ve martta ΣMUFA, ΣSFA ve ΣPUFA erkek bireylerde ise; mayıs ve kasımda ΣSFA, ΣMUFA ve ΣPUFA; temmuz, eylül, ocak ve martta ise ΣMUFA, ΣSFA ve ΣPUFA şeklinde oluşmuştur. İki eşeyde de tüm aylarda ΣPUFA en düşük yüzdelerde saptanmıştır. Dişilerde ΣSFA, erkeklerde ΣMUFA oranının daha baskın olduğu saptanmıştır.

*T. grypus*'un karaciğer TAG fraksiyonunda n-3/n-6 oranı dişilerde 1.88 (temmuz)-2.83 (eylül), erkeklerde 1.91 (temmuz)-2.85 (eylül) aralığında bulunmuştur. Her iki bireyde en düşük oran, temmuz ayında saptanmıştır (Tablo 5 ve 6).

Balığın karaciğer lipit PL ve TAG fraksiyonunun karşılaştırıldığında; ΣPUFA ların PL fraksiyonunda, ΣSFA ve ΣMUFA'lerin TAG fraksiyonunda daha fazla oranda bulunduğu görülür. Fosfolipitte en az yüzde de ΣMUFA, TAG'de ise ΣPUFA saptanmıştır. Bireysel yağ asitlerinden, 16:1n-7, 18:1n-7, 18:2n-6 ve 18:3n-3 yüzdeleri TAG'de 18:0, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:5n-3 ve 22:6n-3 ise PL'de daha yüksek bulunmuştur.

Baykal Gölü'nde yapılan çalışmada, karaciğer nötral lipitlerini en çok ΣMUFA oluşturmuştur. Bunu ΣSFA, izlemiş en az ΣPUFA'ler oluşturmuştur. Total MUFA'ler içinde en çok 18:1n-9, SFA'lerden ise 16:0 en

çok saptanmıştır. Diğer major yağ asitleri 16:1n-7, 18:1n-7 ve 20:5n-3'tir (Kozlova ve Khotimchenko, 2000).

Hindistan'da çalışılan balıklardan, karaciğer TAG içeriğinde  $\Sigma$ SFA, % 32.5-65.2;  $\Sigma$ MUFA, % 20.8-41.6;  $\Sigma$ PUFA, % 21-29 arasında bulunmuştur (Ackman ve ark., 2002).

Çalışmamızda, analiz yaptığımız birçok ayda en çok  $\Sigma$ MUFA, bir kısmında ise  $\Sigma$ SFA bulunmuştur. Bu veriler, kasta olduğu gibi balık karaciğer lipit TAG'lerinde  $\Sigma$ MUFA ve  $\Sigma$ SFA'lerin daha fazla oranda biriktiğini göstermektedir. Bu fraksiyonda bulunan major yağ asitleri balıklar arasında benzerlik gösterir. Çalışılan balıklar ile bizim örneklerde de en çok, doymuş yağ asitleri içinde 16:0, tekli doymamışlarda 16:1n-7 ile 18:1n-9, çoklu doymamış yağ asitleri arasında 18:2n-6 ve 18:3n-3 bulunmaktadır.

Tablo 5: Dişi *T. grypus*'un karaciğer triaçilgliserol fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 <sup>s</sup>	0.93±0.06a	0.47±0.04b	0.27±0.02c	-	-	-
12:0	0.31±0.03a	0.18±0.01b	0.33±0.03a	0.21±0.02b	0.25±0.01b	0.17±0.01b
13:0	0.51±0.04a	0.21±0.02b	-	0.03±0.01c	-	0.07±0.02d
14:0	2.72±0.23a	2.02±0.20a	3.34±0.33a	2.82±0.25a	2.82±0.29a	2.73±0.27a
15:0	0.99±0.08a	0.58±0.05b	1.19±0.12a	1.04±0.17a	0.85±0.7a	0.75±0.06a
16:0	31.10±1.28a	30.78±1.33a	31.84±1.34a	27.01±1.28a	29.79±1.25a	27.93±1.27a
17:0	0.22±0.02a	0.33±0.03a	0.44±0.03b	0.55±0.05b	0.64±0.05c	0.69±0.06c
18:0	6.60±0.62a	6.30±0.64a	6.09±0.66a	5.14±0.59a	6.64±0.62a	4.52±0.41a
$\Sigma$ S.F.A	<b>43.38±1.55a</b>	<b>40.87±1.47a</b>	<b>43.50±1.40a</b>	<b>36.80±1.39b</b>	<b>40.99±1.40a</b>	<b>36.86±1.36b</b>
16:1n-7	7.30±0.71a	4.06±0.43b	6.78±0.65a	9.02±0.91a	6.27±0.57a	8.86±0.83a
18:1n-9	22.60±1.12a	26.34±1.16a	26.76±1.15a	26.67±1.18a	30.60±1.27b	30.17±1.30b
20:1n-9	1.04±0.13a	1.07±0.14a	0.30±0.02b	3.05±0.34c	1.87±0.15a	3.35±0.35c
$\Sigma$ M.U.F.A	<b>30.94±1.30a</b>	<b>31.47±1.31a</b>	<b>33.84±1.37a</b>	<b>38.74±1.38b</b>	<b>38.74±1.30b</b>	<b>42.38±1.43c</b>
18:2n-6	2.67±0.25a	1.59±0.14a	2.05±0.23a	2.94±0.28a	2.08±0.20a	1.86±0.15a
18:3n-3	1.87±0.18a	1.02±0.17b	1.37±0.10b	2.29±0.22a	1.10±0.11b	1.26±0.19b
20:2n-6	0.23±0.02a	0.27±0.01a	0.10±0.02b	0.43±0.04c	0.44±0.03c	0.38±0.02c
20:3n-6	0.51±0.04a	1.22±0.12b	0.09±0.03c	0.14±0.02d	0.25±0.03d	0.22±0.15d
20:4n-6	5.06±0.45a	6.21±0.61a	3.66±0.33b	3.47±0.35b	2.36±0.25b	3.56±0.39b
20:5n-3	4.44±0.41a	3.16±0.27a	3.05±0.32a	2.84±0.20a	2.87±0.23a	1.91±0.16b
22:5n-3	1.86±0.13a	2.41±0.21b	1.87±0.17a	2.23±0.22b	1.44±0.14a	2.67±0.22b
22:6n-3	8.96±0.72a	10.88±0.93a	10.41±0.97a	9.27±0.87a	8.87±0.81a	8.07±0.83a
$\Sigma$ P.U.F.A	<b>25.60±1.30a</b>	<b>26.76±1.29a</b>	<b>22.60±1.27b</b>	<b>23.61±1.23b</b>	<b>19.41±1.09c</b>	<b>19.93±1.10c</b>
$\omega$ 3	17.13±1.07a	17.47±1.06a	16.70±1.11a	16.63±1.13a	14.28±1.14a	13.91±1.02a
$\omega$ 6	8.47±0.88a	9.29±0.93a	5.90±0.52b	6.98±0.63b	5.13±0.52b	6.02±0.61b
$\omega$ 3/ $\omega$ 6	2.02	1.88	2.83	2.38	2.78	2.31

\*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

§ her satırda aynı harflerle belirlenen veriler  $P > 0.05$  olasılık düzeyinde



*birbirinden farklı değildir. S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri*

Tablo 6: Erkek *T. grypus*'un karaciğer triaçilgliserol fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 <sup>§</sup>	0.05±0.01a	0.04±0.01a	0.01±0.01b	-	-	-
12:0	0.04±0.02a	0.05±0.03a	0.04±0.02a	-	0.04±0.02a	0.25±0.01b
13:0	0.11±0.03a	0.04±0.02b	0.20±0.06c	0.05±0.03b	-	-
14:0	3.08±0.31a	2.81±0.29a	3.12±0.31a	2.18±0.27a	2.84±0.26a	3.73±0.34a
15:0	0.53±0.04a	0.32±0.03b	0.71±0.05a	1.02±0.11c	0.76±0.05a	1.04±0.10c
16:0	29.11±1.28a	25.64±1.24b	25.44±1.22b	30.89±1.30a	24.74±1.29b	26.81±1.26b
17:0	0.56±0.03a	0.43±0.04a	0.58±0.04a	1.00±0.09b	0.65±0.06a	0.96±0.07b
18:0	5.29±0.05a	7.62±0.06b	5.63±0.53a	4.48±0.42a	5.55±0.52a	4.62±0.47a
∑S.F.A	<b>38.77±1.56a</b>	<b>36.96±1.50a</b>	<b>35.73±1.36a</b>	<b>39.62±1.47a</b>	<b>34.58±1.33a</b>	<b>37.41±1.39a</b>
16:1n-7	6.85±0.65a	4.79±0.48a	8.75±0.84b	6.14±0.62a	6.79±0.45a	7.23±0.72ab
18:1n-9	26.58±1.24a	34.84±1.34b	31.32±1.31b	27.17±1.25a	31.55±1.30b	31.32±1.34b
20:1n-9	1.69±0.14a	1.20±0.12a	0.25±0.03b	2.75±0.16c	1.76±0.17a	2.56±0.25c
∑M.U.F.A	<b>35.12±1.35a</b>	<b>40.83±1.47b</b>	<b>40.32±1.45b</b>	<b>36.06±1.36a</b>	<b>40.10±1.40b</b>	<b>41.11±1.39b</b>
18:2n-6	2.85±0.23a	1.74±0.17b	2.50±0.28a	2.36±0.27a	3.26±0.33a	3.70±0.30a
18:3n-3	2.53±0.26a	1.26±0.12b	1.72±0.11b	2.96±0.27a	1.31±0.31b	1.38±0.14b
20:2n-6	0.38±0.03a	0.24±0.02a	0.20±0.01a	0.20±0.02a	0.36±0.03a	0.21±0.01a
20:3n-6	0.34±0.02a	0.35±0.03a	0.33±0.03a	0.19±0.01b	0.34±0.02a	0.21±0.01b
20:4n-6	5.03±0.50a	5.27±0.54a	3.16±0.42b	4.08±0.39a	2.95±0.26b	2.52±0.23b
20:5n-3	2.75±0.25a	2.88±0.28a	3.15±0.31a	3.39±0.30a	3.45±0.28a	3.15±0.45a
22:5n-3	2.57±0.26a	1.53±0.16b	2.06±0.23a	2.08±0.25a	2.78±0.27a	2.19±0.20a
22:6n-3	9.57±0.93a	8.85±0.88a	10.72±1.01a	9.04±0.98a	10.77±1.03a	7.29±0.76a
∑P.U.F.A	<b>26.02±1.26a</b>	<b>22.12±1.20b</b>	<b>23.84±1.28b</b>	<b>24.30±1.19ab</b>	<b>25.22±1.25a</b>	<b>20.65±1.20b</b>
ω <sup>3</sup>	17.42±1.08a	14.52±1.05a	17.65±1.07a	17.47±1.10a	18.31±1.11a	14.01±1.04a
ω <sup>6</sup>	8.60±0.85a	7.60±0.73a	6.19±0.61a	6.83±0.56a	6.91±0.59a	6.64±0.60a
ω <sup>3</sup> /ω <sup>6</sup>	2.02	1.91	2.85	2.55	2.64	2.10

\*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

§ her satırda aynı harflerle belirlenen veriler  $P > 0.05$  olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

*S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri*

## Sonuç

Balık karaciğer dokusundaki yağ asidi içerikleri; mevsime, üreme pe-riyoduna, sıcaklığa ve eşeye bağlı olarak değişiklik göstermiştir.

Balık karaciğer dokusundaki fosfolipit ve triaçilgliserol yağ asidi içeriği farklı bulunmuştur. Triaçilgliserolde;  $\Sigma$ MUFA ve  $\Sigma$ SFA ile birlikte 16:0, 18:1n-9, 16:1n-7, 18:2n-6 ve 18:3n-3 yağ asitleri; fosfolipitte ise  $\Sigma$ PUFA ile 18:0, 20:3n-6, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:5n-3 ve 22:6n-3 gibi yağ asitleri daha fazla yüzdede bulunmuştur. Karaciğer TAG ve PL yağ asidi içeriklerinin de mevsime, üreme periyoduna, sıcaklığa ve eşeye bağlı olarak değiştiği saptanmıştır.

## KAYNAKÇA

- Ackman, R.G., Mcleod, C., Rakshit, S., & Mısra, K.K. (2002). Lipids and fatty acids of five freshwater food fishes of India. *Journal of Food Lipids*, 9 (2): 127-145.
- Crowford, R.H., Cusack, R.R., & Parlee, T.R. (1986). Lipid content and energy expenditure in the spawning migration of alewife (*Alosa pseudoharengus*) and blueback herring (*Alosa aestivalis*). *Canadian Journal of Zoology*, 64, 1902-1907.
- Epler, P., Sokolowska-Mikolajczyk, M., Popek, W., Bieniarz, K., Bartel, R., & Szczerbowski, J.A. (2001). Reproductive biology of selected fish species from Lakes Tharthar and Habbaniya in Iraq. *Archives of Polish Fisheries*, 9 (1), 199-209.
- Folch, J., Lees, M., & Sladane-Stanley, G. H. A. (1957). Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-509.
- Geldiy, R., & Balık, S. (1996). Türkiye tatlısu balıkları. Ege Üni. Su Ürünleri Fak. Yay. No: 46 (II. Baskı), İzmir.
- Kaçar, S., & Başhan, M. (2021). Comparative study of lipid and fatty acid profile in liver tissues of male and female *Silurus triostegus* during the catching seasons. *Aquatic Sciences and Engineering*, 36(4), 1-9.
- Kaçar, S., Kaya, H., & Başhan, M. (2021). Seasonal effects of the fatty acid composition of phospholipid and triacylglycerol in the muscle and liver of male *Salmo trutta macrostigma*. *Grasas y aceites*, 72(4),e435.
- Kminkova, M., Winterova, R., & Kucera, J. (2001). Fatty acids in lipids of carp (*Cyprinus carpio*) tissues. *Czech Journal of Food Science*, 19, 177-181.
- Uysal, K. 2004. Gonad olgunlaşması esnasında sudak (*Sander lucioperca*) balığının ovaryum ve testislerinin yağ asidi bileşimindeki değişimler. DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. 7. Sayı.Sharma, P., Vikas, K., Sinha, A.K., Jayant, R., Kithsiri, H.M.P., & Gudipati, V. (2009). Comparative fatty acid profiles of wild and farmed tropical freshwater fish rohu (*Labeo rohita*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 36 (3),411-417.
- Suzuki, H., Okazaki, K., Hayakawa, S., Wada, S., & Tamura, S. (1986). Influence of commercial dietary fatty acids on PUFA of cultured freshwater fish and comparison with those of wild fish of the same species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34, 58-60
- Yılmaz. Ö., Konar, V., & Çelik, S. (1995). Elazığ Hazar Gölü'ndeki *Capoeta capoeta umbla*'nın dişi ve erkek bireylerinde bazı dokularının total lipid ve yağ asidi bileşimleri. *Biyokimya Dergisi*, 20, 31-42.



“

## Bölüm 13

**TÜRKİYE’DE YAYILIŞ GÖSTEREN  
*CLADONIA FOLIACEA* GRUP  
ÜYELERİ VE DESKRİPSİYONLARI**

*Mustafa KOCAKAYA<sup>1</sup>*

*Zekiye KOCAKAYA<sup>2</sup>*

”

---

1 Doç. Dr., Yozgat Bozok üniversitesi, Boğazlıyan Meslek  
Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Yozgat  
ORCID: 0000-0003-2306-8094

2 Dr. Öğr. Üyesi. Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu Meslek  
Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kayseri  
ORCID: 0000-0001-5248-0462

*Cladonia* cinsi Cladoniaceae familyası, Lecanorales ordosu ve Ascomycota divizyonu içerisinde sınıflandırılmaktadır (Miadlikowska vd, 2006; Lumbsch ve Huhndrof, 2011). Bu cins dünya üzerinde 500'den fazla tür ile temsil edilmektedir (Ahti 2000). *Cladonia* cinsinin temsilcileri, kural olarak yatay primer tallus (pulsu veya nadiren kabuksu, bazen kaybolur) ve dikey sekonder tallus (podesyum) olmak üzere iki tür tallustan oluşan likenlerdir. *Cladonia* cinsinin sitematiğinde primer ve sekonder tallusun anatomisi ve morfolojisi oldukça önemlidir. Podesyumların yüzey anatomisi, dallanması ve morfolojisi, taşıdığı vejetatif propagüller ve konidyum özellikleri de cinsin sitematiğinde kullanılan diğer karakterlerdir. Ayrıca *Cladonia* cinsi sistematik açıdan oldukça önemli olan çok çeşitli sayıda liken asitleri içermektedir (Huovinen ve Ahti, 1982). *Cladonia foliacea* gruba ait Türkiye'de yayılış gösteren 8 *Cladonia* türü bulunmaktadır. Aşağıda türlerin deskripsiyonları, habitatları hakkında bilgiler, çalışılan örneklerin lokaliteleri ve fotoğrafları verilmiştir.

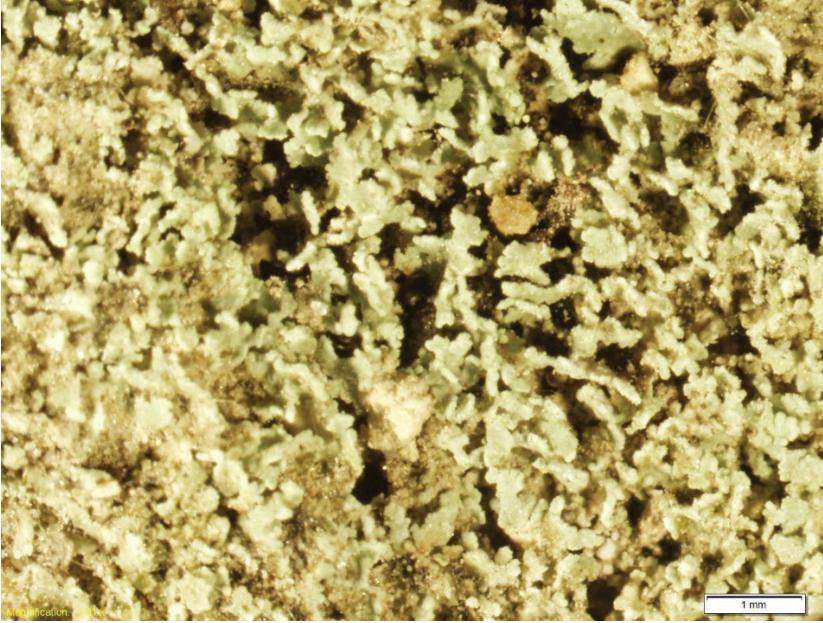
### 1. *Cladonia caespiticia* (Pers.) Flörke

Primer tallus pulsu, pullar baskın, yeşilimsi gri renkte, 2-10 mm uzunluğunda, podesyum nadir veya yok, çok kısa (1-5 mm), Podesyum yüzeyi soresiz, uçlarda açılmamış, genellikle uçlarda koyu kahverengi apotesyum taşır (Şekil 1). Pknidyum yaygın, pimer pullar üzerinde. K-, P+ kırmızı, fumarprotosetarik asit kompleksi içerir.

**Habitat:** Hem kalkerli hem de serpantinli anakayanın bulunduğu ormanlık alanlarda, yosunlar üzerinden toplanmıştır. Ormanlık alanlar hem yaprak dökken hem de iğne yapraklı ağaçların bulunduğu ormanlardır.

**Notlar:** Apotesyum mevcut olmayan türleri teşhis etmek çok zordur. Yapılan spot testlerden P testi *Cladonia caespiticia* türünde çok hızlı bir şekilde renk verir, bu özellik türün teşhisinde yardımcı olabilir (Ahti vd. 2013). Stenroos vd. (2002)'ye göre Avrupa türlerinden yakın ilişkili olduğu tür yoktur, fakat *C. foliacea* ve *C. cervicornis* ile filogenetik olarak ilişkili olabilir. Ülkemizde Karadeniz Bölgesi'nden bilinmektedir (Kınalıoğlu 2006; John ve Breuss 2004; Yazıcı vd. 2007). Yapılan arazi çalışmaları ile Türkiye'deki yayılışı genişletilmiştir.

**Çalışılan Örnekler:** Kahramanmaraş, Andırın, Darovası Köyü'nün batısı, *Pinus brutia* ormanı, kalker ana kaya, 37°30'72"K, 36°22'093"D, yükseklik 565 m, 21/07/2013, [CLAD 54]. Tekirdağ, Saray Çilingöz yolu üzeri, Binkılıç orman işletmenin kuzeyi, Yıldız-Istranca dağları, *Quercus-Fagus* karışık orman, 41°26'690"K, 28°12'299"D, yükseklik 405 m, 13/09/2013, [CLAD 169]. Mersin, Anamur, Antalya-Mersin yolu üzeri, Bozyazı Yarımadası'nın kuzeybatısı, Püren mahallesi, Seralık alan, *Pinus brutia* ormanı, maki vejetasyonu, serpantin, 36°05'592"K, 33°04'345"D, yükseklik 31 m, 19/05/2013, [CLAD 166].



Şekil 1 *Cladonia caespiticia* tallusu

## 2. *Cladonia cariosa* (Ach.) Spreng. (Arnold) H. Olivier

Primer tallus pulsu, pullar küçük 1-2 mm uzunluğunda, podesyum bazen yoğun bazen nadir, 1-3 cm uzunluğunda, gri renkte, podesyum yüzeyi hafif pruinose, apotesyum yoğun, kahverengi renktedir (Şekil 2). Piknidyum ya bazal pullar üzerinde ya da podesyum uçlarında. K+ sarı, P+ sarı veya P-. 4 farklı kemotipi bulunmaktadır. 1) Atranorin 2) Atranorin ve fumarprotosetrarik asit kompleksi 3) Atranorin, norstiktik asit ve connorstiktik asit 4) Atranorin, psoromik ve conpsoromik asit içeren kemotipler mevcuttur (Ahti et al. 2013).

**Habitat:** Literatürde kalkerli kaya ve toprak bulunan doğal habitatlarda yayılış gösterdiği belirtilmiştir (Ahti vd. 2013), ancak Türkiye’den toplanan örnekler arasında serpantinli kayaların olduğu bölgelerde bulunmaktadır.

**Notlar:** *C. cariosa* yapılan son filogenetik çalışmalarda (Pino-Bodas vd. 2011) *C. symphyarpa* ve *C. accuminata* ile yakın ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır. Bu iki türde ülkemizden bilinmektedir. (Çobanoğlu ve Akdemir, 2004; John ve Breuss 2004; Osyczka vd. 2011; Yazıcı vd. 2007). Türkiye’den toplanmış örnekler atranorin ve fumarprotosetrarik asit kompleksi içermektedir. Literatürde pulların boyu 2 mm’ye kadar olduğu belirtilse de Türkiye’den toplanmış örnekler de 2.5 mm ye kadar uzadıkları görülmüştür. Podesyum boyu ise 1 cm civarındadır.

**Çalışılan Örnekler:** Çorum, Çatak Köyü kuzeyi, *Pinus nigra*, serpantin ana kaya, *Quercus*, 40°41'486''K, 34°49'277''D, yükseklik 1325 m, 25/05/2013, [CLAD 5, CLAD 46, CLAD 170, CLAD 176, CLAD 234]. Çorum, Çatak Tabiat Parkı yukarısı, *Pinus nigra* ormanı, serpantin ana kaya, 40°40'981''K, 34°48'341''D, yükseklik 1547 m, 25/05/2013, [CLAD 174].



Şekil 2 *Cladonia cariosa* tallusu

### 3. *Cladonia cervicornis* (Ach.) Flot.

Pirimer tallus pulsu, pulların boyu 2 cm'ye kadar ulaşabilir, mavimsi gri renktedir. Podesyum genellikle gelişmemiş veya az gelişmiştir (Şekil 3). Pknidyum yaygın, kupanın açıklığı üzerinde yer alır. K-, Pd+ turuncu-kırmızı renk verir, fumarprotosetrarik asit kompleksi içerir.

**Habitat:** Açıklık alanlarda kayalar üzerinde yayılış göstermektedir.

**Notlar:** *C. verticillata* türü ile karıştırılan bir türdür, fakat *C. verticillata* daha uzun podesyum ve daha küçük pullara sahip olması ile *C. cervicornis*'ten ayrılır. Ülkemizde her bölgede yayılış göstermektedir.

**Çalışılan Örnekler:** Muğla, Marmaris, Gülece köyünün doğusu, *Olea europaea*, *Pinus brutia* toplulukları, 37°00'734''K, 28°22'113''D, yükseklik 85 m, 03/07/2014, [CLAD 842]. Zonguldak, Ereğli, Ören köyü, 41°17'087''K, 31°30'648''D, yükseklik 160 m, 10/07/2014, [CLAD



**822].** Muğla, Milas, Milas-Karpuzlu arası, Beşparmak dağları, *Pinus brutia* ormanı, 37°23'309''K, 27°47'982''D, yükseklik 410 m, 03/07/2014, [CLAD 824]. Muğla, Yatağan, Karpuzlu'nun kuzeyi, *Pinus brutia* ormanı ve maki vejetasyonu hâkim, 37°23'426''K, 27°56'332''D, yükseklik 610 m, 03/07/2014, [CLAD 842]. Sivas, Zara-Suşehri arası, silisli kayalıklar, 39°56'08''K, 37°51'17''D, yükseklik 1540 m, 23/07/2014, [CLAD 956].



Şekil 3 *Cladonia cervicornis* thallusu

#### 4. *Cladonia firma* (Nyl.) Nyl.

Tallus pulsu, pullar 2-25 mm çapında. Primer pullar geniş, 25 mm ye kadar uzunlukta ve 10 mm genişlikte. Pulların üst yüzeyleri açık yeşil, bazen kahverengimsi. Podesyum nadir, bazen yok, varsa primer pulların merkezinden çıkar, 15 mm uzunluğa kadar ulaşır, bazen dallanma gösterir, genellikle 1 mm çapındadır (Şekil 4). Podesyum yüzeyi kortekse sahip. Apotesyum kahverengi, genellikle sapsız. Piknidyum kahverengi, vazo şeklindedir.

**Notlar:** *C. firma*, *C. foliacea* ve *C. convoluta* ile ilişkili bir türdür. Pulların alt yüzeyinin mavimsi gri renkte ve pullar bariz bir şekilde kalın olması ile ayrılır (Smith vd. 2009). Ayrıca *C. foliacea* ve *C. convoluta* hem morfolojik hem de kimyasal içerik olarak çok benzerdir. *C. firma* farklıdır Pino-Bodas vd. 2010). Ülkemizden Aydın, Çanakkale, İstanbul ve Muğla illerinden bilinmektedir (Karabulut vd. 2004; Nimis ve John, 1998; Schindler, 1998).

**Çalışılan Örnek:** Çanakkale, Bayramiç, Hacıbekirler Köyü'nün kuzeybatısı, *Pinus brutia*, *Quercus* toplulukları, silisli kayalar, 39°55'320"K, 26°45'634"D, yükseklik 220 m, 16/09/2013, [CLAD 52]. Çanakkale, Bayramiç, Hacıbekirler Köyü'nün kuzeybatısı, *Pinus brutia*, *Quercus* toplulukları, silisli kayalar, 39°55'320"K, 26°45'634"D, yükseklik 220 m, 16/09/2013, [CLAD 1064].



Şekil 4 *Cladonia firma tallus*

### 5. *Cladonia foliacea* (Huds.) Willd.

Primer tallus pulsu-foliose, pullar 6-40 mm uzunluğunda, 1-5 mm genişliğinde, düzensiz birşekilde loplul, genellikle kenar kısımlarında beyaz renkli dallanmamış rizinler mevcut, üst kısımlar sarımsı yeşil, soluk sarı, aşağı kısımlar ince araknoid (Şekil 5). Podesyum çok nadir, 0.3-2 cm uzunluğunda, 0.5-3 mm genişliğinde, grimsi sarı, alt kısımlar soluk, kupa var; kupa açıklığı dar (1-2 mm). Apotesyum çok nadir, kupanın kenarları üzerinde, kahverengi, 4 mm çapında küme oluşturmuş. Piknidyum primer pullar üzerinde ya da kupanın kenarları üzerinde, sapsız, ovoid. K-, KC+ sarı, P+ kırmızı, usnik asit, fumarprotosetrarik asit kompleksi içerir.

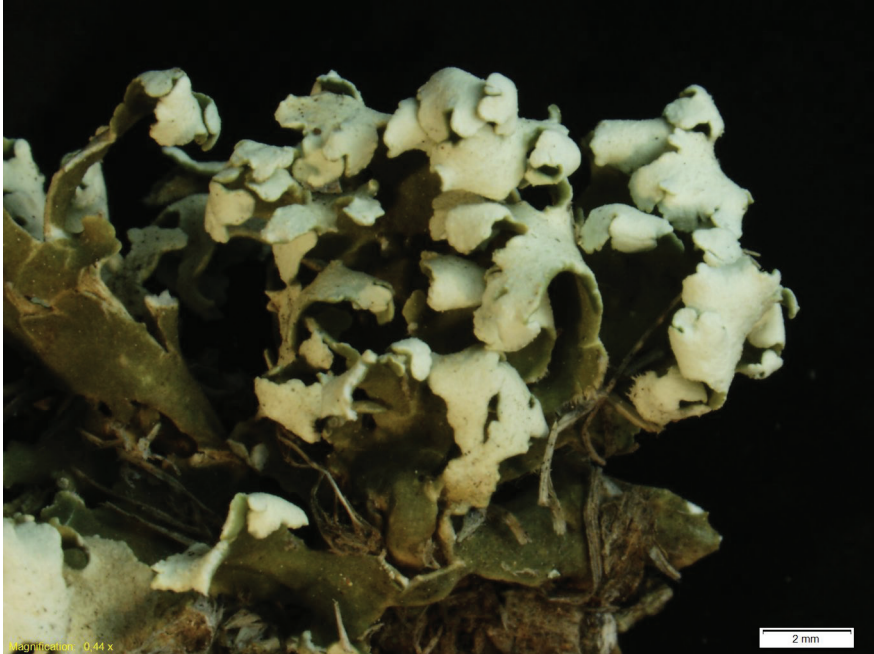
**Habitat:** Genellikle kalkerli kaya ve açık topraklar üzerinde yayılış gösterir.

**Notlar:** *C. foliacea* ve *C. convoluta* hem morfolojik hem de kimyasal içerik olarak çok benzer türlerdir. Her iki türde usnik asit ve fumarprotosetrarik asit kompleksi içerir. *C. foliacea* genellikle asidik habitatlarda, *C.*

*convoluta* ise bazik habitatlarda yayılış göstermektedir (Burgaz ve Ahti, 1992; Litterski ve Ahti, 2004). Fakat Pino-Bodas vd. 2010 tarafından yapılan filogenetik çalışmada bu iki türün birbirinden farklı türler olmadığı ortaya çıkmıştır (Pino-Bodas vd. 2010). Yaptığımız moleküler çalışmalar Pino-Bodas et al. 2010 tarafından yapılan çalışmayı destekler yöndedir, geçmişte ayrı tür olarak değerlendirilen bu iki taksona ait örnekler esasında aynı türe aittirler.

*C. foliacea* türünün teşhisinde kullanılan bir karakter olan rizinler, Türkiye örneklerinin bazılarında bulunmamaktadır. Ülkemizde çok geniş bir yayılışa sahiptir.

**Çalışılan Örnekler:** Çorum, Çorum'un güneydoğusu, Kadımezarı mevkiinin doğusu, kalker ana kaya, step vejetasyonu, 40°22'086"K, 35°03'708"D, yükseklik 654 m, 25/05/2013, [CLAD 4]. Kırklareli, Vize, Vize'nin doğusu, Çakıllı köy civarı, *Quercus* toplulukları, 41°33'685"K, 27°48'453"D, yükseklik 181 m, 13/09/2013, [CLAD 13, CLAD 173]. Karaman, Ermenek-Anamur arası, Kazancının güney batısı, *Abies* var, kalker ana kaya, 36°28'900"K, 32°50'687"D, yükseklik 1415 m, 18/05/2013, [CLAD 126].



Şekil 5 *Cladonia foliacea* tallusu

## 6. *Cladonia peziziformis* (With.) J.R. Laundon

Primer tallus pulsu, pullar çok küçük, 0.5-1 mm çapında, bazen pullar bitişik bir şekil alır. Podesyum sık görülür, genellikle çok bol, 0.5-2

cm uzunluğunda 0.3-1 mm genişliğinde, kalın, soluk gri, genellikle narin, basit ya da uç kısımlar hafif dallanmış, kısmen yassılaştırmış, kupa açıklığı yok, yüzey oyuklu ve çatlaklı, genellikle areollü-korteksli (Şekil 6). Apotesyum erken aşamada gelişen podesyumların uçlarında sürekli görülür, renk koyu kahverengiden soluk okraya değişir, üst üste yığılma görülebilir. Piknidyum primer tallus üzerindedir, şekli ovooidden koniğe değişir, tabanda daralma vardır, renksiz slim içerir. K-, P+ hızlıca kırmızıya döner. Fumarprotosetarik asit kompleksi içerir.

**Habitat:** Çok asitli olmayan topraklarda gelişim göstermektedir.

**Notlar:** Morfolojik olarak *C. caespiticia* ve *C. cariosa* ya benzer olsa da filogenetik olarak bu iki türe çok yakın değildir (Stenroos vd. 2002). Üst üste binmiş kahverengi apotesyumları ile karakteristik bir türdür.

**Çalışılan Örnek:** Rize, Çamlıhemşin, Kaçkar Dağları Milli Parkı, Ayder'in kuzeyi, Kavrun yaylası yolu, *Picea* ve *Fagus* karışık ormanı, 40°55'592"K, 41°08'801"D, 1750 m, 16/08/2014, [CLAD 361].



Şekil 6 *Cladonia peziziformis* tallusu

## 7. *Cladonia subturgida* Samp.

Primer tallus pulsu, pullar 3-19 mm boyunda, 1-5 mm çapında, derin bir şekilde loplular, üst yüzey açık yeşil, alt yüzey beyaz, uçlara doğru pembe ve menekşe renktedir (Şekil 7). Podesyum çok nadir görülür. Podesyum yüzeyi düz, soredsiz ve kortekslidir. Piknidyum yaygın ve siyah renktedir. Pd- veya Pd+ kırmızı, K- veya K+ sarı renk verebilir.

**Habitat:** Çam ormanlarında, asidik substratlarda gelişim göstermektedir.

**Notlar:** Hem morfolojik hem de kimyasal olarak oldukça değişken bir türdür (Pino Bodas vd. 2012). Yukarı doğru kalkmış ve alt tarafı beyazlamış primer tallusla *C. iberica*'dan ayrılır (Burgaz ve Ahti, 2009).

**Çalışılan Örnek:** Muğla, Milas, Milas-Karpuzlu arası, dağ yolu, Beşparmak dağlar, *Pinus brutia*, *Quercus* ve maki, serpantin ana kaya, 37°22'000"K, 27°47'905"D, yükseklik 80 m, 03/07/2014, [CLAD 853]. Muğla, Milas, Milas-Karpuzlu arası, Beşparmak dağları, *Pinus brutia* ormanı, 37°23'309"K, 27°47'982"D, yükseklik 410 m, 03/07/2014 [CLAD 924]. Zonguldak, Ereğli, Ören köyü, 41°17'087"K, 31°30'648"D, yükseklik 160 m, 10/07/2014, [CLAD 925].



Şekil 7 *Cladonia subturgida* tallusu

## 8. *Cladonia symphycarpia* (Flörke) Fr.

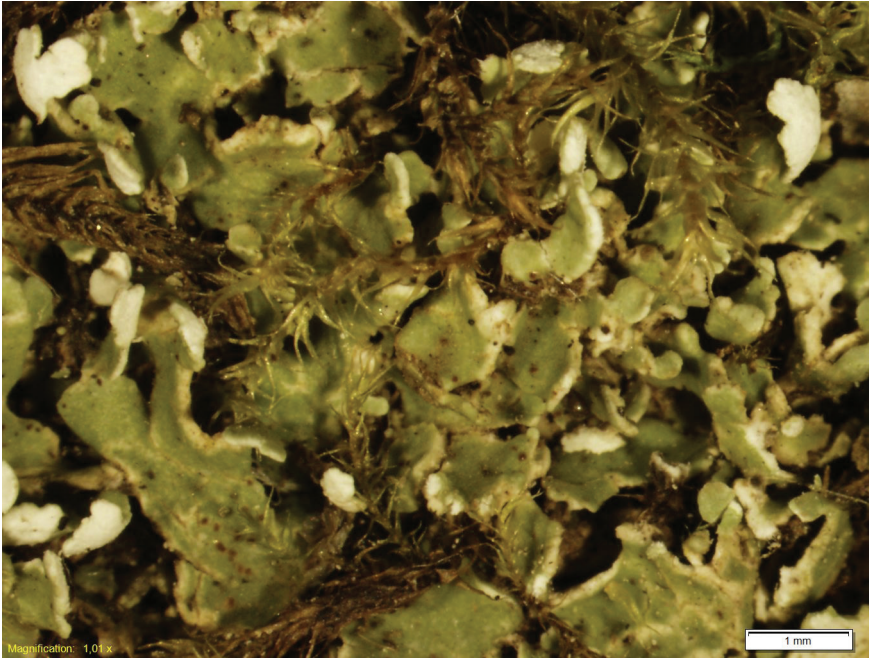
Primer tallus pulsu, pullar genişleyerek yükselir, büyük koloniler oluşturur; pullar büyük, 0.5-2 cm uzunluğunda, 0.5-1 cm genişliğinde, renk mat yeşilden alt kısımlara doğru yeşilimsi griye, kenarlar kahverengi, alt kısımlara doğru beyaz (Şekil 8). Podesyum genellikle yok ya da nadir, kalın, 1-2 cm uzunluğunda, 0.3-0.8 cm genişliğinde, klavat, biraz dallanmış. Yüzey korteksli, bir kısmı düz, yarıklı ya da çatlaklı, taban pul-

su, sored yok. Apotesyum genellikle podesyum üzerinde bulunur, koyu kahverengi. Piknidyum yoğun, pullar üzerinde, oldukça büyük, ampul şekilli, renksiz slim içerir. Bir kaç kemotipi vardır 1) K+ renk sarıdan hafif kırmızıya, P+ sarı. Atranorin, norstiktik asit, connorstiktik asit ve yağ asitleri içerir. 2) K+ sarı, P+ sarı. Atranorin içerir. 3) K+ sarı, P+ kırmızı. Atranorin ve fumarprotosetrarik asit içerir. 4) K+ sarı, P+ sarı. Atranorin ve psoromik asit içerir.

**Habitat:** Kalkerli topraklar üzerinde gelişim göstermektedir.

**Notlar:** *C. symphycarpa* türü *C. cariosa* ile benzerdir, ancak *C. cariosa* daha küçük pullar, daha ince podesyum taşımasıyla ve kalker ihtiyacı *C. symphycarpa*'ya göre daha az olması ile bu türden ayrılır (Ahti vd. 2013).

**Çalışılan Örnekler:** Siirt, Kurtalan, Bitlis-Batman yol ayrımı, Kurtalana 90 km kala, kalker anakaya, *Acacia* ve *Gladitchma* sp. toplulukları, 37°37'864"K, 41°47'042"D, yükseklik 525 m, [CLAD 374]. Trabzon, Arsin, Santa harabeleri yolu, *Picea* ve *Fagus* karışık ormanı, 40°49'068"K, 39°53'450"D, yükseklik 480 m, 18/08/2014, [CLAD 388].



Şekil 8 *Cladonia symphycarpa* tallusu

## ***Cladonia foliacea* Grup Üyeleri İçin Tayin Anahtarı**

1. Primer tallus sarı veya beyazımsı gri.....2
1. Pirimer tallus kahverengi, grimsi veya mavimsi.....3
2. KC+ sarı, P+ kırmızı, usnik asit, fumarprotosetrarik asit kompleksi içerir .....***C. foliacea***
2. Pulların alt yüzeyinin mavimsi gri renkte ve pullar bariz bir şekilde kalın..... ***C. firma***
3. Medulla P+ kırmızı.....4
3. Medula P-.....7
4. Pullar çok küçük, çoğunlukla dik, yeşilden kahverengiye kadar, kahverengi apotesyum mevcut, P+ kırmızı, fumarprotosetrarik asit kompleksi içerir..... ***C. caespiticia***
4. Pullar oldukça büyük, çoğunlukla yükselici.....5
5. Pullar gevşek bir yapı oluşturmuştur ..... 6
5. Pullar 0.2-1 cm, sıkı bir şekilde bir araya gelmiştir, K-, Pd+ turuncu-kırmızı renk verir, fumarprotosetrarik asit kompleksi içerir..... ***C. cervicornis***
6. Pullar 0.3-2 cm, gevşek bir yapı oluşturmuştur, P- veya P+ kırmızı, K- veya K+ sarı..... ***C. subturgida***
6. Pullar 0.6-1.4 cm, üst yüzeyi açık yeşil, P+ kırmızı fumarprotosetrarik asit ve protosetrarik asit içerir .....***C. corsicana***
7. Çok yoğun bir şekilde bir araya gelmiş koyu kahverengi apotesyumlar içerir, K+ sarı, P+ sarı, tamnolik asit içerir.....***C. parasitica***
7. Yukardaki gibi bir durum söz konusu değildir.....8
8. Podesyum çok ince, podesyum apikal kısımlarında her zaman apotesyum taşır, P+ kırmızı, fumarprotosetrarik asit kompleksi içerir.....***C. peziziformis***
8. Podesyum ince değil.....9

9. Primer pullar büyük 10 mm ye kadar, podesyum şişkin, korteks düz K+ sarı, P+ kırmızı. Atranorin ve fumarprotosetrarik asit içerir..... ***C. symphycarpia***

9. Primer pullar küçük 4 mm ye kadar, podesyum daha ince, dalanma gösterebilir, atranorin ve fumarprotosetrarik asit kompleksi içerir..... ***C. cariosa***



**KAYNAKLAR**

- Ahti, T. (2000). *Cladoniaceae - Flora Neotropica Monograph* 78. 1-363.
- Ahti, T., Stenroos, S., Moberg, R., (2013). *Nordic Lichen Flora Volume 5 Cladoniaceae*. Museum of Evolution, Uppsala University. pp. 117.
- Burgaz, A. R., Ahti, T. (2009). *Cladoniaceae. Flora Liquenológica Ibérica 4. Sociedad Española de Liquenología*. Madrid, Cicegraf Ed.
- Cobanoglu, G., & Akdemir, B. (2004). Contribution to the lichen diversity of Nature Parks in Bolu and Çorum, Anatolia, Turkey. *Herzogia*, 17, 129-136.
- Huovinen, K., & Ahti, T. (1982, January). Biosequential patterns for the formation of depsides, depsidones and dibenzofurans in the genus *Cladonia* (lichen-forming ascomycetes). In *Annales Botanici Fennici* (pp. 225-234). Finnish Botanical Publishing Board.
- John, V., & Breuss, O. (2004). Flechten der östlichen Schwarzmeer-Region in der Türkei (BLAM-Exkursion 1997). *Herzogia*, 17, 137-156.
- Karabulut, Ş. N., Özdemir-Türk, A., & John, V. (2004). Lichens to monitor afforestation effects in Çanakkale, Turkey. *Cryptogamie Mycologie*, 25 (4), 333-346.
- Kinalioglu, K. (2006). Lichens of Kesap District (Giresun, Turkey). *Acta Botanica Hungarica*, 48(1-2), 65-76.
- Litterski, B., & Ahti, T. (2004). World distribution of selected European *Cladonia* species. *Symbolae Botanicae Upsalienses*, 34(1), 205-236.
- Lumbsch, H. T., & Huhndorf, S. M. (2010). Part One. Outline of Ascomycota-2009. Part Two. Notes on Ascomycete Systematics. Nos 4751-5113. *Fieldiana: life and earth sciences*, 1.
- Miadlikowska, J., Kauff, F., Hofstetter, V., Fraker, E., Grube, M., Hafellner, J., ... & Lutzoni, F. (2006). New insights into classification and evolution of the Lecanoromycetes (Pezizomycotina, Ascomycota) from phylogenetic analyses of three ribosomal RNA-and two protein-coding genes. *Mycologia*, 98(6), 1088-1103.
- Nimis, P. L., & John, V. (1998). A contribution to the lichen flora of Mediterranean Turkey. *Cryptogamie. Bryologie, lichénologie*, 19(1), 35-58.
- Oszyczka, P., Yazici, K., & Aslan, A. (2011). Note on *Cladonia* species (lichenized Ascomycota) from Ardahan province (Turkey). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 80(1).
- Pino-Bodas, R., Burgaz, A. R., Martín, M. P., & Lumbsch, H. T. (2011). Phenotypic plasticity and homoplasly complicate species delimitation in the *Cladonia gracilis* group (Cladoniaceae, Ascomycota). *Organisms Diversity & Evolution*, 11(5), 343-355.

- Raquel, P. B., Burgaz, A. R., Martin, M. P., & Lumbsch, H. T. (2012). Species delimitations in the *Cladonia cariosa* group (Cladoniaceae, Ascomycota). *The Lichenologist*, 44(1), 121-135.
- Raquel, P. B., Martin, M. P., Burgaz, A. R., (2010). Insight into the *Cladonia convoluta*-*C. foliacea* (Cladoniaceae, Ascomycota) complex and related species, revealed through morphological, biochemical and phylogenetic analyses. *Systematics Biodiv.*, 8, 575-586.
- Schindler, H. (1998). Beitrag zur Flechtenflora von Westanatolien, Türkei. *Herzogia*, 234-237.
- Smith, C.W., A. Aptroot, B.J., Coppins, A., Fletcher, O.L., Gibert, P.W., James, P.A., Wolseley. (2009). *The Lichens of Great Britain and Ireland*, 1-1046.
- Stenroos, S., Hyvönen, J., Myllys, L., Thell, A., & Ahti, T. (2002). Phylogeny of the genus *Cladonia* s. lat.(Cladoniaceae, Ascomycetes) inferred from molecular, morphological, and chemical data. *Cladistics*, 18(3), 237-278.
- Yazici, K., & Aslan, A. (2007). Lichens and lichenicolous fungi from Bayburt province (Turkey). *Acta Botanica Hungarica*, 49(1-2), 199-213.

“

## Bölüm 14

**ADIYAMAN ŞEHİR MERKEZİ İÇME  
SULARINDA DOĞAL RADYONÜKLİD  
KONSANTRASYONLARININ  
BELİRLENMESİ VE POPÜLASYON  
DOZLARI**

*Mehmet Fatih AYDIN<sup>1</sup>*

*Ömer SÖĞÜT<sup>2</sup>*

”

1 Dr. Öğr. Üyesi, ORCID ID: 0000-0002-3497-9910, Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

2 Prof. Dr., ORCID: 0000-0003-1987-116, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Fakültesi

\* Bu çalışma Mehmet Fatih AYDIN'a ait “Adıyaman Şehir Merkezinin Doğal Radyoaktivite Düzeyinin Belirlenmesi” adlı doktora tezinden üretilmiştir.

## 1. GİRİŞ

Radyasyon insanlık için ölümcül olmasının yanında, aynı zamanda bir yaşam kaynağıdır. Çünkü günümüz dünyasında kullandığımız teknolojik cihazların tamamı belirli oranlarda radyasyon yayarak insan sağlığını olumsuz etkilemelerine rağmen  $\alpha$ -ışınları ve  $\gamma$ -ışınları gibi iyonize radyasyon kaynakları tıp alanında teşhis ve tedavi amaçlı olarak kullanıldıkları için vazgeçmemiz mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte, iyonize olmayan radyasyon bölgesinde radyasyon yayan, bilgisayarlar, cep telefonları, mikrodalga fırınları gibi cihazlar da insanoğlunun sanki eli ve kolu gibi vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

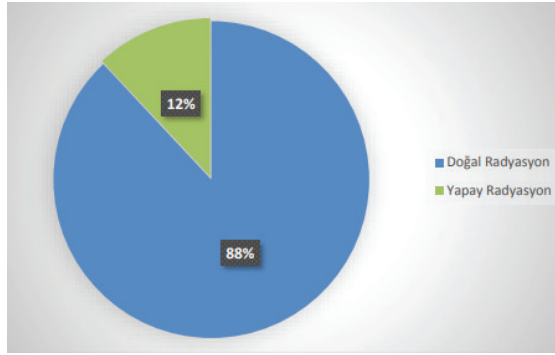
Alman kimyacı Martin Klaproth tarafından 1789 yılında uranyumun, 1896 yılında Fransız fizikçi Henry Becquerel'in radyoaktiviteyi keşfetmesi ve sonraki yıllarda maddenin yapısı ile ilgili yapılan çalışmalar nükleer fiziğin ortaya çıkmasına neden olmuştur. 20.yy başlarında ilk dedektörlerin geliştirilmesi ve 1940'lı yıllarda hassas ölçümlerin öneminin ortaya çıkması ilk sintilasyon dedektörleri ortaya çıkardı. Radyoaktivite ölçüm cihazlarının geliştirilmesi ile radyoaktif maddeler ve radyasyon, tıp, biyoloji, veterinerlik, endüstri, tarım, enerji ve askeri alanlarda oldukça geniş alanlarda kullanılmıştır. Bununla beraber radyasyon yayımlayıcısı olan radyonüklitlerin birçok uygulama alanlarının olmasına rağmen radyonüklitler tarafından yayımlanan radyasyonların ve  $\alpha$ -ışınlarının biyolojik olarak canlılar üzerinde ciddi tahribatlara neden olduğu anlaşılmıştır. Radyasyona maruz kalmanın en önemli ölçüsü alınan doz miktarıdır. Bundan dolayı insanların radyasyondan ne kadar etkilendiklerinin bilinmesi aldıkları doz miktarının ne kadar olduğu bilinmelidir.

Radyasyondan alınan doz düzeyinin hesaplanabilmesi için, öncelikle doğal radyoaktivite konsantrasyonlarının bilinmesi gerekir. Bir bölgenin veya bir yerin doğal radyoaktivitesinin hesaplanması demek, o bölgenin veya yerin radyolojik açıdan incelenmesi, yani, o bölgenin veya yerin toprağında, suyunda ve havasında bulunan doğal radyoaktivite düzeyinin belirlenmesi demektir (Karahan, 1997). Doğal radyoaktivite temel seviye değerlerinin en önemli faktörü, yer yüzeyinin jeolojik ve kimyasal yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin, volkanik kayalarda bulunan doğal radyasyon konsantrasyonu, tortul kayalardaki doğal radyasyon konsantrasyonundan daha fazladır. Ayrıca deniz seviyesinden yükseklere çıkıldıkça ya da ekvatoradan kutuplara doğru gidildikçe kozmik ışınların şiddeti arttığından doğal radyasyon konsantrasyonu da artmaktadır (Eisenbud, 1963).

Şekil 1'de görüldüğü gibi yerkürede insanoğlunun yaklaşık olarak maruz kaldığı radyasyonun % 85'lik kısmı doğal radyonüklitlerden kaynaklıdır. Bu doğal kaynaklı radyasyonun da neredeyse % 50'lik kısmı,

uranyum ( $^{238}\text{U}$ ) serisinin içerisinde yer alan radyum ( $^{226}\text{Ra}$ ) elementinin bozunmasından oluşan radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) gazı kaynaklıdır (IAEA, 1996). Normal bir bölge için doğal radyasyon kaynaklarından alınan ortalama yıllık etkin doz eşdeğerleri ile yapay radyasyon kaynaklarından alınan ortalama değerler Tablo 1.2’de gösterilmektedir. Tablo 1.1’de görüldüğü gibi insanlar, nükleer enerji, tıp, endüstriyel uygulamalar ve tüketim ürünleri (bilgisayar, televizyon v.b) gibi yapay radyasyon kaynaklarından yılda ortalama olarak 0.6 mSv’lik, doğal radyasyon kaynaklarından ise normal bir bölgede, yılda ortalama olarak 2.4 mSv’lik etkin eşdeğer doz almaktadır (UNSCEAR, 1988).

Doğal radyoaktif çekirdekler, büyük patlamadan sonra yıldızların oluşumu sırasında açığa çıktıkları varsayılan birincil radyoaktif çekirdekler (Tablo 1.2) ve büyük oranda atmosferde üretilen kozmik çekirdekler (Tablo 1.3) olmak üzere iki ayrı grupta incelenebilir. Doğada kararlı olarak bulunan izotoplar da hızlandırıcılarda veya nükleer reaktörlerde yapay yollarla kararsız (radyoaktif) çekirdekler (Tablo 1.4) haline getirilebilirler. Radyoaktif duruma gelen çekirdek parçalanmaya uğrar. Bu olay ise yapay radyoaktivite olarak adlandırılır (Çelebi, 1995).



Şekil 1.1 Dünya üzerindeki radyasyon kaynaklarının dağılımı (IAEA, 1996)

Tablo 1.1. Normal bir bölge için doğal radyasyon kaynaklarından alınan ortalama yıllık etkin doz eşdeğerleri (UNSCEAR, 1988)

Işınlama Kaynakları	Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri ( $\mu\text{Sv}/\text{yıl}$ )		
	Dış Işınlama	İç Işınlama	Toplam
Kozmik Işımlar:			
İyonlaştırıcı Bileşenleri	300		370
Nötron Bileşenleri	55		
Kozmogonik Çekirdekler			
$^{40}\text{U}$	150	180	330
$^{87}\text{Rb}$		6	6

<sup>238</sup> U				
<sup>238</sup> U	<sup>234</sup> U		5	
<sup>230</sup> Th			7	
<sup>226</sup> Ra		100	7	1340
<sup>222</sup> Rn	<sup>214</sup> Po		1100	
<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po		120	
<sup>232</sup> Th				
<sup>232</sup> Th		160	3	
<sup>228</sup> Ra	<sup>224</sup> Ra		13	340
<sup>220</sup> Rn	<sup>208</sup> Tl		160	
Toplam		800	1600	2400
Yapay Kaynaklar				600

Tablo 1.2. Başlıca birincil radyoaktif çekirdekler (IAEA, 1989)

Çekirdek	Yarı Ömür (yıl)	Yayılan Radyasyon
<sup>232</sup> Th	$1.4 \times 10^{10}$	$\alpha$
<sup>238</sup> U	$4.5 \times 10^9$	$\alpha$
<sup>235</sup> U	$7.0 \times 10^8$	$\alpha, \gamma$
<sup>40</sup> K	$1.3 \times 10^9$	$\beta, \gamma$
<sup>87</sup> Rb	$4.7 \times 10^{10}$	$\beta$

Doğal radyoaktif elementler genel olarak, uzay ve kara kökenli olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Ayrıca uzaydan gelen kozmik ışınların dünya atmosferinde bulunan gazlar ve yer kabuğu orijinli bazı radyoaktif çekirdeklerle reaksiyonuna girmeleri sonucu oluşan bazı radyoaktif izotoplar bulunmaktadır. Bunların en önemlileri <sup>14</sup>C ve <sup>3</sup>H'tür (Çelebi, 1995).

Ağır elementlerden oluşan doğal radyoaktif izotoplar 3 seri altında toplanırlar:

- Uranyum serisi (<sup>238</sup>U kaynaklı)
- Toryum serisi (<sup>232</sup>Th kaynaklı)
- Aktinyum serisi (<sup>235</sup>U kaynaklı)

Tablo 1.3. Kozmik radyoaktif çekirdekler (IAEA, 1989)

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayılan Radyasyon
<sup>3</sup> H	12.4 (yıl)	$\beta$
<sup>7</sup> Be	53 (gün)	$\gamma$

<sup>10</sup> Be	2.7x10 <sup>6</sup> (yıl)	β
<sup>14</sup> C	5730 (yıl)	β
<sup>35</sup> S	88 (gün)	β
<sup>36</sup> Cl	3.0x10 <sup>15</sup> (yıl)	β
<sup>39</sup> Ar	269 (yıl)	β

*Tablo 1.4. Bazı yapay radyoaktif çekirdekler (IAEA, 1989)*

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayılan Radyasyon
<sup>60</sup> Co	5.3 (yıl)	β, γ
<sup>65</sup> Zn	244 (gün)	β
<sup>90</sup> Sr	29 (yıl)	β
<sup>90</sup> Y	64 (saat)	γ
<sup>125</sup> I	60 (gün)	χ
<sup>134</sup> Cs	2.1(yıl)	β, γ
<sup>137</sup> Cs	30 (yıl)	β, γ
<sup>239</sup> Pu	2.4x10 <sup>2</sup> (yıl)	α, γ
<sup>241</sup> Am	432 (yıl)	α, γ

Sulardaki doğal radyoaktivite belirleme çalışmaları ilk olarak kaplıca suları ile başlamıştır. Daha sonraki yıllarda yeraltı suları ve içme suları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda yeraltı sularında ve içme sularında da radyoaktif elementlerin bulunduğunu göstermiştir. Ancak içme sularındaki radyonüklid konsantrasyonlarının önemli seviyelerde olmadığını göstermiştir. Yeraltı suları farklı konsantrasyonlarda <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th grubundan olan radyoaktif elementler içermektedirler (Duenas et al., 1993). Bu sularda; uranyum serilerinden olan <sup>226</sup>Ra, <sup>223</sup>Ra ve <sup>222</sup>Rn izotoplarının ve toryum serisinden olan <sup>224</sup>Ra ve <sup>228</sup>Ra gibi radyoaktif izotopların bulunma olasılıkları çok yüksektir. Bu radyoaktif elementlerin konsantrasyon miktarları ortamda bulunan kayaların türlerine, yeraltı sularının reaksiyona girme kabiliyetlerine ve farklı türdeki kayaların istikrarları gibi etkenlere bağlıdır (Cothorn, 1987; Gilkeson & Cowart, 1987;

King et al., 1982). Sularda çözülmüş uranyum serisine ait dört tür radyoaktif izotop bulunur. Bunlar;  $^{238}\text{U}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ve  $^{222}\text{Rn}$ 'dir. Bu radyoaktif izotoplardan en önemlisi alfa parçacıkları yayınlamak üzere azalan ve  $4.5 \times 10^9$  yıl yarılanma ömrüne sahip olan  $^{238}\text{U}$ 'dir. Bu radyoaktif izotopun diğerlerine göre daha önemli olmasının nedeni, uzun yarılanma ömrüne sahip olması ve canlılar için çok tehlikeli olan alfa radyasyonu yayınlamak üzere azalmasıdır. Bu radyoizotoplardan 1622 yıl gibi uzun bir yarılanma ömrüne sahip olan  $^{226}\text{Ra}$ 'da,  $^{238}\text{U}$  alfa radyasyonu yayınlamak üzere azalır ve kaya oyukları içerisinde geçerek yeraltı sularına difüzyon yoluyla geçebilme kabiliyetine sahiptir (Olguin et al., 1993).  $^{222}\text{Rn}$  radyoaktif izotopu ise 3.825 gün yarılanma ömrüne sahip olup,  $^{235}\text{U}$  serisine dâhil olan ve doğal uranyumda %0.7 oranında bulunan  $^{223}\text{Ra}$  gibi alfa radyasyonu yayınlamak üzere azalır. Ayrıca toryum serisinde olan  $^{228}\text{Ra}$  ve  $^{224}\text{Ra}$  radyoaktif izotopları ise beta radyasyonu yayınlamak üzere bozunurlar (Duenas et al., 1993).

Yeraltı sularının yüzey sularından daha radyoaktif olması, içinden geçtikleri veya temas ettikleri radyoaktif kütleler veya minerallerden ileri gelmektedir. Genellikle volkanik kütleler içinden geçen suların radyoaktivite konsantrasyonları, tortul kütleler içinden geçen sulara göre nispeten daha yüksektir. Sularda en fazla uranyum ailesi elemanları bulunmaktadır. Suyun doğal radyoaktivitesinin hemen hemen tamamını radyum ve bozunma ürünleri ile  $^{238}\text{U}$  oluşturmaktadır.  $^{226}\text{Ra}$ 'nın bozunma ürünü olan radyoaktif radon, bazı yeraltı sularında oldukça yüksek konsantrasyonlar da bulunmaktadır. Yeraltı sularında aktinyum ailesi elemanlarını tespit etmek imkânsız gibidir. Toryum ailesinden  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{228}\text{Ra}$  bazı sularda algılanabilecek miktarlarda bulunmasına rağmen bu aileden olan  $^{220}\text{Rn}$ 'in çok kısa yarı ömre sahip olması su ve kayalarda birikmesine imkân vermemektedir. Bazı değişik kaynakların içlebilen sulardaki radyonüklid içerikleri Tablo 1.5'de verilmektedir (UNSCEAR, 1993).

Çözünürlük, taşıyıcılık ve değişik radyonüklidleri çöktürme gibi farklı karakteristik özellikler, sulardaki radyoaktiviteyi arttırmaktadır. Yüzey sularında akı hızlarının güçlü olması nedeniyle, içinde asılı bulunan parçacıklardaki potasyum, rubidyum, kozmik ışın kökenli ve suni radyonüklidleri barındıran kil mineralleri kolayca taşınmaktadır (Sayre et al., 1993).

Nükleer teknolojinin gelişmesi ile yapılan nükleer silah denemeleri atmosfer ve stratosfere kadar çıkan  $^{90}\text{Sr}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  gibi radyoaktif fisyon ürünleri ile kirlenmiş olan bulutların, radyoaktif serpinti halinde zamanla yeryüzüne inerek, çevrenin ve özellikle yüzey sularının kirlenmesine yol açmaktadır. Nükleer silah denemelerinin havada yapılmasının yasaklanmasından sonra, radyoaktif yağışlar 1970 yılından itibaren azalmaya başlamıştır. Nükleer ve radyolojik kuruluşlardan çıkan radyoaktif atıklar için gerekli önlemlerin alınmaması, bunların kontrolsüz olarak çevreye veril-



mesi ve kaza durumlarında radyoaktif sızıntı meydana gelmesi ile doğanın radyoaktif olarak kirlenmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda içme suyu kaynaklarında radyoaktif kirlilik oluşmaktadır (Kam, 2004).

Radyasyonun insan vücudunda ışınmasından dolayı insan sağlığı üzerinde bilinen birçok zararlı etkisi vardır. Bu etkiler; radyasyon yanıkları, genetik bozukluklar, doğal yaşam süresinin kısalması ve kanser başta olmak üzere radyasyon kaynaklı hastalıklardır (ICRP, 1993). Vücuda giren radyasyon, molekülleri uyararak, vücut içinde çeşitli iyonlaşmalara neden olur. Bu fiziksel etki hızla gelişir ve yaklaşık  $10^{-15}$  s'den daha kısa sürer. Bu etkiyi, insan vücudunda meydana gelen ve  $10^{-6}$  s süren kimyasal süreç takip eder. Bu sıralamayı takiben biyolojik değişimi içeren ileri etkileşmeler başlar. Sonuç olarak, vücuda girmiş olan radyasyon 1 s'den daha kısa bir sürede molekülleri uyarır. Böylece vücutta biyolojik, kimyasal ve fizikseldeğişimlerin oluşmasına neden olur. Vücuda giren tahrip edici radyasyon genetik etkiler oluşturması ve bundan dolayı bir takım rahatsızlıkların görülmesi için uzun bir süre geçmesi gerekir. Radyasyona bağlı oluşan hastalıklar için gizli bir karakteristik süreç vardır. Örneğin bu süreç, kemik kanseri ve lösemi için en az 2 yıl gibi bir gizlilik süreci gösterirken, vücutta bir tümör kitlesinin oluşumu için bu süreç 10 yıla kadar çıkabilir (Cohen, 1996).

*Tablo 1.5. Değişik kaynakların içilebilir sularındaki bazı doğal karasal radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları (UNSCEAR, 1993)*

Kaynak	Ülke	Radyonüklid	Aktivite Konsantrasyonu (mBq/L)		
			Dağılım	Aritmetik Ort.	Geometrik Ort.
	Brezilya	<sup>226</sup> Ra	< 10-130		27
		<sup>210</sup> Pb	< 50-190		77
	Fransa	<sup>226</sup> Ra	> 2700	60	
		<sup>238</sup> U	> 2000	60	
		<sup>232</sup> Th	---	< 40	
		<sup>226</sup> Ra	< 1-1800		25
Şişe Suları	Almanya	<sup>238</sup> U	< 1-140		4.4
		<sup>210</sup> Pb	3.3-53		9
		<sup>210</sup> Po	0.4-8.9		1.8
		<sup>226</sup> Ra	< 1-60	22	
	Portekiz	<sup>226</sup> Ra	< 3-2185		26.7
		<sup>210</sup> Pb	2-392		18.5

Yeraltı Suları	Finlandiya	$^{226}\text{Ra}$	> 5300	440	
		$^{238}\text{U}$	> 74000	4200	
		$^{210}\text{Pb}$	> 10200	430	
		$^{210}\text{Po}$	> 6300	220	
	İsveç	$^{226}\text{Ra}$	2-2460	42	13.7

## 2. MATERYAL VE METOT

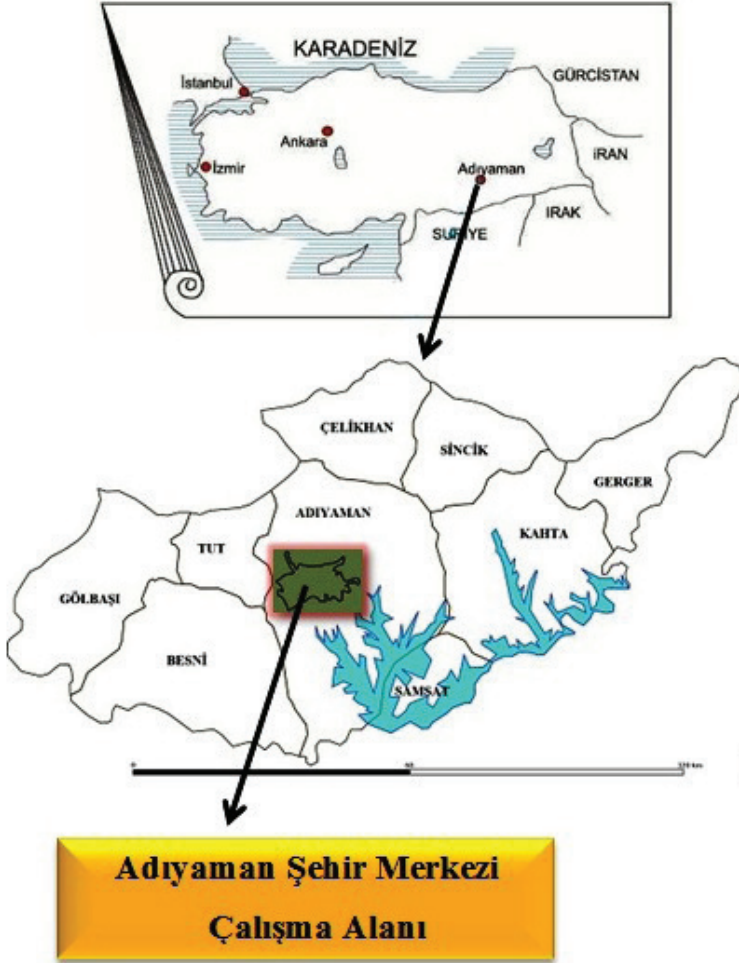
### 2.1 Çalışma Sahası

Adıyaman il merkezi  $37^{\circ}45'$  kuzey enlemiyle  $38^{\circ}16'$  doğu boylamında yer alır. Adıyaman'ın denizden yüksekliği 672m dir. Doğusunda Diyarbakır, kuzeyinde Malatya, batısında Kahramanmaraş, Güneyinde Gaziantep ve Şanlıurfa illeri vardır. İlin kuzey kesimi genel anlamda dağlık ve engebeli iken güney kesiminde geniş ovalar bulunur. Çalışma sahasını gösteren bir harita Şekil 2.1'de verilmiştir (adiyaman.gov.tr, 2022).

### 2.2. Adıyaman İli Jeomorfolojik Yapısı

Adıyaman ili, Kuzeyde yer alan son derece kıvrımlı Toros sıra dağları ile güneyde ise Gaziantep ve Şanlıurfa illerinin son derece düz alanları arasında yer alır. Tektonik intikal kuşağında bulunan Adıyaman ilinde, fazla kıvrımlara az ama geniş düzlüklere kuzey hariç çok rastlanır. Adıyaman il merkezi verimli düz tarıma elverişli alüvyon topraklardan oluşmaktadır. Adıyaman ili jeolojik yapısı, alt kretase yaşlı kireçtaşı bulunmaktadır. Bu kireçtaşları, yarı kristalize ve dolomitiktir. Bu birim üzerinde paleosen-alt eosen yaşlı germav formasyonu yer alır. Tebeşirimsi marn ile temsil edilen bu formasyon üzerinde ise, eosen yaşlı midyat kireçtaşları bulunmaktadır. Midyat Kireçtaşları üzerinde ise, alanın güneyine doğru vadi yamaçlarında görülen üst miyosen yaşlı tortullar gelmektedir. Eğri Çayının getirdiği malzemenin oluşturduğu alüvyon bu akarsu boyunca yer almaktadır (Adıyaman Governorship, 2011).

Genel toprak yapısı iklim, topografya ve ana madde farklılıkları nedeniyle Adıyaman'da değişik topraklar oluşmuştur. Bu değişik toprakların yanı sıra, toprak örtüsünden yoksun bazı arazi tipleri de bulunmaktadır. İlin genel toprak yapısı  $\frac{3}{4}$  oranında killi-tınlıdır. Nehir ve çay kenarlarında alüvyonlu sahalara da rastlanmaktadır. İklim, topoğrafya ve ana kayaç farklılıkları nedeniyle Adıyaman'da değişik topraklar oluşmuştur. Bu değişik toprakların yanı sıra toprak örtüsünden yoksun bazı arazi tipleri de bulunmaktadır. Adıyaman il merkezinde gözlenen toprak tipleri kolüvyal topraklar, kireçsiz kahverengi orman toprakları, kahverengi topraklar ve kırmızımsı kahverengi toprak türleridir (KHGM, 1984).



Şekil 2.1 Çalışma Sahası

### 2.3. Numunelerin Toplanması

Bu çalışmada, Adiyaman şehir merkezi içme sularının doğal radyoaktivite seviyelerini belirlemek için su numuneleri, evlerden, çeşmelerden, su depolarından ve şehir merkezine su sağlayan kaynaklarından alınmıştır. Doğal radyoaktivite seviyesinin belirlenmesinde, numunelerin toplanması ve hazırlanması işlemleri, deneysel çalışmaların önemli bir aşaması olup, deney sistemlerine uygun şekilde yapılması gerekmektedir.

### 2.4. Su Numunelerinin Sayıma Hazır Hale Getirilmesi

Adiyaman şehir merkezinin içme sularında doğal radyoaktivite seviyesini belirlemek için çalışma sahasından alınan örnekler ölçüm işlemine başlamadan önce çeşitli işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir.

Sulardaki radyoaktivite seviyeleri insan sağlığı açısından olduğundan, Adıyaman şehir merkezinde yaşayan insanların almış oldukları radyoaktif doz oranının belirlenmesi önem arz etmektedir. Su numuneleri, Adıyaman şehir merkezine su sağlayan Havşerin ve Gürlevik su kaynaklarından, şehir merkezi ana su deposundan, evlerdeki musluklardan, sokak çeşmelerinden ve günümüzde halk tarafından halen kullanılmakta olan ören mahallesindeki tarihi yaklaşık 2000 yılı bulan roma çeşmesinden alınmıştır. Çalışma alanı olarak belirlenen bölgede toplam 25 adet su numunesi alınmıştır. Kaynaktan numune almadan önce su bir süre dışarı akıtılmaya bırakılarak temiz su numunesi elde edilmiştir. Temiz su elde edildikten sonra şişe su ile çalkalanarak ağzına kadar boşluk kalmayacak şekilde doldurulmuş ve radon gazı kaçışını önlemek için şişenin kapağı su akışı altında sıkıca kapatılmıştır. Alınan su numuneleri, önceden distilize edilmiş ve etiketlenmiş olan 500 mL'lik pet şişelere konulmuştur.

Su numunelerindeki doğal radyonüklid konsantrasyonlarının belirlenmesi için, alınan su numuneleri Sinop Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Merkezi (SUBİTAM) Nükleer Araştırma Laboratuvarına götürülmüştür. Numuneler burada, etiketlenmiş ve sterilize edilmiş olan 500 mL'lik marinelli sayım kaplarına konularak, ağzı dışarıdan hava girmeyecek şekilde kapatılmıştır. Numuneler, su içerisinde bulunan,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  ile radyoaktif dengeye gelmeleri için 1 ay süreyle bekletilmiştir. Bu süre sonunda örneklerin analizleri gama spektrometre cihazında yapılmıştır.

## 2.5. Kullanılan Sayım Sistemi

### 2.5.1. Gama Spektrometresi ile Radyoaktivite Ölçümleri

Gama ışını spektrometresi, jeolojik, jeokimyasal, çevresel radyoaktif haritalamada, toprak haritalamada, maden sahalarının keşfinde, karasal radyasyon doz değerlerinin belirlenmesinde, radyoaktif kirlilik bakımından tehlikeli bölgelerin belirlenmesinde, nükleer kaza sonucunda oluşan radyoaktif serpintilerin haritalanmasında kullanılabilen bir tekniktir.

Yaptığımız deneysel çalışmalarda su numunelerinin gama spektrometrik analizleri, yüksek saflıkta HpGe (Ortec, GEM40P4) germanyum dedektör (Hyper Pure Germanium Detector) sistemi kullanılmıştır. Şekil 2.2'de radyonüklid ölçüm işlemlerini gerçekleştirdiğimiz gama spektrometre sisteminin genel görünüşü verilmiştir.

Yarı iletken dedektörlerin bir çeşidi olan HpGe dedektörlerinde safsızlığın az ve direncin yüksek olması nedeniyle çözme gücü çok yüksektir. HpGe dedektörlerinin diğer bir avantajı da besleme gerilimi uygulanmadığı zaman oda sıcaklığında tutulabilir olmasıdır. Dezavantajı ise çalışırken dedektörün sıvı azot sıcaklığında tutma zorunluluğudur. Radyonüklid

ölçümlerinde kullandığımız HpGe dedektörü, p-tipi, koaksiyel, 10 cm kalınlığında kurşun zırh ile kaplanmış ve  $^{137}\text{Cs}$ 'nin 1332.5 keV'de 1.85 keV enerji ayırma gücüne ve %40 bağlı verime sahiptir.

Gama spektrometresi, dedektör, önyükseltiç (preamplifikatör), spektroskopik yükseltici, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi ve çok kanallı analizörden (MCA) oluşmaktadır.

Dedektörde iyi bir enerji çözümlemesi elde edebilmek için dedektör sıvı azot sıcaklığında (-196 °C) tutulmaktadır. Kozmik ışıklardan ve ortamdaki kaynaklanan doğal fonun dedektöre ulaşmasını engellemek için dedektör, 10 cm kalınlığında kurşun zırh içinde bulunmaktadır. HpGe dedektörü, dikey eksenli, 30 L'lik sıvı azot kabına monte edilmiş, dedektör etrafına 1 L'lik Marinelli kaplarının sığabileceği ve 40 cm iç boşluk bırakılmış şekilde kurşunla zırhlanmış olarak yapılmıştır. Bu yöntemde, 40 keV enerji aralığında gama ışını yayınlayan radyoizotoplar herhangi bir ön işlem uygulamaksızın, genellikle örnek matrisinden (hava, su, toprak, sediment, bitki, bitkisel ve hayvansal gıdalar vb. gibi birçok çevre ve biyolojik örnek) ayrılmalarına gerek kalmaksızın doğrudan gama spektrometresi ile tayin edilir (Gilmore, 1988).

Hazırlanan numunelerin sayım geometrisi, analiz edilecek numunenin fiziksel durumuna, miktarına, aktivitesine ve tayin sınırına bağlı olarak çeşitli ölçüm kapları, marinelli kapları veya değişik çap ve kalınlıkta preslenmiş diskler olabilir. Numuneler, kurşun zırh ile çevrili odacıkta, belirli bir sayım geometrisinde, sayım verimini artırmak amacıyla dedektöre olabildiğince yakın konumda sayılır. Sayım süresi; ölçüm sisteminde doğal yüzey sayımına, örneğin aktivitesine, ilgilenilen radyoizotopa ve istenilen tayin duyarlılığına bağlıdır. Kullanılan geometri için dedektörün sayım verimi, örnek yoğunluğu ve enerjisinin fonksiyonu olarak bulunmalıdır. Gama enerjisi ile sayım veriminin değişimine ilişkin bilgiler ve doğal yüzey spektrumlarının da hazır olması gereklidir.  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  gibi radyoaktif standartlar kullanılarak gama spektrometresinin kalibrasyonu belirli aralıklarla yapılır. Bu çalışmada 500 mL marinelli kaplar kullanılarak su numuneleri için 30.000 saniye sayım yapılmıştır.



Şekil 2.2. Gama spektrometre cihazı

### 2.5.2. Enerji Kalibrasyonu

Enerji kalibrasyonu belli bir kazanç (gain) değeri için spektrumda gözlenen piklerin buldukları kanal ile ait oldukları enerji arasındaki bağıntının bulunmasını sağlar. Dedektör sisteminin belli bir kazançtaki (gain) enerji kalibrasyonu [kanal vs. gama enerjisi], belirlenen radyoaktif kaynaklardan yayılan gama ışınlarına ait tam enerji fotopik kanal numaralarının tayin edilmesidir.

Enerji kalibrasyonunun yapılabilmesi için önceden enerjileri bilinen standart kaynaklara ihtiyaç vardır. Çünkü gama spektroskopisinde spektrumların analiz edilebilmeleri için, hangi kanalın hangi enerji aralığına karşılık geldiği bilinmelidir. Enerji kalibrasyonu için enerjileri 80–1900 keV arasında değişen  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{88}\text{Y}$  ve  $^{60}\text{Co}$ 'ın piklerini içeren standart nokta kaynaklar kullanıldı. Tablo 2.1'de enerji kalibrasyonunda kullanılan kaynaklar ile enerjileri ve Şekil 2.3'te Enerji-Kanal grafiği verilmiştir.

### 2.5.3. Verim Kalibrasyonu

Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı olarak tanımlanır. Dedektörün verimi ölçüm sisteminin geometrisine bağlıdır. Bu nedenle verim tayininde ölçülecek örneklerle aynı geometride çok enerjili standart kaynakların kullanımı tercih edilir. Örnek ve kaynak geometrileri farklı olursa verim düzeltilmesi yapılmalıdır. Dedektör veriminin tayin etmek için standart kaynaklara ihtiyaç vardır. Dedektör verimliliğini etkileyen faktörler;

- Dedektörün kendisinden kaynaklanan etkileri
- Kaynak-dedektör geometrisinin etkilerini
- Dedektör çevresindeki madde ve malzemelerin etkilerini
- Kaynak maddesindeki öz-soğurma (self-absorbsiyon) etkisini kapsar.

Belirli bir enerjilerdeki dedektör verimi denklem 2.1 kullanılarak hesaplanır.

$$\varepsilon = \frac{N}{A \cdot I_V (\%)} \quad (2.1)$$

denklemden  $\varepsilon$ ; HPGe dedektörünün ilgilenilen gama enerjisindeki verimi, N; ilgilenilen enerjideki toplam sayım hızı (sayım/zaman), A; verim kalibrasyonu için kullanılan standart kaynağın ölçüm anındaki aktivitesi (boz/s),  $I_V$  (%); gama ışınının bolluğu'dur. Gama spektroskopisi ölçümlerinde kullanılan HpGe dedektörüne ait verim kalibrasyon eğrisi Şekil 2.4'te verilmiştir.

Şekil 3.5'te verilen enerji – verim eğrisinin eğimine ait denklem aşağıdaki gibidir.

$$y(\mathcal{E}) = y_0 + A_1 e^{-\left(\frac{x(\mathcal{E})}{t_1}\right)} \quad (2.2)$$

denklem (2.2)'de;  $y_0$ ,  $A_1$  ve  $t_1$  değerleri sabit değerler olup,

$$y_0 = 0.00660899$$

$$A_1 = 0.03699917$$

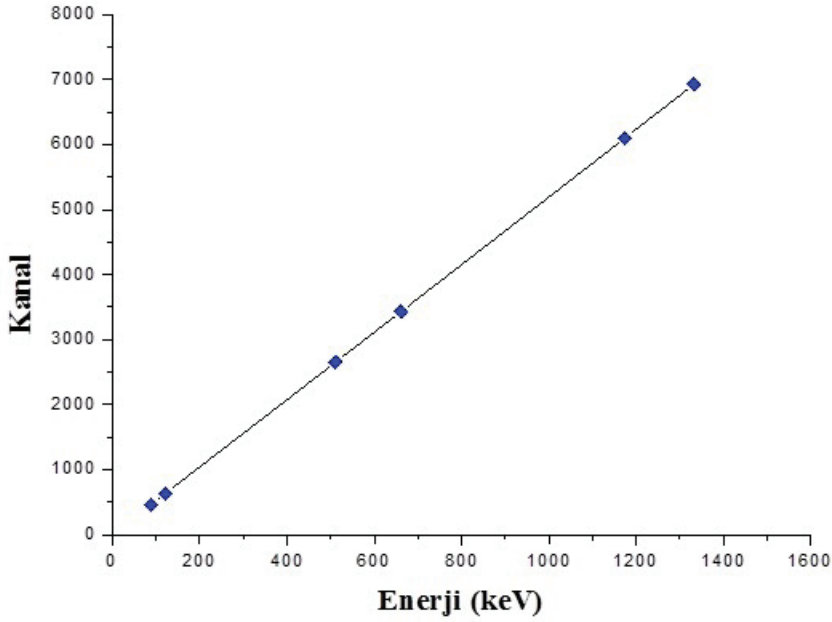
$$t_1 = 467.52051136$$

değerlerine sahiptir. Bu verim eğrisine ait fit değeri;

$$R^2 = 0.99662935 \text{ 'dir.}$$

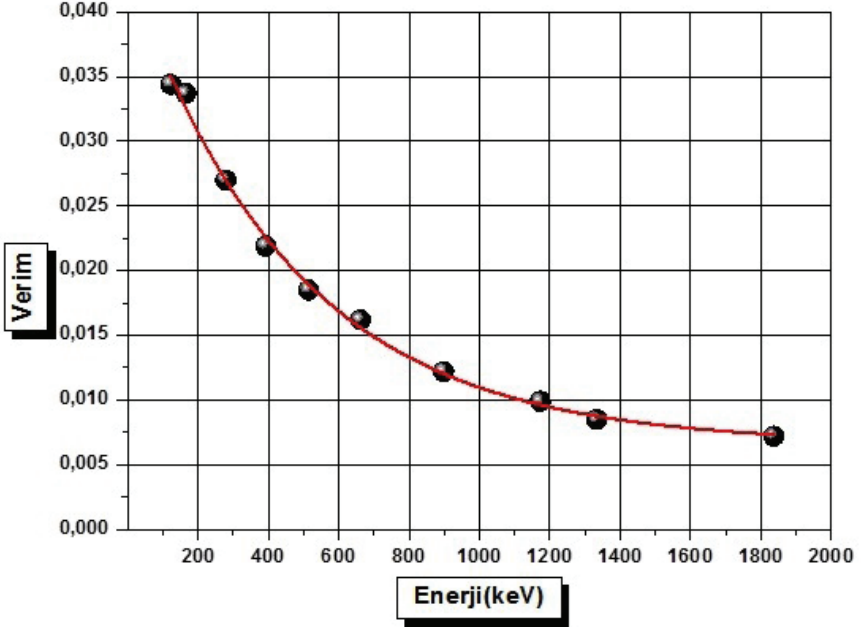
Tablo 2.1. Enerji kalibrasyonunda kullanılan kaynaklar ve enerjileri

İzotoplar	Enerji (keV)	Yarı ömür	Bolluk (%)
<sup>109</sup> Cd	88	462.6	3.63
<sup>57</sup> Co	122	271.79	85.6
<sup>139</sup> Ce	166	137.64	79.9
<sup>203</sup> Hg	279	46.595	81.5
<sup>113</sup> Sn	392	115.09	64.9
<sup>85</sup> Sr	514	64.849	98.4
<sup>137</sup> Cs	662	11020	85.1
<sup>88</sup> Y	898	106.63	94
<sup>60</sup> Co	1173	1925.5	99.86
<sup>60</sup> Co	1333	1925.5	99.98
<sup>88</sup> Y	1836	106.63	99.4



Şekil 2.3. Enerji-Kanal grafiği





Şekil 2.4. Enerji – Verim eğrisi

## 2.6. Numunelerden Spektrumların Alınması ve Aktivite Konsantrasyonlarının Hesaplanması

Numunelerde radyoaktif dengenin sağlanması için bir aylık bekleme süresinden sonra ölçümlere geçildi. Sayımlarda kullanılan HpGe dedektörünün besleme voltajı 1600 V'tur. Su numunelerinin sayım süresi 30000 s olarak seçildi. Bu sayım süresi sonunda numunelerden yayınlanan radyoaktif izotoplara ait spektrumlar elde edildi.

Elde edilen spektrumlara bağlı olarak örneklere ait aktivite konsantrasyon değerleri, denklem (2.3) ile hesaplanmıştır.

$$C(\text{Bq/kg}) = \frac{N}{t \cdot \epsilon \cdot w \cdot I} \quad (2.3)$$

Burada; C, aktivite konsantrasyonunu, N, piklerin altında kalan alandan boş sayım (background) sonucu elde ettiğimiz alanın çıkarılmasıyla elde edilen net alanı, t, sayım süresini,  $\epsilon$ , dedektör verimini, w, numunenin ağırlığını ve I, izotopun yayılma olasılığını göstermektedir.

## 2.7. Su numunelerinden elde edilen spektrumların değerlendirilmesi

Adıyaman şehir merkezinden alınan 25 adet su numunesi marinelli kaplarında 1 ay bekletilerek radyoaktif denge durumuna ulaşmaları sağlandıktan sonra gama spektrometrik sistemde analizleri yapılmıştır. Su numuneleri gama spektrometre cihazında 30000 saniyelik sürelerle sayım yapılmıştır. Numunelerden elde edilen pikler ile daha önceden yapılmış olan boş kap sayımlarına karşılık gelen doğal pikler çıkarılarak net alanlar elde edilmiştir. Elde edilen net alanlar ile numunelere ait aktivite konsantrasyonu hesaplanmıştır.

Su numunelerinde bulunan  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'ye ait radyoaktivite değerleri, bu radyonüklidlerin bozunum ürünleri olan doğal radyonüklidlerin gama piklerinden elde edilen alanlar ile tayin edilebilmektedir.  $^{238}\text{U}$ 'e ait radyoaktivite konsantrasyonu hesaplanırken bozunum serisi içinde yer alan  $^{214}\text{Pb}$ 'ün 351.9 keV ve  $^{214}\text{Bi}$ 'ün 609.3 keV enerjili piklerinden yararlanılmıştır. Bu iki bozunum ürünü radyonüklide ait aktivite konsantrasyon değerlerinin ortalaması alınarak  $^{238}\text{U}$ 'in aktivite konsantrasyonu hesaplanmıştır.  $^{232}\text{Th}$ 'nin radyoaktivite konsantrasyonu hesaplanırken de bu serideki  $^{208}\text{Tl}$ 'in 583.2 keV enerjili pikinden yararlanılmıştır. Bu bozunum ürününe ait radyonüklid aktivite konsantrasyon değeri baz alınarak  $^{232}\text{Th}$ 'in aktivite konsantrasyonu hesaplanmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Su Numunelerinde $^{238}\text{U}$ ve $^{232}\text{Th}$ Doğal Radyoaktivite Konsantrasyonları

Bu çalışmada, Adıyaman şehir merkezinden alınan su numunelerinde bulunan radyonüklidlere ait doğal radyoaktivite konsantrasyonları deneysel olarak ölçülmüştür Adıyaman şehir merkezine içme suyu kaynağı olarak besleyen iki su kaynağı ile su kaynaklarının toplandığı depolarındaki sulara ve bu depolar tarafından beslenen mahallelerdeki ev ve iş yerlerinden alınan su numunelerinde  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları. Adıyaman şehir merkezine su sağlayan su kaynaklarından biri Adıyaman'ın 56 km kuzeyinde bulunan Havşerin su kaynağı, diğeri ise, Adıyaman'ın kuzeybatısında yer alan Gürlevik su kaynaklarıdır. Havşerin ve Gürlevik su kaynakları ana içme suyu isale hattı ile narlıkuyu su deposunda depolanarak, şehir içme suyu dağıtım şebekesi ile kullanıma sunulmaktadır.

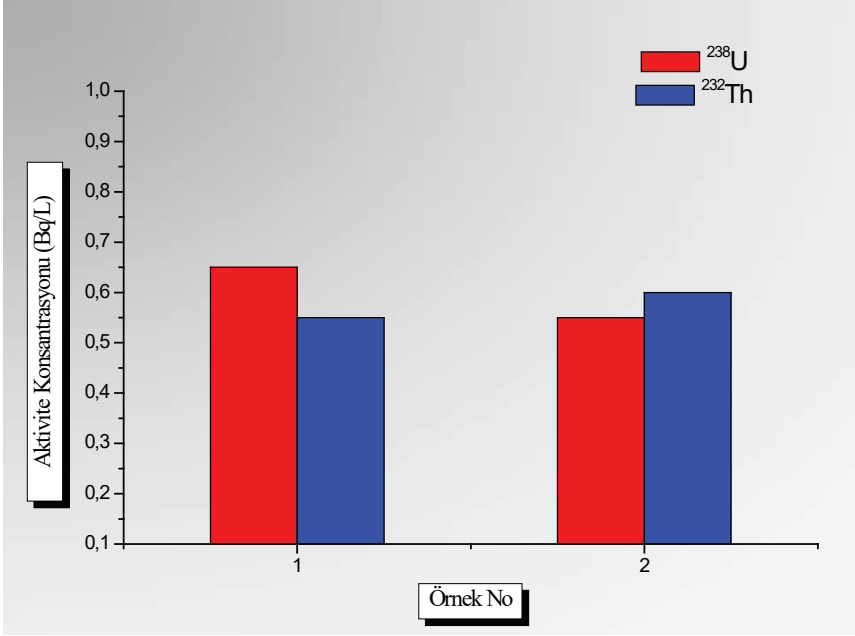
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, içme sularında bulunan  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyonüklidlerinin aktivite konsantrasyon değerleri su kaynakları

için Tablo 3.1 ve Şekil 3.1’de, mahallelerden alınan su numuneleri için ise Tablo 3.2 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1’de görüldüğü gibi, Adıyaman şehir merkezine su sağlayan Havşerin ve Gürlevik su kaynaklarının,  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla,  $0.55\pm 0.08$  Bq/L ve  $0.67\pm 0.08$  Bq/L,  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları ise sırasıyla,  $0.60\pm 0.10$  Bq/L ve  $0.55\pm 0.03$  Bq/L olarak bulunmuştur. Tablo 3.2’de görüldüğü gibi, Adıyaman şehir merkezi su deposundan alınan numunelerde içme suyunun klorlamadan önce alınan su numunelerinde,  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonları sırasıyla,  $0.32\pm 0.10$  Bq/L ve  $0.47\pm 0.11$  Bq/L, klorlandıktan sonra alınan su numunelerinde ise sırasıyla,  $0.35\pm 0.03$  Bq/L ve  $0.43\pm 0.07$  Bq/L olarak bulunmuştur. Evlerden ve iş yerlerinden alınan su numunelerinde  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonu  $0.83\pm 0.07$  Bq/L ile  $0.02\pm 0.01$  Bq/L değerleri arasında değişmekte olup, ortalama aktivite konsantrasyonu  $0.27\pm 0.04$  Bq/L olarak hesaplanmıştır.  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu,  $0.49\pm 0.11$  Bq/L ile  $0.06\pm 0.03$  Bq/L değerleri arasında değişmekte olup, ortalama aktivite konsantrasyonu  $0.24\pm 0.09$  Bq/L olarak hesaplanmıştır.

*Tablo 3.1. Adıyaman şehir merkezi su kaynaklarındaki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonları*

Örnek No	Örnek Alınan Kaynak	Radyonüklid Konsantrasyonu (Bq/L)	
		$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$
1	Gürlevik Su Kaynağı	$0.67\pm 0.08$	$0.55\pm 0.03$
2	Havşerin Su Kaynağı	$0.55\pm 0.08$	$0.60\pm 0.10$



Şekil 3.1. Su kaynaklarında <sup>238</sup>U ve <sup>232</sup>Th aktivite konsantrasyonlarının dağılımları

### 3.2. Su Numunelerinde Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri

Radyasyona maruz kalan bir insanda oluşabilecek zararlı biyolojik etkilerin hesaplanabilmesi açısından, ölçülebilen bir radyasyon dozunun eşdeğerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle halkın ve radyasyonla çalışanların aldığı radyasyon dozu için standartlar, belirli zamanlarla ifade edilirler. Su numunelerinden alınan yıllık etkin doz eşdeğerleri denklem 3.1 ile hesaplanmıştır (Amrani, 2004).

$$D = C_R \times I_A \times E_D \quad (3.1)$$

Burada; D, yıllık etkin doz eşdeğeri (Sv/y) olmak üzere,  $C_R$ , yıllık tüketilen su miktarı (L/y),  $I_A$ , radyonüklidin aktivitesi (Bq/L) ve  $E_D$ , doz katsayısı (Sv/Bq)'dır. Bazı radyoaktif çekirdekler için doz katsayıları Tablo 3.3'te verilmiştir.

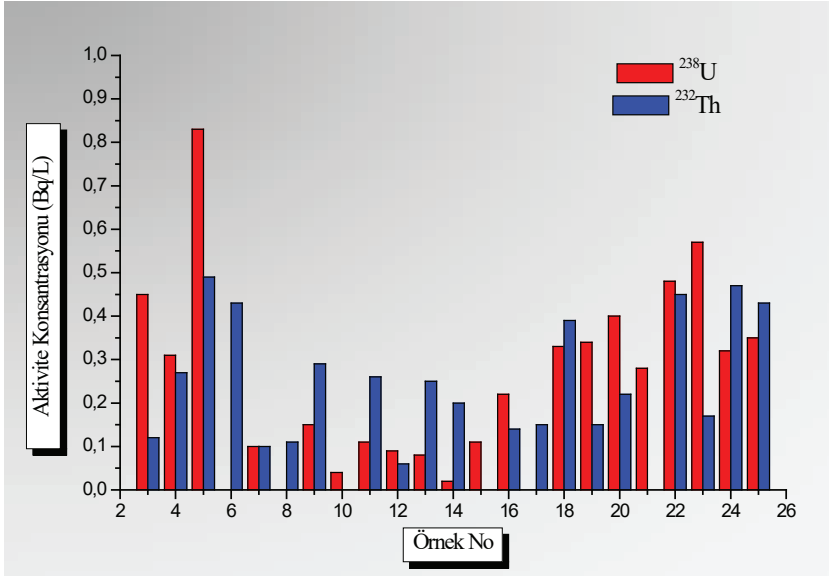
Tablo 3.2. Adıyaman şehir merkezi mahallelerden alınan su örneklerindeki  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyonüklid aktivite konsantrasyonları

Örnek No	Örnek Alınan Mahalle	Radyonüklid Aktivite Konsantrasyonu (Bq/L)	
		$^{238}\text{U}$	$^{238}\text{Th}$
1	Mimar Sinan	0.45±0.06	0.12±0.07
2	Malazgirt	0.31±0.06	0.27±0.07
3	Kayalık	0.83±0.07	0.49±0.11
4	Esentepe	<DL	0.43±0.07
5	Cumhuriyet	0.10±0.01	0.10±0.05
6	Sümerevler	<DL	0.11±0.03
7	İmamağa	0.15±0.04	0.29±0.07
8	Eskisaray	0.04±0.02	<DL
9	Musalla	0.11±0.03	0.26±0.09
10	Bahçecik	0.09±0.02	0.06±0.03
11	Bahçelievler	0.08±0.03	0.25±0.11
12	Sıratut	0.02±0.01	0.20±0.03
13	Yeşilyurt	0.11±0.03	<DL
14	Siteler	0.22±0.01	0.14±0.04
15	Turgut Reis	<DL	0.15±0.03
16	Yunus Emre	0.33±0.05	0.39±0.11
17	Roma Çeşmesi	0.34±0.06	0.15±0.05
18	Ören	0.40±0.06	0.22±0.06
19	Fatih	0.28±0.06	<DL
20	Petrol	0.48±0.03	0.45±0.03
21	Altınşehir	0.57±0.07	0.17±0.03
22	Narlıkuyu Su Deposu(Cl'suz)	0.32±0.10	0.47±0.11
23	Narlıkuyu Su Deposu(Cl'lu)	0.35±0.03	0.43±0.07

<DL: Dedeksiyon Limiti Altında

Tablo3.3. Bazı radyoçekirdeklerin doz katsayıları (WHO, 2003)

Radyoçekirdek	Doz Katsayıları (mSv/Bq)
$^{238}\text{U}$	$4.5 \times 10^{-5}$
$^{232}\text{Th}$	$2.3 \times 10^{-4}$
$^{40}\text{K}$	$6.2 \times 10^{-6}$
$^{226}\text{Ra}$	$2.8 \times 10^{-4}$
$^{228}\text{Ra}$	$6.9 \times 10^{-4}$
$^{134}\text{Cs}$	$1.9 \times 10^{-5}$
$^{137}\text{Cs}$	$1.3 \times 10^{-5}$
$^{131}\text{I}$	$2.2 \times 10^{-5}$
$^{214}\text{Bi}$	$1.1 \times 10^{-7}$
$^{214}\text{Pb}$	$1.4 \times 10^{-7}$

Şekil 3.2. İçme sularında  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonlarının dağılımları

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile denklem 3.1 ve Tablo3.2 dikkate alınır, su örnekleri içinde tespit edilen bazı radyonüklidlerin yıllık etkin eşdeğer doz değerleri hesaplanabilir. Bu hesaplamalarda içme suları için günlük tüketim miktarının yetişkinlerde 2 L, çocuklarda yaklaşık 1 L ve bebeklerde ise yaklaşık 0.75 L olduğu kabul edilmiştir (Chau & Michalec, 2009).

İçme suları için yetişkinler, çocuklar ve bebeklerde tespit edilen yıllık etkin doz eşdeğerleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Elde edilen tüm yıllık etkin doz eşdeğerlerinin WHO'nun belirlediği yıllık etkin doz eşdeğeri için sınıır değer olan 0.1 mSv/yıl'ın çok altında olduğu ve insan sağlığı için bir tehlike arz etmediği anlaşılmaktadır.

*Tablo 3.4. Adıyaman şehir merkezi toprak örneklerindeki radyonüklidler için soğrulan doz hızları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri*

Yaş Grupları	D (Yıllık Etkin Eşdeğer Doz) ( $\mu\text{Sv}/\text{yıl}$ )		Toplam
	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	D (Yıllık Etkin Eşdeğer Doz) ( $\mu\text{Sv}/\text{yıl}$ )
Yetişkinler	8.87	40.2	49.07
Çocuklar	4.43	20.1	24.44
Bebekler	3.33	15.1	18.34

### 3.3. Su Numunelerinde Yaşam Boyu Kanser Riski Değeri

Yıllık etkin doz eşdeğeri ICRP'nin raporlarında verilen denklem 3.2 kullanılarak yaşam boyu kanser riski (YBKR) değeri hesaplanmıştır.

$$\%YBKR = YED \text{ (mSv/y)} \times YS \text{ (y)} \times R_f \text{ (Sv}^{-1}\text{)} \quad (3.2)$$

Burada; YED yıllık etkin doz değerini, YS yaşam süresini (65 yıl) ve  $R_f$  ise Sievert başına ölümcül kanser riskini ( $1/\text{Sv}$ ) ifade eder. ICRP, radyasyonun stokastik etkileri için  $R_f$  değerinin 0.05 olarak alınmasını önermektedir (ICRP, 1990).

Tablo 3.4'e göre, sulardaki radyonüklidlerin yetişkinler için toplam yıllık etkin doz eşdeğeri 49.07  $\mu\text{Sv}/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır. Adıyaman şehir merkezinde yaşayan yetişkinler için yıllık etkin doz eşdeğeri 0.04907 mSv/yıl alınırsa denklem 3.2'ye göre içme sularından kaynaklı yaşam boyu kanser riski (YBKR) değeri %0.1595 olarak hesaplanmıştır.

## 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Adıyaman şehir merkezinde alınan su örnekleri ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, içme sularında  $^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  radyonüklidlerinin ortalama aktivite konsantrasyon değerleri yüksek saflıkta Germanyum (ORTEC) dedektörü kullanılarak belirlendi.

Bu çalışma, Adıyaman şehir merkezi içme sularında doğal fon (temel) radyasyon düzeyinin belirlenmesi açısından temel bir çalışma nite-

liğindedir. Adıyaman şehir merkezinin çeşitli mahallelerinden alınan su numunelerindeki karasal radyonüklidlerden kaynaklanan doğal radyoaktivite düzeylerinin çok yüksek olmadığı ve bu radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonlarının dünya ortalamasının altında olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, Adıyaman şehir merkezinin çeşitli mahallelerinden alınan su numunelerinde ölçülen radyonüklid aktivite konsantrasyon seviyelerinin insan sağlığı açısından tehlikeli olmadığını söyleyebiliriz.

Sonuç olarak; Bu radyasyonlar insan sağlığı için ne kadar zararlı olursa olsun, bütün canlılar gibi insanlarda yaşamlarını ve varlıklarını sürdürebilmek için gerekli olan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için belirli oranlarda radyoaktif maddelerin bulunduğu bu doğal ortamlarda yaşamak zorundadırlar (Örneğin insan vücudu güneşten gelen radyasyonların etkisi ile D vitamini sentezlemektedir). Ancak belirli şartlarda doğal kaynaklardan alınacak olan radyasyon dozunun azaltılması insanların kendi kontrollerinde olmasına rağmen, tamamen korunmaları da mümkün değildir. Bu nedenle, ülkemizde de diğer gelişmiş ülkelerin yaptığı gibi, her şehir için toprakta, suda, çeşitli sebze ve meyvelerde radyonüklid aktivite konsantrasyon ölçümleri ile bina içi ve bina dışı gama ışınlanma doz hızı ölçümleri yapılarak, her bölgeye ait doğal fon (temel) radyasyon haritaları oluşturulmalıdır. Bununla birlikte, oluşturulacak olan bu haritalar o bölgede yaşayanların hangi oranda doğal kaynaklı radyasyonuna maruz kaldıklarının belirlenmesi açısından çok önemlidir. Doğal kaynaklı radyasyonun maruziyet miktarları belirlenirken, insanların içinde bulunduğu coğrafi şartlarla birlikte beslenme alışkanlıkları da dikkate alınmalıdır.



## KAYNAKÇA

- adiyaman.gov.tr. (2022). *Coğrafya*. <http://www.adiyaman.gov.tr/nufus-bilgileri>
- Adıyaman Governorship, P. D. of E. and U. M. (2011). *Adıyaman Province Environmental Status Report 2011*.
- Amrani, D. (2004). Natural radioactivity in Algerian bottled mineral waters. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 252(3), 597–600. <https://doi.org/10.1023/A:1015883610854>
- Çelebi, N. (1995). *Çevresel örneklerde uranyum, radyum ve radon ölçüm tekniklerinin geliştirilmesi* [İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Chau, N. D., & Michalec, B. (2009). Natural radioactivity in bottled natural spring, mineral and therapeutic waters in Poland. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 279(1), 121–129. <https://doi.org/10.1007/s10967-007-7276-6>
- Cohen, B. L. (1996). *Çok Geç Olmadan*. TÜBİTAK YAYINLARI. <https://www.kitapyurdu.com/kitap/cok-gec-olmadan/13701.html>
- Cothern, C. R. (1987). Estimating the Health Risks of Radon in Drinking Water on JSTOR. *American Water Works Association*, 79(4), 153–158. [https://www.jstor.org/stable/41290390#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/41290390#metadata_info_tab_contents)
- Duenas, C., Fernández, M. C., González, J. A., Carretero, J., & Pérez, M. (1993). Ra-226 and Ra-224 in waters in Spain. *Science of The Total Environment*, 39(1–2), 71–79. <https://doi.org/10.1080/02772249109357903>
- Eisenbud, M. (1963). *Environmental Radioactivity* (McGraw-Hill). <https://www.amazon.com/Environmental-Radioactivity-Merril-Eisenbud/dp/B0000CLR2S>
- Gilkeson, R. H., & Cowart, J. B. (1987). Radium, radon and uranium isotopes in groundwater from Cambrian-Ordovician sandstone aquifers in Illinois. *Conference on Radon, Radium, and Other Radioactivity in Ground Water: Hydrogeologic Impact and Application to Indoor Airborne Contamination; Somerset, NJ (USA)*, 403–422. [http://inis.iaea.org/Search/search.aspx?orig\\_q=RN:19076118](http://inis.iaea.org/Search/search.aspx?orig_q=RN:19076118)
- Gilmore, G. R. (1988). *Practical Gamma-ray Spectrometry* (2nd Edition). John Wiley & Sons, Ltd.
- IAEA. (1989). *IAEA Annual Report for 1989* |. <https://www.iaea.org/publications/reports/annual-report-1998>
- IAEA. (1996). *IAEA Annual Report 1996*. <https://www.iaea.org/publications/4721/iaea-yearbook-1996>
- ICRP. (1990). *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60. *Ann. ICRP 21 (1-3)*. <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/icrp-publication-65/book243737>

- ICRP. (1993). *Protection Against Radon-222 at Home and at Work ICRP Publication 65*. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/icrp-publication-65/book243737>
- Kam, E. (2004). *Tekirdağ'ın çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini* [Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/2641>
- Karahan, G. (1997). *İstanbulun çevresel doğal radyoaktivitesinin tayini ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğeri* [İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- KHGM. (1984). *Adıyaman İli Arazi Varlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, İl Rapor No:02*. <https://calistay.adiyaman.bel.tr/CalistayOzeti.pdf>
- King, P. T., Michel, J., & Moore, W. S. (1982). Ground water geochemistry of 228Ra, 226Ra and 222Rn. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(7), 1173–1182. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(82\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(82)90003-5)
- Olguin, M. T., Segovia, N., Tamez, E., Alcántara, M., & Bulbulian, S. (1993). Radon concentration levels in ground water from Toluca, Mexico. *Science of The Total Environment*, 130–131(C), 43–50. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(93\)90058-E](https://doi.org/10.1016/0048-9697(93)90058-E)
- Sayre, W. W., Guy, H. P., Chamberlain, A. R., & Nolan, T. B. (1993). *Uptake and Transport of Radionuclides by Stream Sediments*.
- UNSCEAR. (1988). *Sources, effects and risks of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 report to the General Assembly, with annexes*. United Nations. [//www.unscear.org/unscear/en/publications/1988.html](http://www.unscear.org/unscear/en/publications/1988.html)
- UNSCEAR. (1993). *Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR 1993 report to the General Assembly, with scientific annexes*. 922. [//www.unscear.org/unscear/en/publications/1993.html](http://www.unscear.org/unscear/en/publications/1993.html)
- WHO. (2003). Guidelines for Drinking-water Quality. In *World Health Organization* (Vol. 1).

“

## **Bölüm 15**

### **ASİDOFİLİK MİKROORGANİZMALAR VE BİYOTEKNOLOJİK POTANSİYELLERİ**

*Havva Esra TÜTÜNCÜ<sup>1</sup>*

*Nurcan VARDAR YEL<sup>2</sup>*

”

<sup>1</sup> Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, ORCID: 0000-0003-3951-399X

<sup>2</sup> Altınbaş Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Bölümü, ORCID: 0000-0003-0994-5871

### A. Asidofilik mikroorganizmalar

Ekstrem ortamlarda yaşayabilen mikroorganizmalar uzun yıllardan beri araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Bu ilginin bir sebebi ekstrem mikroorganizmaların gezegenin daha erken dönemlerinde şu anda var olduklarından çok daha geniş bir alanda yaşamlarını sürdürdükleri yönündeki düşüncedir. Bir diğeri ise bu mikroorganizmaların ve bu mikroorganizmalara ait enzimlerin ılıman olmayan ortamlara gösterdikleri uyum sebebiyle çeşitli biyoteknolojik işlemlerde kullanılabilir olmalarıdır. Asidofilik kelimesi “asit seven” anlamına gelmektedir. Literatürde asidofilik mikroorganizmaları tanımlamak için pH mı yoksa titre edilebilir asit değeri mi göz önünde bulundurulması gerektiği konusu tartışmalı olsa da, pH değeri 3 ve daha düşük olduğu ortamlarda yaşayabilen mikroorganizmaların ekstrem asidofilik olarak kabul edilmesi daha yaygın bir kanıdır (Johnson, 1998). Tablo 1.’de asidofilik mikroorganizmalara örnekler verilmiştir.

Asidofilik mikroorganizmaların yaşadıkları ortamların bir kısmı doğal olarak ortaya çıkmış, bir kısmı ise endüstriyel faaliyetler ile insan etkisi sonucu oluşmuştur. Nitrifikasyon veya organik asit üreten fermentasyon gibi metabolik süreçler sonucu ortam asitliği artabilirken, çoğunlukla elementer kükürt, indirgenmiş sülfür bileşikleri ve demirin oksitlenmesi sonucu ekstrem asidik ortamlar oluşmaktadır.

**Tablo 1. Bazı asidofilik prokaryotlar ve metabolik özellikleri (Johnson, 1998)**

Asidofilik mikroorganizmalar		Filogenetik aidiyet	Metabolik özellik
<b>DEMİR OKSİTLEYEN PROKARYOTLAR</b>	<b>Mezofiller</b>		
	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	$\gamma$ -Proteobacteria	Fakültatif anaerob
	<i>T. prosperus</i>	$\gamma$ -Proteobacteria	Halotolerant
	<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	Nitrospira	Fe <sup>2+</sup> tek elektron vericisi
	<i>Ferromicrobium acidophilus</i>	Actinobacteria	Heterotrofik
	<b>İlml termofiller</b>		
	<i>Sulfobacillus acidophilus</i>	Gram +	Ototrofik, mikсотrofik veya heterotrofik olarak gelişebilir.
	<i>S. thermosulfidooxidans</i>	Gram +	Ototrofik, mikсотrofik veya heterotrofik olarak gelişebilir.
	<i>Acidimicrobium ferrooxidans</i>	Actinobacteria	Ototrofik, mikсотrofik veya heterotrofik olarak gelişebilir.
	<i>Leptospirillum thermoferrooxidans</i>	-	Ototrofik
	<b>Ekstrem termofiller</b>		
	<i>Acidianus brierleyi</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Fakültatif anaerob
	<i>Acidianus infernus</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Fakültatif anaerob
	<i>Acidianus ambivalens</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Fakültatif anaerob
	<i>Metallosphaera sedula</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Obligat anaerob
	<i>Sulfurococcus yellowstonii</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Obligat anaerob
<b>SÜLFÜR OKSİTLEYEN (DEMİR OKSİTLEMİYEN) PROKARYOTLAR</b>	<b>Mezofiller</b>		
	<i>T. thiooxidans</i>	$\gamma$ -Proteobacteria	Ototrofik
	<i>T. albertis</i>	-	Ototrofik
	<i>T. acidophilus</i>	$\alpha$ -Proteobacteria	Mikсотrofik
	<i>Thiomonas cuprinus</i>	-	Mikсотrofik
	<b>İlml termofiller</b>		
	<i>T. caldus</i>	$\gamma$ -Proteobacteria	20-55 °C arasında gelişir.
	<b>Ekstrem termofiller</b>		
	<i>Sulfolobus shibitae</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Mikсотrofik
	<i>Sf. solfataricus</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Mikсотrofik
	<i>Sf. hakonensis</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Mikсотrofik
	<i>Sf. metallicus</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Ototrofik
	<i>Metallosphaera prunae</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Mikсотrofik
<i>Sulfurococcus mirabilis</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Mikсотrofik	

HETEROTROFİK PROKARYOTLAR	Mezofiller		
	<i>Acidophilum spp.</i>	$\alpha$ -Proteobacteria	Bazı trleri Fe <sup>3+</sup> indirger
	<i>Acidocella spp.</i>	$\alpha$ -Proteobacteria	
	<i>Acidomonas methanolica</i>	$\alpha$ -Proteobacteria	Metilotrofik
	<i>Acidobacterium capsulatum</i>	-	Fazla miktarda ekzopolimer retir
	<b>Ilımlı termofiller</b>		
	<i>Alicyclobacillus spp.</i>	Gram +	Bazı trleri Fe <sup>3+</sup> indirger
	<i>Thermoplasma acidophilum</i>	Euyarchaeota şubesi, Thermoplasmales takımı	Fakltatif anaerob
	<i>Th. volcanium</i>	Euyarchaeota şubesi, Thermoplasmales takımı	Fakltatif anaerob
	<i>Picrophilus oshimae</i>	Euyarchaeota şubesi, Thermoplasmales takımı	Mutlak aerob
	<i>P. torridus</i>	Euyarchaeota şubesi, Thermoplasmales takımı	Mutlak aerob
	<b>Ekstrem termofiller</b>		
<i>Sf. acidocaldarium</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Sülfür kullanarak ototrofik olarak büyüdüğü düşünülmektedir.	
<b>DİĞERLERİ</b>	<i>Stygiolobus azoricus</i>	Crenarchaeota şubesi, Sulfolobales takımı	Obligat anaerobik ve kemolitotrofik

Kömür atık yığınları, kömür madenleri, metal cevher yığınları ve cevher madenlerinden akan drenaj suları genellikle pH'nın 3'ten düşük olduğu sülfat, pirit ve proton konsantrasyonlarının yüksek olduğu bölgelerdir. Asidik ortamlarda ayrıca cevherlerin bileşenlerine ayrılması ile bakır, krom, çinko, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metallerin konsantrasyonu da yükselmektedir (Saria vd, 2006).

## B. Asidofilik mikroorganizmaların metabolik özellikleri

Asidofilik mikroorganizmaları enerji ve karbon kaynaklarını nereden karşıladıklarına bağlı olarak dört grupta incelemekteyiz. Bunlar inorganik enerji kaynağı kullanan ototrofik asidofiller (kemolitotroflar), gneç enerjisini kullanan fototrofik asidofiller, karbon ve enerji kaynağı olarak organik karbonu kullanan heterotroflar ve inorganik elektron vericilerini kullanan ve aynı zamanda organik karbonu asimile eden miksotroflardır. Bu geniş bir sınıflandırma olup, bazı asidofiller zaman zaman farklı metabolik aktiviteler gösterebilmektedir. Örneğin, bazı heterotrofik *Acidiphillum* türleri indirgenmiş inorganik kükürt bileşiklerini (RISC) oksitleyebilmektedir (Johnson ve Hallberg, 2008).

### Asidofillerde karbon metabolizması

Obligat ototrof asidofiller, hücrenel yapılarına katmak üzere karbonu inorganik karbon formu olan karbondioksitten alırlar. Işığın ulaşmadığı birçok ekstrem ortamda, ototrofik sülfür ve demir oksitleyen mikroorga-

nizmalar karbondioksiti fikse ederek heterotrofik organizmaların kullanımına hazır hale getirirler. Mikroorganizmaların bu amaçla kullandığı dört temel metabolik yolak bulunmaktadır: Calvin-Benson-Bassham döngüsü, indirgeyici trikarboksilik asit döngüsü, asetil-KoA yolağı ve 3-hidroksipropiyonat döngüsü. Birçok asidofilik bakteri karbondioksit fiksasyonunu CBB döngüsü ile yapar. Bu döngüde rubiloz bifosfat karboksilaz/oksijenaz (RUBISCO) enzimleri kullanılmaktadır. *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferriphilum*, *Sulfobacillus acidophilus* ve *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*'ın RUBISCO enzimine sahip olduğu bilinmektedir. *Acidianus brierleyi*, *Metallosphaera sedula* ve *Sulfolobus metallicus* gibi asidofilik termofilik arkealar ise daha çok 3-hidroksipropiyonat döngüsünü kullanarak karbondioksit fiksasyonu yaparlar (Johnson ve Hallberg, 2008).

Obligat heterotrof asidofillerin keşfi obligat ototrof asidofillerin keşfinden sonra gerçekleşmiştir. Günümüzde hala asidofilik mikroorganizmalarda organik karbon metabolizması ve biyokimyasına dair nispeten az çalışma bulunmaktadır. Genel olarak bu gruptaki mikroorganizmalar glukoz, fruktoz gibi bazı monosakkaritleri, bazı organik asitleri ve alkollerini metabolize ederken, polimerik bileşikleri (bazı disakkaritler, polisakkaritler) ve yüksek konsantrastondaki monokarboksilik asitleri (asetik asit, pirüvik asit gibi) kullanamazlar (Aytar, 2012). *Acidiphilium* grubu bakteriler genellikle heterotrofik olarak yaşamlarını sürdürürler. Bazı asidofilik bakteri ve arkealar ise karbondioksiti fikse edebilirken, ortamda mevcut olduğunda organik karbonu da kullanabilirler.

### **Asidofillerde demir metabolizması**

Pirit ve diğer sülfütlü demir formları sebebiyle asidik ortamlarda çözülmüş demir yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır. Ferroz demirin ( $Fe^{2+}$ ), düşük pH değerlerinde kendiliğinden oksidasyonu çok yavaş olduğu için, düşük pH'da mikroorganizmalar tarafından elektron vericisi olarak kullanılmaktadır (Dopson vd, 2012). Demirin oksitlendiği reaksiyonlarda elektron alıcısı olarak moleküler oksijen kullanılmaktadır. İlk olarak *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakterisinde keşfedilen mavi bakır proteini olan rustisiyanin ferroz demirden oksijene elektron akışını sağlamaktadır (Sharma vd, 2012). *Acidithiobacillus spp.* ve *Sulfolobus acidocaldarius* gibi ototrofik asidofiller anaerobik koşullarda ferrik demiri ( $Fe^{3+}$ ) ferroz demire indirgeyebilmektedir. Aynı zamanda bazı heterotrofik ve mikсотrofik asidofiller de demiri indirgeyebilmektedir (Johnson ve Hallberg, 2009).

### **Asidofillerde sülfür metabolizması**

Mikroorganizmalarda sülfür oksidasyonu, demir oksidasyonuna göre daha fazla elektron akışına sebep olmakta ve daha fazla miktarda ATP üre-

timini sağlamaktadır. *Acidithiobacillus ferrooxidans* ve *A. caldus* tarafından geręekleřtirilen RISC oksidasyonunda, elektronlar kuinon kanalından geçerek çoklu terminal elektron alıcılarına ulaşmakta ve enerji üretiminde kullanılmaktadır .

Elementer sülfür hidrofobik ve suda çözünmez halde bulunurken sülfür dioksigenaz enzimi ile okside olmaktadır. Bu enzim ilk olarak *Acidithiobacillus thiooxidans*'ta keşfedilmiş olmasına rağmen, son yıllarda bu enzimi kodlayan genlere bitki ve hayvan hücrelerinin mitokondrilerinde de rastlanmaktadır. Heterotrofik bakterilerde ise SDO homologu olarak perslfıt dehidrogenaz (PDO) enzimi bulunmaktadır. Sülfür oksigenaz reduktaz da sitoplazmik elementer sülfürün tiyosülfat, slfıt ve slfide dönüşmesini sağlamaktadır. Bunlar haricinde sülfür oksitleyen enzim sistemi (sox), tiosülfat dehidrogenaz, heterodislfıt reduktaz benzeri sistem (Hdr) gibi enzimler asidofilik mikroorganizmalarda sülfür oksidasyonu geręekleřtirirler. Slfıt hücre içerisindeki toksik etkisi sebebiyle sitoplazma veya periplazmada okside edilmektedir. Ayrıca sülfat, tiyosülfat glutatyon S-sulfonat gibi bileşiklere de dönüştürülmektedir (Wang vd, 2019).

Asidofilik mikroorganizmaların demir ve sülfür metabolizmaları ile ilgili bazı gen ve metabolik yolaklar keşfedilmiş olsa da, model organizmalar haricindeki diğer mikroorganizmalarda bu süreçler tam olarak aydınlatılmış durumda değildir. Genomik, transkriptomik, metabolomik gibi omik teknolojilerin gelişimi ile beraber daha sistemik çalışmalar ile bu boşluğun yakın zamanda doldurulacağı tahmin edilmektedir.

### C. Asidofilik mikroorganizmaların direnç mekanizmaları

Asidofiller ve nötrofiller hücre dışında farklı optimal pH değerlerine sahip olsalar da, her iki grup mikroorganizmanın da hücre içinde nötre yakın pH değerine sahip olmaları gerekmektedir. Asidofilik mikroorganizmalar bu amaçla hüresel ve moleküler düzeyde bir takım özelliklerini geliştirmiştir. Asidofillerin pH homeostazını sağlama yolları şu şekilde sıralanmaktadır (Lopes ve Lens, 2011):

- o Fazla protonları potasyum transportu ile hücre dışına pompalanması (asidofilik genomlarda potasyum transport eden ATPazların fazla olduğu bilinmektedir),
- o Protonların hücre içine geçişini azaltmak için geçirgenliği az hücre membranına sahip olunması,
- o Transport proteinleri tarafından protonların aktif taşınması,
- o Gerekl znen ve besin maddelerinin pompalanması ile ilgili enerji ihtiyaını azaltmak için ikincil transport proteinlerine sahip



olunması (asidofililerin genomlarında nütrofillere göre daha fazla ikincil transporter kodlayan gen bulunmaktadır),

- Protonları bağlayan ve tutan enzim ve/veya kimyasallara sahip olunması,
- Nütrofillere kıyasla daha fazla protein ve DNA tamir mekanizmasına sahip olunması
- Ayırıştırıcılar (uncoupler) olarak işlev gören organik asitlerin, heterotrofik asidofiller tarafından bozunması.

Ayrıca asidofilik mikrobiyal biyofimlerle yapılan metabolik çalışmalarda, ektoin, taurin ve hidroksiektoin gibi metabolitlerin hücreleri osmotik stresten ve ağır metallere koruduğu ortaya çıkarılmıştır (Mosier vd, 2013). Günümüzde kadar keşfedilmiş olan en hiperasidofilik arkealar *Picrophilus oshimae* ve *P. torridus*'tur. Bu iki arkeanın optimum pH değeri 0.7, optimum sıcaklık değeri ise 60 °C'dir. Arkeaların bu çoklu ekstremofilik özelliği tetraeter yapıdaki membran lipitlerini halkasal hale getirerek sağladıkları düşünülmektedir (Merino vd, 2019).

#### **D. Asidofilik mikroorganizmaların uygulama alanları**

Asidofilik organizmaların aside dayanıklı enzimleri/proteinleri endüstriyel birçok proseslerde kullanılmaktadır. Asidofiller, özellikle metalin cevherinden ayrıştırılması (biyomadencilik), gıda ve yem endüstrisinde çeşitli uygulama alanlarına sahip olan enzimlerin üretiminde önemli bir rol oynarlar. Asidofillerin diğer uygulamaları arasında biyoremediasyon, elektrik üretimi ve astobiyoloji çalışmaları da bulunmaktadır.

#### **Biyomadencilik**

Metallerin cevherlerden ve atıklardan ayrıştırılması ve geri kazanımı üzerinde mikroorganizmaların önemli bir etkisi olmuştur. Yirminci yüzyılın ortalarında, metal içeren sülfid minerallerinin bakteri aracılığıyla çözüldüğünün keşfedilmesi, madencilik süreçlerinde mikroorganizmaların biyoteknolojik uygulamasına yol açmıştır. (Rawlings ve Johnson, 2007; Johnson, 2008). Cevherlerin biyolojik olarak işlenmesi, pirometalurji gibi geleneksel yaklaşımlara göre çeşitli avantajlara sahiptir. Başlıca faydalarından biri, çok düşük oranda metalin veya bileşiğini ihtiva eden cevherlerin işlenmesi ve bu süreçte çok daha düşük enerjiye ihtiyaç duymasıdır. Biyomadencilik çevresel olarak faydaları ise önemli ölçüde daha düşük zararlı atıkların oluşumu, metalurjik atıklardan geri kazanımı ve kimyasal olarak aktif atıkların azaltılmış üretimidir. (Johnson, 2008). Biomadencilikte daha çok *Thiobacillus*, *Sulfolobus*, *Acidianus*, *Leptospirillum* gibi asidofilik mikroorganizmalar kullanılmaktadır (Jerez, 2009; Johnson, 2008). Bu asidofilik organizmaların en büyük avantajları yüksek konsant-

rasyonlu ağır metallere karşı toleranslı olmalarıdır. Asit maden sahalarının metagenomik ve metatranskriptomik analizi ile elde edilen veriler, asidofilik mikroorganizmalar, asidik ortamlarda mikrobiyal reaksiyon ve adaptasyon mekanizmaları hakkında bilgi sağlamaktadır (Chen vd, 2014).

### **Aside dirençli enzimlerin (ekstremozimler) retimi**

Asidofilik bakteriler ve arkelerden birçok enzim keşfedilmiştir. Amilolitik, ksilanolitik ve proteolitik enzimler, selülazlar, asit fosfatazlar ve maltoz bağlayıcı proteinler asidofillerden elde edilmiş enzimlerden bazılarıdır. (Sharma vd, 2012). Termoasidofillerden türetilen enzimlerin çoğu düşük pH ve yüksek sıcaklıkta aktivite gösterir. Bu özelliklerinden ötürü nişasta, meyve suyu, yem ve firıncılık endüstrileri gibi birçok endüstriyel uygulamada potansiyel öneme sahiptir.

#### ***Amilolitik enzimler***

Amilazlar, nişasta sakkarifikasyonu, firıncılık, kağıt ve tekstil endstirileri gibi geniş uygulama alanlarına sahip olan en önemli enzimlerden biridir. Nişasta sakkarifikasyonu ve firıncılık sektöründe asidik  $\alpha$ -amilazların kullanımından faydalanılmaktadır. Halihazırda nişasta işlemede kullanılan  $\alpha$ -amilazlar, 95  $^{\circ}\text{C}$ 'de ve pH 6.8'de optimal olarak aktiftir ve  $\text{Ca}^{2+}$  ile stabilize edilir. Bu sebeple, bu enzimlerin kullanıldığı endüstriyel işlemler doğal nişastanın pH'ı olan düşük pH'ta (3.2–4.5) gerçekteştirmektedir. Nişasta sakkarifikasyonunun aşamalarından ilki olan sıvılaştırma için için gerekli olan enzimin optimal pH'ına çok uygun olması için nişasta bulamacının pH'ı, doğal pH'ı 3.2-4.5'ten 5.8-6.2 değerine çıkarılır ve sonra, enzimin aktivitesini ve/veya stabilitesini artırmak  $\text{Ca}^{2+}$  ilave edilir. Bir sonraki sakarifikasyon adımı, pH 4.2–4.5'e yeniden pH ayarlaması gerektirir. Bu adımların her ikisi de zaman alıcıdır ve ürünlerin maliyetini de arttırdığı için elimine edilmelidir. Bu nedenle, spesifik endüstriyel uygulamalar için ekstremofillerden elde edilen ve doğal olarak gerekli özelliklere sahip olan ekstremozimlere ihtiyaç vardır. *A. acidocaldarius*'tan elde edilen  $\alpha$ -amilaz, ısıya ve aside dayanıklı proteinin ilk örneğidir ve optimum pH ve sıcaklık değerleri sırasıyla 3.0 ve 75  $^{\circ}\text{C}$ 'dir. (Matzke vd, 1997; Bertoldo vd. 2004). *A. acidocaldarius* ve *Bacillus acidicola*'dan izole edilen aside dayanıklı  $\alpha$ -amilazlar nişasta endüstrisine büyük ölçüde fayda sağlamıştır. (Sharma & Satyanarayana 2012; Bai vd, 2012). Nişasta endüstrisinde kullanılan bir başka amilolitik enzim kategorisi glukoamilazlardır. *P. torridus*, *P. oshimae* ve *T. acidophilum* gibi termoasidofilik arkelerden elde edilen glukoamilazlarının pH 2.0 ve 90  $^{\circ}\text{C}$ 'de optimal olarak aktif olduğu bildirilirken mantarlar, mayalar ve bakteriler tarafından üretilen glukoamilazlar 3.5 ile 6 arasındaki pH aralığında ve 70 $^{\circ}\text{C}$ 'de optimal olarak aktiftir (Serour vd, 2002).

### ***Ksilanaz***

Son yıllarda, ksilanazlar için çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Fırınıcılık endüstrisinde ksilanaz enziminin anahtar rolü buğday ununda bulunan hemiselülozu parçalanması, suyun yeniden dağıtılmasını sağlayarak hamurun yumuşak ve kolay yoğrulmasını sağlamaktır. Bununla birlikte, hamurda suyun emilmesine, fermantasyona karşı direnç kazanmasına ve ekmek hacminin artmasına olanak sağlar. Hamurun pH'ı asidik olduğundan, fırınıcılık endüstrisinde asite dirençli ksilanazlara ihtiyaç vardır. Shah vd, (2006), *Aspergillus foetidus*'tan elde edilen aside dayanıklı ksilanazların (optimum pH 5.3) tam buğday ekmek yapımında kullanılan ekmek katkı maddesi olarak kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Asidik ksilanazlar ve fitazlar ayrıca hayvan yemlerinde önemli ölçüde kullanılmaktadır. Hayvan yemlerinde bulunan ve besleyici etkisi bulunmayan arabinoksilanları hidrolize etmek için hayvan yemine ksilanaz enzimi eklenmektedir. Fitazlar, hayvan yemlerinde kullanılan bir diğer enzim grubudur. Mikrobiyal fitazlar, mineral biyoyararlanımını artırmak için esas olarak hayvan (domuz ve kümes hayvanları) ve insan yemi ve gıda maddelerine eklenir. Ksilanazlar ve fitazlar genellikle mantar ve mayalardan izole edilmiştir. *Acidobacterium capsulatum*'dan izole edilen ksilanaz enzimi, asidik değerlerde optimum aktivite ve stabilite gösterdiği tespit edilmiştir. (Inagaki vd, 1998).

### ***Proteaz ve kolajenazlar***

Karboksil grubu proteazları olarak da bilinen aspartik proteazlar, asidik çözeltilerdeki proteinleri ve peptitleri sindiren proteolitik enzimler grubudur. Bu enzim grubu, memeliler, mantarlar, bitkiler, retrovirüsler ve son zamanlarda arke ve bakterilerden izole edilmiştir. Asidik proteazların gıda, içecek ve ilaç endüstrilerinde önemli uygulamaları bulunmaktadır. Termopsin, aspartil içermeyen *S. acidocaldarius* kaynaklı bir asit proteazıdır ve pH 2.0 ve 90 °C'de optimal olarak aktiftir (Lin vd, 1990; Fusek vd, 1990).

Kollajenaz, kolajenin proteolitik parçalanmasında rol oynayan başka bir proteaz sınıfıdır. Kollajenaz enzimi ilaç ve kozmetik endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Asidik pH aralığında optimum aktivite gösteren kollajenaz enzimi her ikisi de asidofilik olan *Bacillus* suşu NTAP-1 ve *Alicyclobacillus sendaiensis* NTAP-1'tan elde edilmiştir. (Nakayama vd, 2000).

### ***Biyodönüşümler ve biyoremediasyon***

Biyoremediasyon, mikroorganizmaların organik atıkları tehlikeli olmayan maddelere dönüştüğü veya mineralize olduğu bir süreçtir. Asit maddenin drenajı veya bazı endüstrilerin atık suları gibi birçok ortam düşük pH

ile karakterize edilir. Asidofilik mikroorganizmalar ekstrem koşullar altında büyümeye adapte olmuştur. Hidrokarbon parçalayıcı veya ağır metal bağlayan asidofiller (rn, *Acidiphilium rubrum*), atık ekstrem ortamlardan atıkları uzaklaştırma potansiyeline sahiptir (Stapleton vd, 1998; Roling vd, 2006).

Asit maden drenajları (AMD), dünyadaki en ciddi su kirliliği biçimlerinden biridir ve çevresel tehlikeye neden olur. AMD yalnızca yüzey ve yeraltı suyu kirliliği ile değil aynı zamanda ağır metallerin çevreye dağılmasından da sorumludur. Ayrıca, metal madenciliğinden çıkan siyanür ve ağır metaller gibi toksik atıkların ciddi sağlık tehlikesi sorunları ve ekolojik sonuçları vardır (Hallberg, 2010). Bunun yanında asit maden sahalarının yüksek asiditesi, diğer metalleri çözerek mineral çözünmesini daha da artırır. AMD ortamında alüminyum, bakır, kurşun, çinko, kadmiyum, nikel ve arsenik genellikle yüksek konsantrasyonlarda bulunur. (Sullivan & Yelton, 1988).

AMD iyileştirmesinde kullanılan geleneksel yöntem, pH'ı belirli seviyenin üzerine çıkarmak için alkaline bir kaynak eklenmesidir. Ancak asit maden drenajının arıtılmasında kullanılan geleneksel arıtma teknolojilerinin işletme maliyeti ekonomik değildir (Sheoran & Sheoran, 2006). Bununla birlikte, kontamine ortamdaki toksik maddelerin uzaklaştırılması, bu elementlerle etkileşime girebilen asidofilik mikroorganizmalar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Ayrıca, bu organizmaların yüksek seviyelerde metalleri tolere edebilme özelliği, inorganik polifosfat güdümlü metal direnç mekanizmasının olması asidofilleri biyoremediasyon için uygun adaylar haline getirir (Dopson vd, 2003). Asidofillerin, alifatik, aromatik, halojenli ve nitratlı bileşikler dahil olmak üzere çeşitli petrol hidrokarbonları parçaladığı rapor edilmiştir. Bu ortamlarda büyümeye adapte olmuş hidrokarbon parçalayıcı asidofiller, kirli habitatların evre dostu ortam olarak dönüşümünde önemli bir rol oynamaktadır.

## Sonuç

Asidofilik mikroorganizmalar biyojeokimyasal veya endüstriyel prosesler sonucu yüksek asidite değerine sahip bölgelerde yaşayan, metabolizmalarının temelinde genellikle kükürtlü ve demirli bileşiklerin oksidasyon/redüksiyon reaksiyonlarını içeren ekstremofilik mikroorganizmalardır. Bu mikroorganizmaların gösterdikleri ekstrem özellikler, onların endüstriyel enzimlerin üretimi, biyoremediasyon ve biyomadencilik gibi alanlarda önemli konuma sahip olmalarını sağlamaktadır. Günümüze kadar yapılan çalışmalarla asidofilik mikroorganizmaların bu alanlardaki potansiyelleri ortaya konulmuş olsa da, daha kapsamlı omik çalışmaların gerektiği sonucuna varılmaktadır.

**KAYNAKLAR**

- Aytar, P. (2012). Aşırı asidik ortamlarda prokaryotik çeşitliliğin geleneksel ve moleküler yöntemlerle belirlenmesi ve biyodesülfürizasyonda kullanılabilirliği. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Bai, Y., Huang, H., Meng, K., Shi, P., Yang, P., Luo, H., ... & Yao, B. (2012). Identification of an acidic  $\alpha$ -amylase from *Alicyclobacillus* sp. A4 and assessment of its application in the starch industry. *Food Chemistry*, 131(4), 1473-1478. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.036>
- Barrie Johnson, D., & Hallberg, K. B. (2008). Carbon, Iron and Sulfur Metabolism in Acidophilic Micro-Organisms. In *Advances in Microbial Physiology* (Vol. 54, Issue 08). Elsevier Masson SAS. [https://doi.org/10.1016/S0065-2911\(08\)00003-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2911(08)00003-9)
- Bertoldo, C., Dock, C., & Antranikian, G. (2004). Thermoacidophilic microorganisms and their novel biocatalysts. *Engineering in life sciences*, 4(6), 521-532. <https://doi.org/10.1002/elsc.200402155>
- Chen, L. X., Hu, M., Huang, L. N., Hua, Z. S., Kuang, J. L., Li, S. J., & Shu, W. S. (2015). Comparative metagenomic and metatranscriptomic analyses of microbial communities in acid mine drainage. *The ISME journal*, 9(7), 1579-1592. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.245>
- Dopson, M., Baker-Austin, C., Koppineedi, P. R., & Bond, P. L. (2003). Growth in sulfidic mineral environments: metal resistance mechanisms in acidophilic micro-organisms. *Microbiology*, 149(8), 1959-1970. <https://doi.org/10.1099/mic.0.26296-0>
- Dopson, M., & Johnson, D. B. (2012). Biodiversity, metabolism and applications of acidophilic sulfur-metabolizing microorganisms. In *Environmental Microbiology* (Vol. 14, Issue 10, pp. 2620–2631). <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2012.02749.x>
- Fusek, M., Lin, X. L., & Tang, J. (1990). Enzymic properties of thermopsin. *Journal of Biological Chemistry*, 265(3), 1496-1501. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)40044-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)40044-6)
- Hallberg, K. B. (2010). New perspectives in acid mine drainage microbiology. *Hydrometallurgy*, 104(3-4), 448-453. <https://doi.org/10.1016/j.hydro-met.2009.12.013>
- Inagaki, K., Nakahira, K., Mukai, K., Tamura, T., & Tanaka, H. (1998). Gene cloning and characterization of an acidic xylanase from *Acidobacterium capsulatum*. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 62(6), 1061-1067. <https://doi.org/10.1271/bbb.62.1061>
- Jerez, C. A. (2009). Biomining microorganisms: molecular aspects and applications in biotechnology and bioremediation. In *Advances in Applied Bioremediation* (pp. 239-256). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-89621-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-540-89621-0_13)

- Johnson, D. B., & Roberto, F. F. (1997). Heterotrophic acidophiles and their roles in the bioleaching of sulfide minerals. In *Biomining* (pp. 259-279). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-06111-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-662-06111-4_13)
- Johnson, D. B. (1998). Biodiversity and ecology of acidophilic microorganisms. *FEMS Microbiology Ecology*, 27(4), 307-317. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(98\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(98)00079-8)
- Johnson, D. (2008). Biodiversity and interactions of acidophiles: Key to understanding and optimizing microbial processing of ores and concentrates. *Trans of Nonferr Metal Soc China* 18, 1367-1373. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(09\)60010-8](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(09)60010-8)
- Lin, X. L., & Tang, J. (1990). Purification, characterization, and gene cloning of thermopsin, a thermostable acid protease from *Sulfolobus acidocaldarius*. *Journal of Biological Chemistry*, 265(3), 1490-1495. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)40043-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)40043-4)
- Lopes, S. I. C., & Lens, P. N. L. (2011). Anaerobic Treatment of Organic Sulfate-Rich Wastewaters. Eds Murray Moo-Young, In: *Comprehensive Biotechnology*, Pergamon.
- Matzke, J., Schwermann, B., & Bakker, E. P. (1997). Acidostable and acidophilic proteins: the example of the  $\alpha$ -amylase from *Alicyclobacillus acidocaldarius*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 118(3), 475-479. [https://doi.org/10.1016/s0300-9629\(97\)00008-x](https://doi.org/10.1016/s0300-9629(97)00008-x)
- Merino, N., Aronson, H. S., Bojanova, D. P., Feyhl-Buska, J., Wong, M. L., Zhang, S., & Giovannelli, D. (2019). Living at the extremes: Extremophiles and the limits of life in a planetary context. *Frontiers in Microbiology*, 10(MAR). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00780>
- Mosier, A. C., Justice, N. B., Bowen, B. P., Baran, R., Thomas, B. C., Norten, T. R., & Banfield, J. F. (2013). Metabolites Associated with Adaptation of Microorganisms to an. *MBio*, 4(2), 1-8. <https://doi.org/10.1128/mBio.00484-12>. Editor
- Nakayama, T., Tsuruoka, N., Akai, M., & Nishino, T. (2000). Thermostable collagenolytic activity of a novel thermophilic isolate, Bacillus sp. strain NTAP-1. *Journal of bioscience and bioengineering*, 89(6), 612-614. [https://doi.org/10.1016/s1389-1723\(00\)80067-5](https://doi.org/10.1016/s1389-1723(00)80067-5)
- Rawlings, D. E., & Johnson, D. B. (2007). The microbiology of biomining: development and optimization of mineral-oxidizing microbial consortia. *Microbiology*, 153(2), 315-324. <https://doi.org/10.1099/mic.0.2006/001206-0>
- Roling, W. F. M., Ortega-Lucach, S., Larter, S. R., & Head, I. M. (2006). Acidophilic microbial communities associated with a natural, biodegraded hydrocarbon seepage. *Journal of applied microbiology*, 101(2), 290-299. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02926.x>

- Saria, L., Shimaoka, T., & Miyawaki, K. (2006). Leaching of heavy metals in acid mine drainage. *Waste Management and Research*, 24(2), 134–140. <https://doi.org/10.1177/0734242X06063052>
- Serour, E., & Antranikian, G. (2002). Novel thermoactive glucoamylases from the thermoacidophilic Archaea *Thermoplasma acidophilum*, *Picrophilus torridus* and *Picrophilus oshimae*. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 81(1), 73–83. <https://doi.org/10.1023/A:1020525525490>
- Shah, A. R., Shah, R. K., & Madamwar, D. (2006). Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus*. *Bioresource technology*, 97(16), 2047–2053. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.006>
- Sharma, A., & Satyanarayana, T. (2012). Production of acid-stable and high-maltose-forming  $\alpha$ -amylase of *Bacillus acidicola* by solid-state fermentation and immobilized cells and its applicability in baking. *Applied biochemistry and biotechnology*, 168(5), 1025–1034. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9838-x>
- Sharma, A., Kawarabayasi, Y., & Satyanarayana, T. (2012). Acidophilic bacteria and archaea: acid stable biocatalysts and their potential applications. *Extremophiles*, 16(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s00792-011-0402-3>
- Sheoran, A. S., & Sheoran, V. (2006). Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: a critical review. *Minerals engineering*, 19(2), 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.08.006>
- Stapleton, R. D., Savage, D. C., Sayler, G. S., & Stacey, G. (1998). Biodegradation of aromatic hydrocarbons in an extremely acidic environment. *Applied and environmental microbiology*, 64(11), 4180–4184. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.11.4180-4184.1998>
- Sullivan, P. J., & Yelton, J. L. (1988). An evaluation of trace element release associated with acid mine drainage. *Environmental Geology and Water Sciences*, 12(3), 181–186. <https://doi.org/10.1007/BF02574730>
- Wang, R., Lin, J. Q., Liu, X. M., Pang, X., Zhang, C. J., Yang, C. L., Gao, X. Y., Lin, C. M., Li, Y. Q., Li, Y., Lin, J. Q., & Chen, L. X. (2019). Sulfur oxidation in the acidophilic autotrophic *Acidithiobacillus* spp. *Frontiers in Microbiology*, 10(JAN), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03290>





“

## Bölüm 16

**ANTIOKSİDAN MADDELERİN  
İSKEMİ/REPERFÜZYON HASARI VE  
MEKANİZMASI ÜZERİNE ETKİLERİ**

*Sevinç AYDIN<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Doç. Dr., Munzur Üniversitesi/Çemişgezek MYO  
Bilgisayar Teknolojileri Bölümü / Sağlık Bilgi Sistemleri Teknikerliği  
Programı  
e-mail: sevincaydin2380@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-8597-8064>

## GİRİŞ

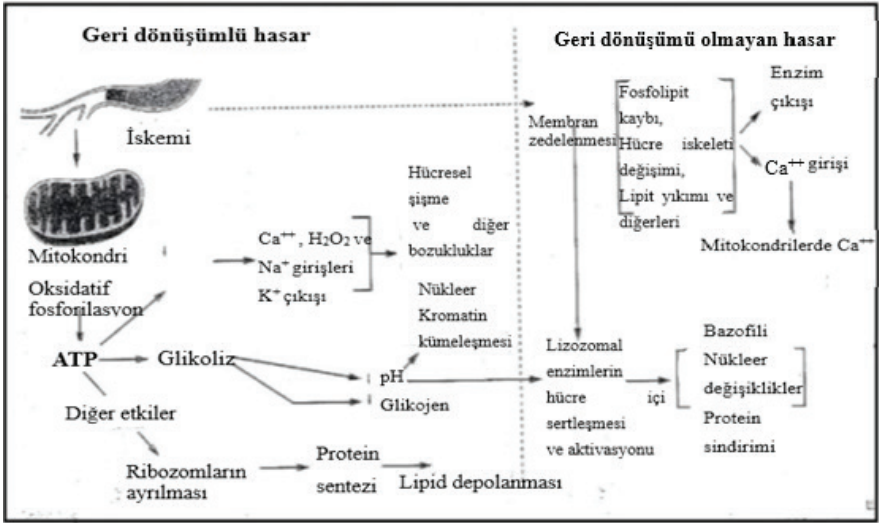
Dolaşım tarafından sağlanan oksijen ve gerekli diğer bileşiklerin dokuya ulaştırılamaması ve oluşan atık maddelerin uzaklaştırılamaması “**iskemi**” olarak tanımlanmıştır. Bu durum sonunda meydana gelen doku hasarında, hücre içi enerji depolarının boşalması ve toksik etkili bileşiklerin birikimi ile hücre ölümü meydana gelebilir (Grace, 1994; Cantük, 2005). Ve bununla ilişkili olarak, canlı dokusuna oksijenin yetersiz şekilde ulaşması “**hipoksi**” olarak tanımlanmış olup, nedeninin ise sıklıkla iskemi olduğu bildirilmiştir (Engin ve Altan, 2000).

İskemi kaynaklı hücre içi bozunmalarının temelinde oksijen yetersizliği belirtilmiş olmakla birlikte, yine iskemi sonucu oluşan reaktif oksijen türlerinin hücre ölümünün önemli nedenlerinden olduğu bildirilmiştir. Bu olayın temelinde ise oluşan serbest radikal türlerinin lipid peroksidasyonu ve diğer zararlı metabolik yollara neden olması sebep olarak gösterilmiştir. Klinik tıpta hücre zedelenmesinin en sık görülen nedeni iskemidir (Kumar vd., 2000). Normal koşullarda, adenosin trifosfat (ATP)’a bağlı olan kalsiyum (Ca) taşıyıcıları sayesinde oldukça az miktarlarda (yoğunlukta) tutulan sitoplazmik serbest kalsiyum miktarı, iskemi veya toksik maddeler nedeniyle hücre dışındaki kalsiyum içeriğinin plazma membranından iç kısma doğru kaçmasıyla birlikte artış göstermektedir. Bu olayı hücrenin stoklarından kalsiyumun serbest bırakılması takip eder. Sitoplazmik kalsiyumun artışı ise sırasıyla; fosfolipazları (membran hasarını arttırır), proteazları (yapısal ve membran proteinlerini katabolize eder), adenosin trifosfat ATPaz’ ları (ATP kaybını hızlandırır) ve endonükleazları (genetik materyali parçalar) aktive ederek birbiriyle ilişkili birçok yıkım olayına neden olur (Sekil1) (Kumar vd., 2000).

İskemi meydana gelen dokuda hücrenin rejenerasyonu ve toksik bileşiklerin temizlenmesi için kan akımının yeniden olması gerekir. Bu olaya “**reperfüzyon**” denir. Ancak bu olayın gerçekleşmesi ile birbiri ile ilişkili başka olaylar meydana gelir ve sonuçta yine doku hasarı oluşur. Reperfüzyon sürecinde meydana gelen olaylar; nötrofilik hücrelerin sızması, kopleman sisteminin aktivasyonu, proteaz grubu enzimlerin aktivasyonu, araşidonik asit metabolizması olup, bu olaylar serbest radikal (SR) oluşumunu artırıp yine dokuda hasar meydana getirmektedir (Cantük, 2005).

İskemi olayının uzun sürmesi, hücrenin şişmesi, asidoz, hücre içinde kalsiyum/sodyum oranında artışın, hipoksantin seviyesinin artması, Adenosin trifostat / fosfokreatin ve glutatyon oranın norma göre düşüş göstermesi, adenosin sinyal aktivitesinin yükselmesi, membran potansiyellerinin değişikliği, iskelet bütünlüğünün kaybı ve nükleotidlerin fosfohidrolizi gibi birçok metabolik değişimi meydana getirdiği bildirilmiştir (Kumar vd., 2007; Eltzschig ve Collard, 2005). Bu olaylar gerçekleşirken,

hücre içi metabolik aktiviteleri ve adaptasyon mekanizmalarında etkili bir kritik iskemi süresi vardır. Bu süre farklı hücre ve dokularda değişkenlik gösterebilir. Ancak uzun süreli iskemi söz konusu olursa; protein, enzim, koenzim, ribonükleik asit ve yüksek enerjili fosfat kaybı, mitokondrial matriksde şekilsiz ve normal olmayan Ca yoğunluğu ve birikimi, lizozomal zarlarda hasar ve lizozom kaynaklı enzimlerin hücrenin sitoplazmasına geçerek organellerin sindirilmesi, ölü hücrelerin fagositozu veya yağ asitlerine dönüşümü, yağ asitlerinin kalsifikasyonu ve Ca sabunu oluşumu gibi geriye dönüşümü olmayan hasarlar meydana gelebilir (Şekil 1) (Siemionow ve Arslan, 2004; Eltzschig ve Collard, 2005).



Şekil 1. İskemik hasarda görüldüğü varsayılan olaylar (Aydın, 2012)

## 1. İSKEMİ REPERFÜZYON (İR) HASARI MEKANİZMALARI

İskemiye maruz kalan dokunun reperfüzyonu sürecinde dokuya sağlanan oksijen ve metabolitler, hasarı azaltabileceği gibi hasarın artmasına da sebep olabilir.

## 1.1. Serbest Oksijen Radikalleri ve İR Mekanizmasındaki Etkileri

Dış yörüngesinde eşlenmemiş elektron bulunduran, yüksek reaktivite etkili, kısa ömürlü ve stabil olmayan moleküller serbest radikal olarak tanımlanmıştır. Özellikle de moleküler oksijenin indirgenmesi ve uyarılması sonucu değişik türlerde serbest radikaller oluşur (Grace, 1994). Bu serbest oksijen radikallerinin oluşma yolları farklı olabilir (White ve Heckler, 1990). Başlıca yollar şunlardır; radyan enerji absorpsiyonu (ultraviyole, X ışını) yolu ile, oksidasyon redüksiyon reaksiyonları yolu ile (solunum, ksantin oksidaz, fenton reaksiyonu gibi, demir ve bakır metabolizması bilinen en etkili hücre içi oksidatif hasardır), dış kaynaklı kimyasal maddelerin ve ilaçların enzimatik metabolizasyonu yolu ile, nitrik oksid (NO), iskemik hasara uğrayan dokunun reperfüzyonu ve oksijen tedavisi sırasında, inflamasyonda farklı lökosit çeşitleri ve makrofaj hücreler yolu ile oluşurlar.

Diğer taraftan canlı sistemlerde oluşan serbest radikallerin endojen kaynakları ise oksijen, nitrik oksid (NO), aktif nötrofil, elektron transport sistemi (mitokondri), endoplazmik retikulum, peroksizom ve plazma membranı'dır (Akkoç, 2008).

Hücreler serbest oksijen radikallerinin hasarına karşı bağışıklık sistemine sahip değildir. Ancak bununla birlikte metabolizma tarafından glutatyon ve katalaz gibi endojen enzimlerle oksijen radikallerinin hasarına karşı korunabilir (Grace, 1994). Serbest oksijen radikallerinin ortaya çıkmaya başlamasını takiben organizmada birbiriyle ilişkili bir dizi radikal reaksiyon meydana gelir.

Serbest oksijen radikalleri üzerlerinde taşıdıkları paylaşılmamış elektronlarından dolayı nükleik asit, protein, lipid, karbonhidrat gibi çeşitli moleküllere zarar vererek oksidatif hasar meydana getirirler (Ertan vd., 2001). Bu hasarları meydana getiren mekanizmalar şunlardır;

### 1.1.1. Lipid Peroksidasyonu

Serbest radikallerin oluşturduğu bilinen etkilerinden en zararlısı lipid peroksidasyonu olayıdır. Çoklu doymamış yağ asitleri serbest radikallerle reaksiyona girerek, okside olur. Bu olay lipid peroksidasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu olay, membran yapılarında akıcılığın bozulmasına, membran potansiyelinin azalmasına, hidrojen gibi iyonların geçirgenliği sonucu hücrede hasar meydana gelmesine sebep olur. Poliansatüre yağ asitlerinin peroksidasyonu sonucu oluşan ve lipid peroksidasyonun derecesinin belirlenmesinde en önemli gösterge olan malondialdehit (MDA), hücre zarındaki moleküllerin polimerizasyonuna ve çapraz bağ yapmalarına

rına yol açarak ve iyon alışverişini etkileyerek hücre membran yapısını, enzim aktivitesini değiştirebilir (Ertan vd., 200; Girotti AW, 2000).

### 1.1.2. Protein Oksidasyonu

Serbest radikaller protein oksidasyonuna sebep olarak bazı proteinlerin değişimine sebep olur. Örneğin metiyonin; sülfokside, histidin; oksihistidine ve asparagine, tirozin; ditirozin ve sistein disülfidlere dönüşür. Meydana gelen bu değişimler proteinlerin bağlanma özelliklerini ve enzim aktivitelerini değiştirerek hücre içi metabolizmasında bozulmaya sebep olur (Ertan vd., 200; Girotti AW, 2000).

### 1.1.3. DNA Hasarı

Serbest oksijen radikallerinin DNA'nın bazı bileşenlerinin (adenin ve piridin) normal işlevlerini yerine getirmesine engel olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca yine bu radikallerin DNA ile tepkimeye girerek mutajenik etkisi bilinen 8-Hidroksiguanin'in oluşmasına neden olduğu rapor edilmiştir (Marnett, 2000).

### 1.1.4. Kovalent Bağ Oluşturma

Serbest radikaller polisiklik hidrokarbon, aromatik amin ve nitrozamin gibi ksenobiyotiklerin bazı moleküllere kovalent bağlanarak hücre hasarı oluşmasına neden olabilir (Marnett, 2000).

### 1.1.5. Ca Salınımı

Hücre yaralanmaları ile ilişkilendirilmiş olan bir moleküldür. Ca alışverişini engelleyen bir durum söz konusu olduğunda hücre fonksiyonları da bu durumdan negatif yönde etkilenir. Serbest oksijen radikalleri Ca-ATPaz enzimlerinin önemli sülfidril gruplarını inaktive edilebilir. (Unno ve Fink, 1998).

Bütün bu literatür bilgileri dikkate alındığında serbest oksijen radikallerinin, İR hasarının temel mekanizmasını oluşturduğunu söyleyebiliriz.

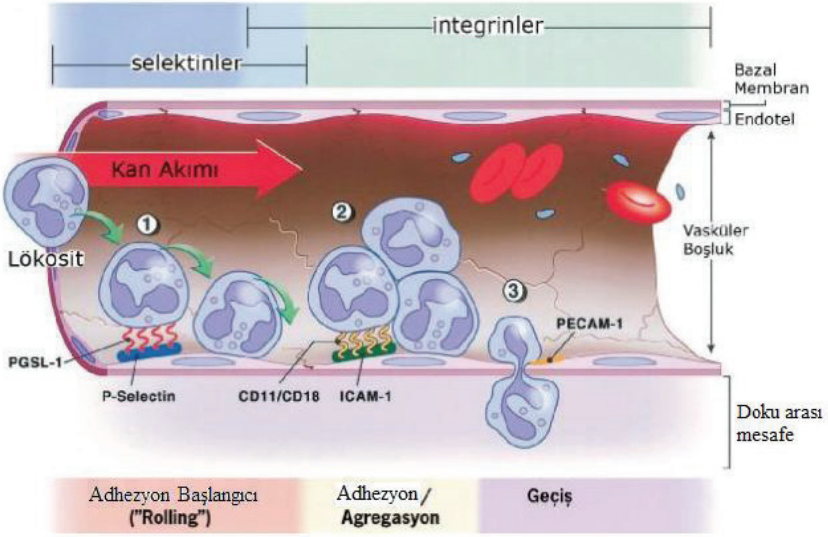
## 1.2. Kompleman, Endotel ve Lokositlerin İR Mekanizmasındaki Etkileri

İskemi reperfüzyon sonucu kompleman gelişimi ile damarsal hemostaziyi etkileyen inflamatuvar aracı maddeler oluşur. Anafilotoksin özellikli Kompleman 3a ve Kompleman 5a ile inaktif özellikli Kompleman3b ve Kompleman 5b-9 gibi komplemanlar bunlardan önemlileridir (Eltzschig ve Collard, 2005). Bunlardan Kompleman 5a; Kompleman 3a'ya oranla

20 kat daha güçlüdür. Bu güç ona lökosit aktivasyon ve kemotaksisini ve IL-1, IL-6 ve TNF $\alpha$  gibi inflamatuvar aracılardan sentezini artırma özelliği katmaktadır. Diğer taraftan Kompleman 5b-9 ve inaktif Kompleman 3b, endotel olarak mekanizma değişimlerine sebep olur. İR sonucu oluşan kompleman sistem aktivasyonu, vasküler hemostaz değişimlerini ve lökosit-endotel adhezyon eğilimi oluşturup iskeminin etkisini artırır (Collard vd., 1999).

Sitokinler ise bağıışıklığın bir protein mediyatörü olarak bilinmektedir. Ve sitokinler inflamatuvar veya antijenik olaylara cevap olarak sentez edilir. Ayrıca sitokinler lenfositlerin olgunlaşmalarını ve farklılaşmalarına neden olur. Dokulara zarar verip ölüme bile neden olabilirler. Örneğin IL-1 isimli polipeptid, travmatik veya inflamasyonlu dokularda makrofaj ve monosit hücrelerden salınan bir sitokin olup cerrahi operasyonlardan sonra meydana gelen birçok değişimin sorumlusu olarak gösterilmiştir. Bu maddenin özellikle de immün yanıt ve doku hasarının tamirinde etkin olabileceği ifade edilmiştir. Akut ve kronik inflamasyonun oluşumunda lokal ve sistemik özelliklerinin üzerine IL-1'nin yanı sıra, Tümör Nekrozis Faktör-alfa (TNF- $\alpha$ )'ın önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu faktör düşük dozlarda lokal inflamasyonun mediatörü olarak etki ederken, yüksek miktarlarda ise dolaşımda endokrin etkiler gösterir. İskemi reperfüzyonun kompleman sistemini aktive ettiği, bununla ilişkili olarak da devamında sitokin salınımının düzenlendiği ifade edilmekle birlikte bu konu tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Bahsi geçen bu kompleman aktivasyon sonucu oluşan proinflamatuvar bileşenler, lökositik hücreleri aktive edip, ayrıca TNF- $\alpha$ , IL-1 ve IL-6 oluşumunu aktive ederek inflamatuvar yanıtı güçlendirmiş olurlar (Evans vd., 1991).

Endotel hücrelerinin iyon ve organik moleküllerin geçişine engel olması, prostoglandinleri kısmen de olsa dolaşımdan uzak tutmaya çalışması ve koagülasyondaki işlevinin yanı sıra vazomotor etkinlikleri düzenleyip ve iskemi reperfüzyon hasarı (İRH)'na cevap olarak ürettiği mediyatörler nedeniyle giderek daha çok ilgi çekmektedir. İR ile ilişkili olarak ise endotel hücrelerinde oksidatif stres görüldüğü zaman kompleman aktive olur ve lökosit adhezyon molekülleri çoğalır. Reaktif oksijen türleri (ROT) etkisi ile endotelden salınan trombositleri aktive eden faktör lökositleri de aktive eder. Sonrasında lökositler endotel hücrelerle etkileşerek lökositlerin endotele yapışması gerçekleşir ve böylece transfer meydana gelir (Derwesh ve Novick, 2005). Bu olaylar Şekil 2'de gösterildi (David vd., 1997).



**Şekil 2.** Lökosit hücrelerinin damar endoteli ile etkileşiminin mekanizması  
(David vd., 1997; Aydın, 2012)

İskemi reperfüzyon sonucu lökositlerin aktive olmasıyla kemotaksis ve lökosit endotel hücre adhezyonu meydana gelir. Polimorf nüveli lökositler (PMNL) de, endotel hücreleri gibi retinoik asit reseptörü ile ilişkili reseptör (ROR) üretme kapasitesine sahiptir. İRH’da PMNL’in etkisi ile ilgili bazı mekanizma modelleri rapor edilmiştir. Bunlar şu şekilde sıralanmıştır; mikrovasküler oklüzyon, süper oksit radikal (SOR) ve sitotoksik enzim salınımları, vasküler permeablite artışı ve sitokin salınımlarında artış.

Aktive olan lökosit cevabının ise yine bazı mekanizmalarca gerçekleştirildiği bildirilmiştir. Bunlar; fosfolipaz A2 aktivasyonu ile araşidonik asit metabolitleri üretilmesi, degranülasyon sonucu lizozomal enzimlerin salınması, ROR üretiminin gerçekleşmesidir. Cevabını oluşturup görevini bitiren lökositik hücreler apoptotik olarak hücre ölümüne doğru yol alır ve lenfatik dolaşım vasıtası ile ortamdan uzaklaştırılırlar (Derwesh ve Novick,2005; Hoffman vd., 2005).

### 1.3. Mikro Dolaşım

Kan dolaşımının en uç sistemine mikrodolaşım denir. İskemiden sonra reperfüzyon sürecinde lökosit aktivasyonu sonucu iltihabik durum gerçekleşir. Bu aktive olan lökosit birikintisi mikrodolaşımda tıkanıklığa sebep olur. Bu mekanizmalar (lökosit-trombosit ve lökosit-endotel arasındaki etkileşimler) ana mekanizmayı oluşturup, hücreler arası sıvı birikimi ile azalan endotel bağımlı vazodilatasyonun bu duruma katkıda bulunan diğer ek mekanizmalar olduğu rapor edilmiştir. Bu mekanizma 1967 yılında Majno tarafından “no reflow” fenomeni olarak adlandırılmıştır (Majno vd., 1967).

### 1.4. Trombosit Etkisi

Trombosit hücreler, trombotik etkileri yanında kemotaktik fonksiyonlarının etkisiyle de inflamatuvar cevap mekanizmasında önemli rol oynar. Adhezyon olayı ile trombositler aktive olur ve kemotaktik faktörler ile etki edip, hücrelere (endotel / lökosit) bağlanıp kemotaktik özelliklerini değiştirirler (Gawaz, 2004). Fosfolipidlerin peroksidasyona uğraması ile hücre zarının hem yapısal hemde fonksiyonel yapıları zarar görür. Reperfüzyon sürecinde bu durumla birlikte şiddetli trombosit etkinliği meydana gelir. Artan bu etkinlik, reperfüzyon süreciyle birlikte artan trombojenite ve tıkanıklık riskini de arttırır. Trombosit aktivasyonunun nasıl başladığı tam olarak bilinmemekle birlikte, reperfüzyonla sürecinde oluşan SOR, mekanizmanın nedeni olarak görülmektedir (Leo vd., 1997).

### 1.5. Nitrik Oksit Etkisi

Endotel mitokondrisinde sentezlenen etkili bir serbest radikal de nitrik oksit (NO)'dir. L-arginine guanidinium grubuna girer ve nitrik oksit sentaz (NOS) aktivitesi sonucu sentezlenir. Dokuyu koruyan özellikleri vardır. Bunlar; vasküler tonus kontrolü, trombosit birikiminin engellenmesi, lökosit hücrelerle endotel etkileşiminin azaltılması, serbest radikal-lerin temizlenmesi, seçici damarsal geçirgenliğin düzenlenmesi, düz kas hücre proliferasyonunun engellenmesi, bağışıklık sisteminin aktivasyonu, endotel hücre rejenerasyonunun uyarılması ve iskemik dokularda SOD aktivitesini etkileyerek hidrojen peroksit birikimini azaltması şeklindedir. (Wink ve Mitchell, 1998).

Bununla birlikte iskemi reperfüzyon hasarıyla oluşan endotel hücre disfonksiyonunda NO sentezi azalarak meydana gelen hasar daha da derinleşir. Ayrıca endotel disfonksiyonuna bağlı NO azalma mekanizması tam olarak aydınlatılamamış olsa bile NO'in azalmasının endotel disfonksiyonu ve nötrofil aracılı doku hasarıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Anaya-Prado vd., 2002).



## 2. İSKEMİ/REPERFÜZYON UYGULAMA MODELLERİ

Dokulardaki iskemi mekanizmalarının daha iyi anlaşılması için, değişik hayvan türlerinde, klinikte rastlanılan durumlarla aynı etkileri gösterebilen uygun modeller geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu modeller şunlardır; (Urbaniak vd., 1997)

1- Arteriel kan akımının durdurulması ile oluşturulan total arteriel modeli,

2- Damarlardaki akımın dışarıdan (bası, bükülme, v.s.) veya içeriden (tromboemboli) kaynaklı bir sebeple kesilmesini ifade eden total venöz modeli,

3- Dokuya gelen ve dönen kan akımının tam kesilmesiyle oluşturulan total global modeli,

4- Ven duvarının arter duvarına göre daha ince ve zayıf olması ile kısmi etki yaratılan venöz modeli.

## 3. İRH'NA KARŞI ANTIOKSİDANLAR

Serbest radikallerin metabolizmaya vereceği zarara karşı organizmada koruyucu mekanizmalar gelişmektedir. Bu mekanizmalar iki türlü işlemektedir. Bunlardan ilki serbest radikal oluşumunu engellemek şeklindedir. Diğerisi ise oluşan serbest radikallerin zararlı etkilerini önlemek şeklindedir. Her iki mekanizmayla serbest radikallere etki eden maddelerin tümü için “**antioksidanlar**” tanımı kullanılmıştır. Etki mekanizmaları farklı şekillerde olur. Bunlar; bölgesel oksijen konsantrasyonunu azaltmak, hidroksil radikallerini temizleyerek lipid peroksidasyonunu önlemek, geçiş metalleri bağlayarak etkisiz hale getirmek, peroksit maddelerin radikal olmayan ürünlere dönüşümüne etki ederek ve radikallerle reaksiyona girerek zincir reaksiyonları kırmak şeklinde olur. Antioksidan maddeler, intraselüler ve ekstraselüler olarak iki kısımda ele alınır. Oksidasyonları engelleme işlevlerini, okside substratlara oranla daha az konsantrasyonda bile etki etmeleri özellikleri sayesinde yerine getirirler.

Bununla birlikte okside moleküller belirli düzeyin üzerinde oluşursa veya antioksidan sistem yetersiz kalırsa, bu serbest radikaller yapı elemanlarından olan karbohidrat, protein, lipid, nükleik asitler ve enzimlerin yapısını bozarak zarar verirler (Halliwell ve Gutteridge, 1990).

Daha önce bahsettiğimiz gibi İRH oluşumunda serbest oksijen radikalleri önemli bir yer tutar. İskemik dokuların reperfüzyonu sonucu oluşan bu reaktif oksijen türleri ise; hidroksil radikaller, hipoklorik asit, hidrojen peroksit ve nitrik oksit ve peroksinitrit'tir (Toyokuni, 1999). An-

tioksidan maddeler bu reaktif oksijenler ile reaksiyona girerek, bunları zararsız maddeler haline dönüştüren ajanlar olup endojen kaynaklı veya eksojen kaynaklı olabilirler. **Eksojen kaynaklı olanlar; vitamin** (vitamin A, C, E, folik asit), **ilaç** (ksantin oksidaz inhibitörleri, NADPH oksidaz inhibitörleri, rekombinant süperoksit dismutaz, trolox-C, GSH-Px aktivitesini artıran ebselen ve asetilsistein, nonenzimatik serbest radikal toplayıcılar, demir redoks döngüsü inhibitörleri, nötrofil adhezyon inhibitörleri, sitokinler, barbitüratlar, demir şelatörleri) ve **gıda bazlı** (Butylated hydroxytoluene (BHT), Butylated hydroxyanisole (BHA), Sodium benzoate, Ethoxyquin, Propylgalate, Fe-superoxyde dismutase) antioksidanlardır. **Endojen kaynaklı olanlar ise; enzim olanlar** (süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GSH-Px), glutatyon S-Transferazlar (GST), katalaz (CAT), mitokondriyal sitokrom oksidaz sistemi, hidroperoksidaz) ve **enzim olmayanlar** (melatonin, seruloplazmin, transferin, miyogloblin, hemoglobin, ferritin, bilirubin, glutatyon, sistein, metiyonin, ürat, laktoferrin, albümin) olarak iki sınıfta incelenirler (Aydın, 2012).

## 2.1. İskemi Reperfüzyonda Tedavi Amacıyla Antioksidan Kullanımı

Sebze, meyve, baklagil ve çay gibi çeşitli doğal ürünlerde bol miktarda bulunan aromatik keto bileşik olan flavonoidler (Wang vd., 2018), antioksidan, antiinflamatuvar, antiviral, antikanser ve yaşlanma karşıtı özellikleri ile terapötik değere sahip olmalarının yanında (Brian ve diğerleri, 1984), ayrıca apoptozu indükleyen mitokondriyal hasarı önledikleri için bu çeşitli aktiviteleri, miyokardiyal iskemi-reperfüzyon hasarı için potansiyel bir tedavi edici ajan olarak çalışmalara konu olmuştur. Ve bununla ilgili olarak belirli hayvan modellerinde veya moleküler hücre dizilerinde flavonoid maddelerin kardiyoprotektif etkileri gösterilmiştir (An vd., 2010; Ashafaq vd., 2012; Daubney vd., 2015; Gao vd., 2014; He vd., 2016; He vd., 2010; Ji vd., 2004; Kinoshita vd., 2010; Lebeau vd., 2001; Li vd., 2014; Li vd., 2018b; Liu vd., 2016b; Panche vd., 2016; Qiu vd., 2017; Rao vd., 2007; Wang vd., 2013; Williamson vd., 2018; Wu vd., 2018a; Yang vd., 2015).

Örneğin flavonoid olan Apigenin molekülünün miyokardiyal iskemi-reperfüzyon hasarı hasar göstergesi olan MDA seviyesini önemli ölçüde azalttığı ve SOD aktivitesini arttırdığı ve bu sonucun sebebinin ise serbest radikallerin peroksidasyonunu engelleyebilme özelliği ve miyokardiyumu korumak için dokulardaki oksidaz aktivitesini aktive edebilme özelliğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir (Yang vd., 2018). Miyokardiyal İR hasarında flavonoidlerin etkisi mekanizmasını incelendiğinde; bu flavonoidin kaspaz-3 ve Bax enzimlerini engelleyerek, Bcl-2 ekspresyonunu ve kardiyak kontraktıl protein ekspresyonunu destekleyip

arttırarak, sitotoksisteyi azaltarak ve AKT, P70S6K ve ERK1/2'nin fosforilasyonunda azalmasını iyileştirip eski haline dönüştürerek etki ettiği bildirilmiştir. Flavonoidlerin ayrıca Miyokardiyal İR döngüsünde sitokrom C salınımını azalttığı, mitokondriyal membran potansiyelini stabilize edebildiği ve kardiyomiyosit apoptozu engellediği bildirilmiştir (Jia, 2021).

Antioksidan bir vitamin olan ve hem dışardan alınabilen hemde salgılanabilen bir Koenzim Q10 (Ubiquinon)'nun iskemi reperfüzyon sürecinde SOR oluşumunu antioksidan etkiyle engellediği ve endotel bağımlı vazodilatasyona pozitif yönde etkilerde bulunduğu tespit edilmiştir (56).

Başka bir çalışmada, bir amino asit öncülü olan L-2-oxothiazolidine-4-carboxylate (OTC)'ın dokudaki GSH seviyelerini arttırarak, asetaminofen kaynaklı oluşan karaciğer hasarını ve hidrojen peroksit kaynaklı endotel hasarını azalttığı tespit edilmiştir (Scuito, 1997). Benzer bir çalışmada, birçok meyve ve sebze de doğal olarak bulunan organik bir bileşik olan malik asit diethyl ester veya bir metiyonin analogunun sülfoksimin türevi olan LButhionine-sulfoximine kullanılarak glutasyonu azaltılmış dokularda İR hasarının etkilerine daha fazla hassasiyet olduğu tespit edilmiştir. Bu tespiti dayanılarak dokulardaki GSH seviyelerini arttıran moleküllerin İRH'nda koruyucu oldukları ifade edilmiştir. Bununla birlikte glutasyon metabolizması sonucu oluşan toksik moleküllerin varlığı da bilinmektedir. Serbest oksijen radikali temizleyiciliği iyi bilinen bir antioksidan olan E vitamininin bu süreçte kendisinin de serbest radikale dönüştüğü, ancak vitamin C (askorbik asit) gibi diğer bileşiklerin yardımı ile tekrardan stabilize edildiği bildirilmiştir (Jarrod, 2000). Diğer taraftan iskemi reperfüzyon sürecinde dokulardaki E vitamini seviyesinin azaldığı, bu vitaminin dışardan takviye edilmesiyle birlikte, ROT ve lipid peroksit oluşumunun azaldığı rapor edilmiştir (Massey ve Burton, 1989).

Ancak vitaminlerin birlikte (A, C ve E vitamini) veya diğer ilaç etkili maddelerle (mannitol gibi) kullanımıyla sağlanan antioksidan etkinin tekli olarak kullanılmaları sonrasındaki antioksidan etkiye oranla daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Bilgin-Karabulut, 2001). Örneğin böyle bir çalışmada E vitamini ile ilopost'un birlikte uygulanması sonucunda, İske mi reperfüzyon hasarında etkisi bilinen lipid peroksidasyonunun azaldığı, dolayısıyla İRH'nın etkilerinin azaldığı tespit edilmiştir (Bozkurt, 2002).

Başka çalışmalarda Allopurinol, SOD, katalaz ve dimetil sülfoksit'in İR hasarında düzeltme sağladığı bildirilmiştir. Yine önceki çalışmada belirtildiği gibi bu maddelerin birlikte kullanımlarının ayrı ayrı uygulamalarına oranla daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Korthuis vd.,1985). Bu maddelerin dışında başka moleküllerle (nikaravan,  $\alpha$  lipoik asit, thioredoxin, N asetilsistenin, angiotensin converting enzyme inhibitor ve kal-

siyum kanal blokörleri gibi) yapılan çalışmalar sonucunda İR hasarında azalma olduğu rapor edilmiştir (Maxwell ve Lip, 1997).

Üzüm çekirdeğinde bol mitarda bulunan antioksidan özellikleri bilinen, ayrıca serbest radikal toplayıcı, vazodilatatör, antikarsinojenik, antiallerjik, antiinflamatuvar, antibakteriyel, kardioprotektif, antiviral etkileri bilinen proantosiyanidin maddelerin İR hasarını azalttığına yönelik sonuçlar bildirilmiştir (Rice-Evans vd., 1996). Proantosiyanidin ile iloprost'un iske mi reperfüzyon hasarına karşı birlikte uygulandığı bir çalışmada iloprost ve proantosiyanidin'in oksidan oluşumunu ve antioksidan enzim düzeyini azalttığı bildirilmiştir (Aydın, 2012).

Yapılan başka bir çalışmada ise, ratlarda oluşturulan deneysel İR modelinde uzak organ (akciger ve kas) hasarına karşı, sadece hayvan dokularında bulunan ve vücut tarafından karaciğerde üretilen dipeptit olan karnozin'nin etkisi araştırılmış ve çalışmanın sonunda karnozinin akcigerdeki uzak organ hasarını azalttığı rapor edilmiştir (Alaçam, 2008). Yine benzer bir çalışmada ise Patel N.S. ve ark. (2004) ratlarda oluşturdukları iske mi reperfüzyon modelinde Eritropoetin' in etkisini incelemiş ve sonuçta yine çalışmalarda olduğu gibi iskeminin uzak doku olan böbrekteki hasarına karşı koruyuculuğu gösterilmiştir (Alaçam, 2008).

İske mi reperfüzyon modeli oluşturulan iki ayrı çalışmada İske mi reperfüzyonun akciğerdeki hasarının görülmesi ve melatonin'in bu hasara karşı etkisini anlamak için yaptıkları çalışmalarda; iske mi reperfüzyon gruplarında MDA'nın yüksek olduğu, melatonin uygulanmış gruplarda ise MDA düzeyinin azaldığı rapor edilmiştir. (Uysal vd., 2006; Okutan vd., 2004).

Benzer çalışmalarda ise ilopiloprost'un iske mi reperfüzyon sonrası farklı doku hasarlarına karşı koruyucu etkileri araştırılmış, çalışmaların sonunda iloprost uygulanan gruplarda MDA düzeylerinin İR grubuna oranla belirgin düzeyde azalma olduğu rapor edilmiştir (Bozkurt, 2002; Baltalarlı vd., 2006; Katircioğlu vd., 1998; Koksel vd., 2005).

Steroid hormon olan ve Glukokortikoid grupta yer alan madde olan metilprednizolonun iske mi reperfüzyon üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmalarda İR'ye bağlı inflamatuvar reaksiyonu ve oksidatif stresi ve hasarı azalttığı bildirilmiştir. [Yeginsu vd., 2009; Slivka ve Murphy, 2001; Turner vd., 2008; Enc vd., 2006; Chimalakonda ve Mehvar, 2007; Bourbon vd., 2004]. Bazı çalışmalarda ise bu etkinin ancak yüksek dozlarda meydana geldiği rapor edilmiştir (Slivka ve Murphy, 2001; Enc vd., 2006).

### 3. SONUÇ

İskemi reperfüzyon hasarının mekanizmasının tam olarak anlaşılması İRH'nın en çabuk şekilde önlenmesini ve zararlarının giderilmesini sağlayacaktır. Klinikteki uygulanabilecek uygulamaların geliştirilmesi için klinik tedavi yönteminin etkin olup olmadığının ölçümünün doğru şekilde yapılması önemlidir. Ekstremiteler ve fonksiyonlarının korunması birinci derecede önemlidir ancak gerçekte önemli olan husus dokuların kurtarılmasıdır. İRH'nı önleyebilecek yöntemlerin geliştirilmesi, öncelikle hasarın yoğunluğunun ve ekstremitelerde tedavinin iyi sonuç verdiğinin gösterilmesi üzerine yoğunlaşmakla mümkündür. Diğer taraftan IR hasarının oluşumunun azalması için en önemli etken erken tanı ve erken revaskularizasyonun sağlanmasıdır. Bununla birlikte bu yararlı etkinin hangi mekanizmalar aracılığı ile oluştuğunun tam olarak aydınlatılabilmesi için yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Akkoç, A. (2008). Miyokardiyal İskemi Reperfüzyon Hasarı. *Dicle Tıp Dergisi*, 35(3): 211-21.
- Alaçam, B. (2008). *Ratlarda Alt Ekstremitte İskemi Reperfüzyon Hasarına Karnozinin Etkisi*, Uzmanlık Tezi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye.
- An, W., Yang, J., Ao, Y. (2010). Metallothionein mediates cardioprotection of isoliquiritigenin against ischemia–reperfusion through JAK2/STAT3 activation. *Acta Pharmacologica Sinica*, 11: 1431–1437.
- Anaya-Prado R, Toledo-Pereyra LH, Lentsch AB, Ward PA Ischemia/reperfusion injury. *Journal Surgical Research*. 2002; 15,105: 248-58.
- Ashafaq, M., Raza, S.S., Khan, M.M. (2012). Catechin hydrate ameliorates redox imbalance and limits inflammatory response in focal cerebral ischemia. *Neurochemical Research*, 8: 1747–1760.
- Aydın, C. (2012). *İskemi-Reperfüzyon Hasarı İloprost Ve Proantosiyanidin İle Önlenebilir Mi? Hayvan Modelinde Bir Alt Ekstremitte İskemi Çalışması*. Uzmanlık Tezi, Tıp Fakültesi, Genel Cerrahi Anabilim Dalı Tıpta, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Baltalarlı A., Ozcan, V., Bir, F., Aybek, H., Sacar, M., Onem, G., Goksin, I., Demir, S., Tek, Z. (2006). Ascorbic acid (vitamin C) and iloprost attenuate the lung injury caused by ischemia/reperfusion of the lower extremities of rats. *Annals of Vascular Surgery*. 20(1): 49-55.
- .Bilgin-Karabulu, t A., Ademoglu, E., Aydın, I., Erer, M., Gokkusu, C. (2001). Protective effects of vitamins A and E pretreatment in venous ischemia/reperfusion injury. *Journal of Reconstructive Microsurgery*. 17: 425-9.
- Brian, L.J., Cook, N., Wilsonb, R.D. (1984). Flavonol glycoside distribution in cultivars and hybrids of *Leucaena leucocephala*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35: 401–407.
- Bourbon A, Vionnet M, Leprince P, Vaissier E, Copeland J, McDonagh P, et al. The effect of methylprednisolone treatment on the cardiopulmonary bypass-induced systemic inflammatory response. *Eur J Cardiothorac Surg* 2004;26:932-8.
- Bozkurt, A.K. (2002). Alpha-tocopherol (Vitamin E) and iloprost attenuate reperfusion injury in skeletal muscle ischemia/reperfusion injury. *The Journal Cardiovascular Surgery (Torino)*. 43(5): 693-6.
- Cantürk, N.Z., Sayek, İ.(2005). Cerrahi araştırma kitabı. nobel tıp kitapevleri.
- Qakes, S.A. (2007). Cell Injury, Cell Death and Adaptations. Robbins and Cotran Pathologic Basis of Disease, 8th Edition, Philadelphia: Elsevier Saunders, 1-29.

- Chimalakonda, A.P., Mehvar, R. (2007). Effects of methylprednisolone and its liver-targeted dextran prodrug on ischemia-reperfusion injury in a rat liver transplantation model. *Pharmaceutical Research*, 24: 2231-2238.
- Collard, C.D., Lekowski, R, Jordan, J.E., Agah, A., Stahl, G.L. (1999). Complement activation following oxidative stress. *Molecular Immunology*, 1999; 36: 941-48.
- Eltzschig, H.K., Collard, C.D. (2005). Vascular ischaemia and reperfusion injury. *British Medical Bulletin*. 139: 73-74.
- Daubney, J., Bonner, P.L., Hargreaves, A.J. (2015). Cardioprotective and cardiotoxic effects of quercetin and two of its in vivo metabolites on differentiated H9c2 cardiomyocytes. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 2: 96-109.
- David, J., Rosario, S., Barry C. Peroxynitrite Inhibits Leukocyte-Endothelial Cell Interactions and Protects Against Ischemia-Reperfusion Injury in Rats *J Clin Invest* 1997; 99: 684-91.
- Derwesh, I.H, Novick, A.C. (2005). Mechanism of renal ischaemic injury and their clinical impact. *BJU International*, 95: 948-50.
- Enc, Y., Karaca, P., Ayoglu, U., Camur, G., Kurc, E., Cicek, S. (2006). The acute cardioprotective effect of glucocorticoid in myocardial ischemia-reperfusion injury occurring during cardiopulmonary bypass. *Heart Vessels*, 21: 152-6.
- Engin, A., Altan, N.(2000). Effects of obstructive jaundice on the antioxidative capacity of human red blood cells. *Hematologia*, 30(2): 91-96.
- Ertan, T., Soran, A., Kılıç, M., Aşlar, A.K., Koç, M., Cengiz, Ö. (2001). Kan Malondialdehid ve total antioksidan seviyesinin (TAS) önemi. *Cerrahi Tıp Bülteni*, 4: 154-67.
- Evans, C.A.R., Diplock., A.T, Symons, M.C.R. (1991). Introduction to free radicals and mechanisms of radical production. *Techniques in free radical research volume* 22, 4: 1-49.
- Grace, P.A. (1994). Ischaemia-reperfusion injury. *British J of Surgery*, 81: 637-47.
- Gao, Y. Y., Ma, Y. X., Wang, Y. L. (2014). Total flavonoids from Ganshanbian (Herba Hyperici Attenuati) effect the expression of CaL-a1C and KATP-Kir6.1 mRNA of the myocardial cell membrane in myocardial ischemia-reperfusion arrhythmia rats. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 34(3): 357-361.
- Gawaz, M. (2004). Role of platelets in coronary thrombosis and reperfusion of ischemic myocardium. *Cardiovasc Res*. 15: 498-511.
- Girotti, A.W.(2000). Lipid hydroperoxide generation, turnover, and effector action in biological systems. *Journal of Lipid Research*, 39: 1529-42.

- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.(1990). The antioxidants of human extracellular fluids. *Arch Biochem Biophys.* 280: 1-8.
- Hoffman, J.N., Vollmar, B., Laschke, M.W., Fertmann, J.M., Jauch, K.W., Menger, M.D. (2005). Microcirculatory alterations in ischemia-reperfusion injury and sepsis of activated protein C and thrombin inhibition. *Critical Care*, 9: 33-7.
- He, J.K., Yu, Y., Chen, X.J. (2010). Research progression drug metabolism of flavanoids. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 21: 2789–2794.
- He, F., Xu, B.L., Chen, C. (2016). Methylophiopogonanone A suppresses ischemia/reperfusion-induced myocardial apoptosis in mice via activating PI3K/Akt/eNOSsignaling pathway. *Acta Pharmacologica. Sinica*, 6: 763–771.
- Jarrold, W.(2000). Antioxidants In Prevention Of Reperfusion Damage Of Vascular Endothelium. *TSMJ*, 1: 67-71.
- Ji, E.S., Yue, H., Wu, Y.M., He, R.R. (2004). Effects of phytoestrogen genistein on myocardial ischemia/reperfusion injury and apoptosis in rabbits. *Acta Pharmacologica. Sinica*, 3: 306–312.
- Jia, J.Y., Zang E.H., Lv, L.J., Li, Q.Y., Zhang, C.H., Xia, Y., Zhang, L., Dang, L.S., Li, H.L. (2021). Flavonoids in myocardial ischemia-reperfusion injury: Therapeutic effects and mechanisms, *Chinese Herbal Medicines*, 13: 49–63.
- Katircioglu, S.F., Saritas, Z., Ulus, A.T., Yamak, B., Yücel, D., Ayaz, S.(1998). Ilprost added to the cardioplegic solutions improves myocardial performance. *Prostaglandins & other Lipid Mediators.* 55: 51-65.
- Kinoshita, T., Lepp, Z., Kawai, Y. (2010). An integrated database of flavonoids. *Biofactors*, 26: 179–188.
- Koksel, O., Ozdulger, A., Aytacoglu, B., Tamer, L., Polat, A., Sucu, N., Yildirim, C., Degirmenci, U., Kanik, A.(2005). The influence of ilprost on acute lung injury induced by hind limb ischemia-reperfusion in rats. *Pulmonary Pharmacolgy & Therapeutics*, 8(4):235-41.
- Korthuis, R.J., Granger, D.N., Townsley, M.I., Taylor, A.E. (1985). The role of oxygendederived free radicals in ischemia-induced increases in canine skeletal muscle vascular permeability. *Circulation Research*, 57: 599-609.
- Kumar, V., Cotran, R., Robbins, S.L. (2000). Temel patoloji (Basic Pathology), 6. edisyon, 6(10): 30-36.
- Lebeau, J., Nevriere, R., Cotelte, N. (2001). Beneficial effects of different flavonoids, on functional recovery after ischemia and reperfusion in isolated rat heart. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 11(1): 23–27.
- Leo, R., Pratico, D., Iuliano, L., Pulcinelli, F.M., Ghiselli, A., Pignatelli, P., Colavita, A.R., FitzGerald, G.A., Violi, F.(1997). Platelet activation by supe-



- roxide anion and hydroxyl radicals intrinsically generated by platelets that had undergone anoxia and then reoxygenated. *Circulation*, 18: 885-91.
- Li, C., He, J., Gao, Y., Xing, Y., Hou, J., Tian, J. (2014). Preventive effect of total flavones of *Choerospondias axillaries* on ischemia/reperfusion-induced myocardial infarction-related MAPK signaling pathway. *Cardiovascular Toxicology*, 2: 145–152.
- Li, D., Lu, N., & Han, J. (2018a). Eriodictyol attenuates myocardial ischemia-reperfusion injury through the activation of JAK2. *Frontiers in Pharmacology*, 9,33.
- Liu, S., Ai, Q., Feng, K. (2016b). The cardioprotective effect of dihydromyricetin prevents ischemia-reperfusion induced apoptosis in vivo and in vitro via the PI3K/Akt and HIF-1 $\alpha$  signaling pathways. *Apoptosis*, 12, 1366–1385.
- Panche, A.N., Diwan, A.D., Chandra, S.R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5: 1–15.
- Majno, G., Ames, A., Chiang J, Wright, R. (1967). No reflow after cerebral ischemia. *Lancet* 2: 569–70.
- Marnett, L.J. (2000). Oxyradicals and DNA damage. *Carcinogenesis*, 21: 361-70
- Massey, K.D., Burton, K.P. (1989). Alpha-tocopherol attenuates myocardial membrane-related alterations resulting from ischemia and reperfusion. *American Journal of Physiology*, 256: 1192-99.
- Maxwell, S.R., Lip, G.Y. (1997). Reperfusion injury: a review of the pathophysiology, clinical manifestations and therapeutic options. *International Journal of Cardiology*, 58: 95-117.
- Okutan, H., Savas, Ç, Delibas N. The antioxidant effect of melatonin in lung injury after aortic occlusion-reperfusion. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery* 3 2004; 519-522.
- Patel, N.S., Sharples, E.J., Cuzzocrea, S., Chatterjee, P.K., Britti, D., Yaqoob, M.M., Thiernemann, C. (2004). Pretreatment with EPO reduces the injury and dysfunction caused by ischemia reperfusion in the mouse kidney in vivo. *Kidney international*, 66(3): 983-9.
- Qiu, Y., Cong, N., Liang, M. (2017). Systems pharmacology dissection of the protective effect of myricetin against acute ischemia/reperfusion-induced myocardial injury in isolated rat heart. *Cardiovascular Toxicology*, 3: 277–286.
- Rao, P.R., Viswanath, R.K. (2007). Cardioprotective activity of silymarin in ischemia-reperfusion-induced myocardial infarction in albino rats. *Experimental and Clinical Cardiology*, 4: 179–187.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganda, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20: 933-56.

- Scuito, A.M.(1997). Antioxidant properties of glutathione and its role in tissue protection, in oxidants, antioxidants and free radicals. *Taylor and Francis Publishers*. 2: 171-91.
- Siemionow, M., Arslan, E. (2004). Ischemia/reperfusion injury: a review in relation to free tissue transfers. *Microsurgery*. 24: 468-75.
- Slivka, A.P., Murphy, E.J.(2001). High-dose methylprednisolone treatment in experimental focal cerebral ischemia. *Experimental Neurology*, 167:166-72.
- Toyokuni, S. (199). Reactive oxygen species-induced molecular damage and its application in pathology. *Pathology international*, 49: 91-102.
- Turner, S., Derham, C., Orsi, N.M., Bosomworth, M., Bellamy, M.C., Howell, S.J.(2008). Randomized clinical trial of the effects of methylprednisolone on renal function after major vascular surgery. *British Journal of Surgery*, 95: 50-6.
- Urbaniak, J.R., Seaber, A.V., Chen, L.E.(1997). *Assessment of ischemia and reperfusion injury. Clinical Orthopaedics and related research*, 334: 30-36.
- Unno, N., Fink, M.P. (1998). Nutritional, physiologic, and pathophysiologic considerations of the gastrointestinal tract. Intestinal epithelial hyperpermeability. Mechanisms and relevance to disease. *Gastroenterology Clinics*, 2: 289-307.
- Uysal, A., Akar İ, Özsin, K.K., Rahman, A., Üstündag, B., Özercan, H.İ.(2006). Alt ekstremité iskemî reperfüzyonunun yol açtığı akciğer hasarında melatoninin koruyucu etkinliği. *Türk Göğüs Kalp Damar Cerrahisi Dergisi*, 14: 4, 308-314.
- Wang, Y., Zhang, Z. Z., Wu, Y. (2013). Quercetin postconditioning attenuates myocardial ischemia/reperfusion injury in rats through the PI3K/Akt pathway. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 10, 861–867.
- Wang, T. Y., Li, Q., Bi, K. S. (2018). Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13, 14–25.
- White, M.J., Heckler, F.R.(1990). Oxygen free radicals and wound healing. *Clinics in Plastic Surgery*, 17: 473-84.
- Williamson, G., Kay, C. D., Crozier, A. (2018). The bioavailability, transport, and bioactivity of dietary flavonoids: A review from a historical perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17: 1054–1112.
- Wink, D.A., Mitchell, J.B.(1998). Chemical biology of nitric oxide: Insights into regulatory cytotoxic, and cytoprotective mechanisms of nitric oxide. *Free Radicals in Biology and Medicine*, 25: 434-38.
- Wu, J., Nan, X., Yang, Y. (2018a). Chrysin attenuates myocardial ischemia–reperfusion injury by inhibiting myocardial inflammation. *RSC Advances*, 25: 13739–13746.

- Yang, X., Yang, J., Hu, J. (2015). Apigenin attenuates myocardial ischemia/reperfusion injury via the inactivation of p38 mitogenactivated protein kinase. *Molecular Medicine Reports*, 12(5): 6873–6878.
- Yang, L. Y., Xian, D. H., Xiong, X., Lai, R., Song, J., Zhong, J. Q. (2018). Proanthocyanidins against Oxidative Stress: From molecular mechanisms to clinical applications. *BioMed Research International*, 1–11.



“

# Bölüm 17

## GIDA ENDÜSTRİSİNDE NANOTEKNOLOJİ VE UYGULAMA ALANLARI

*Neslihan ÇELEBİ<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Doç. Dr. Atatürk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu  
Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojisi Bölümü, Kimya Teknolojisi  
Programı Erzurum. nes25@atauni.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7157-5598>

## Giriş

Gıda; yaşamı sürdürmek ve enerji üretmek için canlı organizmalar tarafından alınıp parçalanarak, vücutta işlenip tüketilen besin değeri içeren madde olarak tanımlanmaktadır. Canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için beslenmek zorundadır. Gıda olarak tüketilen maddelerin çoğu, tarım, hayvancılık, su ürünleri yetiştiriciliği ve balıkçılıktan karşılanmaktadır. Günümüzde insanlar koruyucu ve katkı maddesi içermeyen, yüksek kalitede, doğal, taze, mikrobiyolojik açıdan güvenli, raf ömrü uzun gıdaları tüketmek istemektedirler. Bu nedenle gıdaların daha uzun ömürlü ve kaliteli olmasını sağlamak amacıyla nanoteknolojinin sunmuş olduğu imkanlardan yararlanmak üzere nanoteknoloji alanındaki çalışmalara ağırlık verilmiştir.

Gıda nanoteknolojisinin geçmişi, gıda işleme ve gıda kalitesinde iyileştirme devriminin başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Pasteur, bozulmaya neden olan bakterileri öldürmek için Pastörizasyon adı verilen işlemi uygulayarak ilk adımı atmıştır. Daha sonra Watson ve Crick'in bulunduğu yaklaşık 2,5 nm olan DNA yapısı modeli ile biyoteknoloji, biyomedikal, tarım ve üretim süreçlerinde nanoteknoloji uygulamalarının kapılarını açmıştır. 1 nm boyutunda karbon nanotüplerin “buckyball fullerene” icadı ile karbon, gıda sektöründe geniş bir uygulama alanı bulmuştur. (C. Chellaram, G. Murugaboopathi ve A.A. John, 2014; B. S Sekhon, 2010)

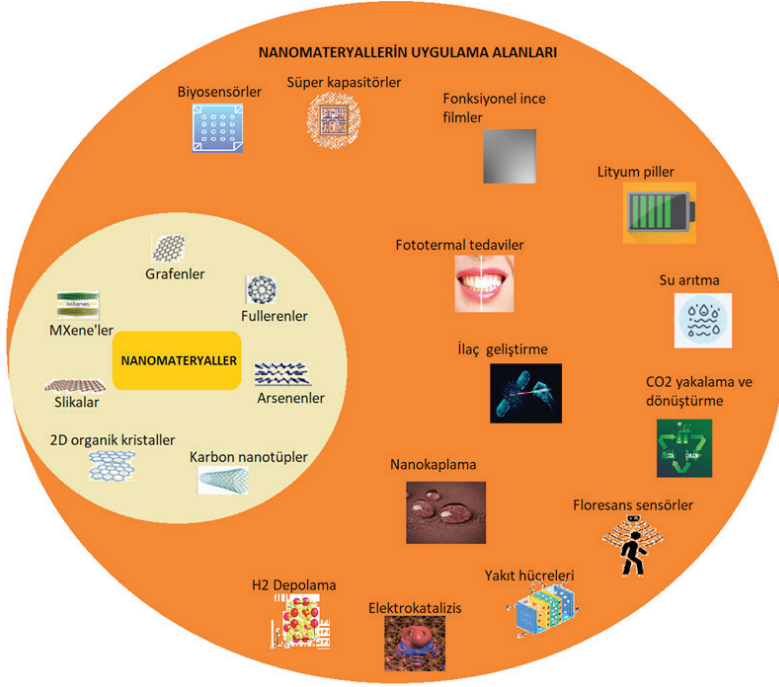
Bir nanometre  $10^{-9}$  metreye eşittir ve bir virüs boyutundan daha küçüktür. Nanoteknolojinin boyutuna ve ölçeğine ilişkin örnekler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

DNA çapı	2,5 nanometre x 1000
Bakterinin boyu	2,5 mikrometre ← x 1000
Yağmur damlasının çapı	2,5 milimetre ←
Karbon nanotüpün çapı	1 nanometre x 100 000
Saç telinin çapı	100 mikrometre ← x 100 000
Bir yataın boyu	10 metre ←
Bir nanopartikülün çapı	4 nanometre x 1 000 000
Karıncanın boyu	4 milimetre ← x 1 000 000
Motor yarış pistinin boyu	4 kilometre ←

**Tablo 1.** Nanoteknolojinin boyutuna ve ölçeğine ilişkin örnekler.

Nanoteknoloji 1 ila 100 nanometre arasında değişen yapıların ve bileşiklerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini inceleyen ve bu malzemelerin işlenmesini, tasarlanmasını, modellenmesini ve düzenlenmesini sağlayan multi disiplinler bir bilim dalıdır. Nanoteknoloji alanında yapılan çalışmalar yeni bir sanayi devrimi meydana getirmiştir. Nanotek-

noloji konusunda, tarım, gıda, tıp ve endüstri gibi çeşitli alanlarda yeni özelliklere sahip yapıların, malzemelerin veya sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanması için çalışmalar yapılmaktadır (T. Singh,S. Shukl, PKumar ve V. Wahla,2017)



**Şekil 1.** Nanomateriyaller ve nanomateriyallerin uygulama alanları.

Gıda işleme ve paketlenme, fonksiyonel gıda geliştirme, gıda güvenliği, gıda kaynaklı patojenlerin tespiti ve gıda ürünlerinin raf ömrünün uzatılması için nanoparçacık kullanımına olan ihtiyacın artması sebebiyle nanoteknolojinin gıda bilimi ve gıda mikrobiyolojisinin çeşitli alanlarında uygulamaları ortaya çıkmıştır. Son yıllarda hızla gelişen bu teknoloji, yetiştirmeden gıda üretimine, işlemeye, paketlenmeye, nakliyeye, raf ömrüne ve besinlerin biyoyararlanımına kadar gıda sisteminin her aşamasını etkilemektedir. Son zamanlarda sıklıkla kullanılan “Nanogıda” terimi, nanoteknoloji teknikleri veya araçları kullanılarak üretilen, yetiştirilen, işlenen veya paketlenen ve bu süreçte nanomateriyallerin eklendiği gıdaları tanımlamaktadır. Gıdaların bir çoğunun yapısında nano ölçekte yapılar bulunduğu nanogıda, aslında yüzyıllardır gıda işlemenin bir parçası olmuştur. Nanogıdanın amacı, gıda güvenliğini, biyoyararlanımı ve lezzeti artırmak ve maliyetleri düşürmektir. Nanogıda alanındaki gelişmelerle birlikte nanoparçacıklar artık gıda endüstrisinin bir çok alanında uygulanmaktadır. Nanopartiküllerin gıda endüstrisinde kullanımında, özellikle gıda işleme, paketlenme, depolama ve yenilikçi ürünlerin geliştirilmesinde

önemli mesafeler kat edilmiştir ( D.Kalita and S. Baruah, 2019; , S. Saha- ni, Y.C. Sharma, 2021 ).

Nanoteknoloji, kaliteli, sağlıklı ve güvenilir gıda üretimi yapabilmek için, gıda paketlenme sistemlerini geliştirmek, gıdaların izlenebilirliği için biyosensörler kullanmak, aktif ve akıllı paketlenme sistemleri geliştirerek bakterilerin tanımlanmasını yapmak üzere gıda endüstrisinde bir çok alanda uygulanmaktadır. Gıda işlemede, bu nanoyapılar, gıda katkı maddeleri, besinlerin akıllı dağıtımı için taşıyıcılar, topaklanma önleyici maddeler, antimikrobiyal maddeler, ambalaj malzemesinin mekanik mukavemetini ve dayanıklılığını geliştirmek için dolgu maddeleri vb. olarak kullanılabilirken, gıdaların kalitesi ve güvenlik değerlendirmesi için nanosensör olarak da uygulanabilmektedir. Nanobiyosensörler, paketlenmiş ürünlerde mekanik ve termal direnci artırarak ve oksijen transferini azaltarak gıdanın raf ömrünü uzatmak için, gıda veya nanokompozitlerdeki patojenlerin varlığını tespit etmek için kullanılabilir. Nanopartiküller antimikrobiyal özellikleri nedeniyle, gıdaların bozulmasını engelleyip güvenli tutmak için gıda ambalaj malzemelerine dahil edilebilmektedir. Ayrıca, kapsüllenmiş nanopartiküllerin kullanımı, pestisitler, gübreler, biyositler, veteriner ilaçları, katkı maddeleri, antimikrobiyaller ve detoksifiye edici bileşikler gibi nano formüle edilmiş zirai kimyasalların geliştirilmesini sağlamaktadır. Gıda maddelerinin ve katkı maddelerinin nanokapsüllemesi, koruyucu bariyerler, tat ve tat maskeleyici, kontrollü salınım ve suda çözünmeyen gıda maddeleri ve katkı maddeleri için daha iyi dağıtılabilirlik sağlamıştır. Gıda işleme sırasında, gıdanın besleyici değerini, akış özelliklerini, lezzeti, rengi ve kararlılığını geliştirmek veya raf ömrünü artırmak için nanopartiküller kullanılmaktadır ( A,G. Ingale ve A.N. Chaudhar, 2017 ; A. Onay, 2022; M. Yılmaz, F, Altay, 2014).

Nanoteknoloji, insan sağlığı için daha az yağ, şeker ve tuz içeren sağlıklı gıdaların geliştirilmesine yardımcı olabilir. Nanoteknolojinin gıda sektöründeki uygulamaları ile gıda analizi, tatlar veya renkler, içme suyu analizleri ve klinik teşhisler için sensörler geliştirilmiştir. Nanoteknoloji, sadece gıda kalitesini iyileştirmek için değil aynı zamanda gıda lezzetinin geliştirilmesine yardımcı olur.

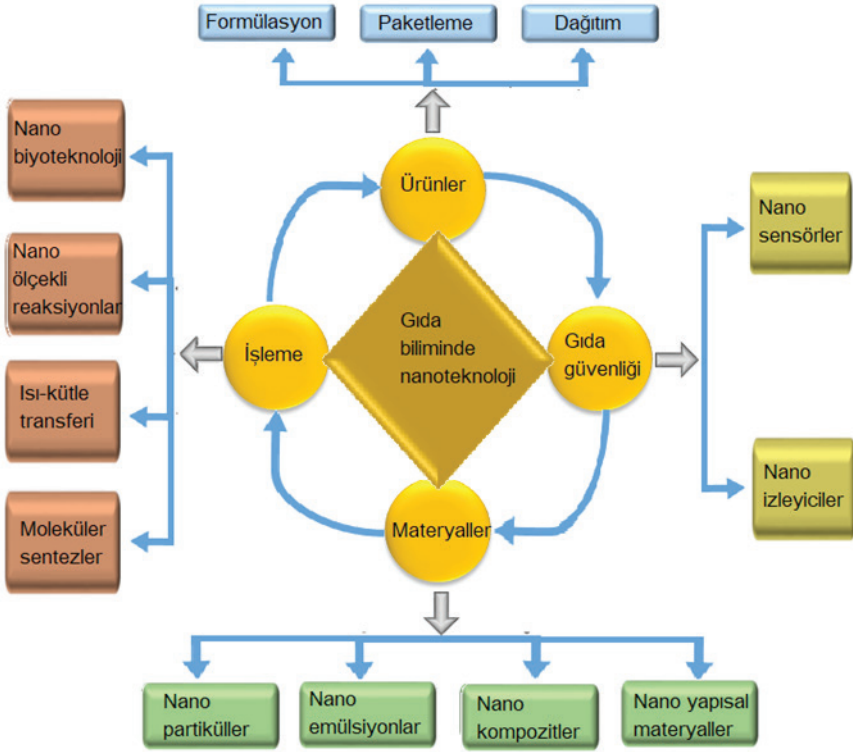
Pek çok doğal gıda nano ölçekli bileşenler içerir ve bu besinler nesiller boyu güvenle tüketilmiştir. Aslında, gıdanın en önemli ham maddelerinden bazıları (proteinler, nişastalar ve yağlar) normal gıda işleme sırasında da yapısal değişikliklere uğrarlar. Örneğin gıda proteinleri denatürasyona uğrayabilir ve denatüre bileşenler yeniden birleştirilerek fibriller veya agregatlar gibi daha büyük yapılar ve daha da büyük jel ağları oluşturulabilir. Gıdalarda doğal olarak var olan nanoyapılar üzerine yapılan araştırmalar, temel olarak gıdanın işlevsel davranışını iyileştirmek için tasarlanmıştır. Gıda nanoteknolojisi de doğal maddeden farklı



özelliklere sahip olan nanopartiküller üretmek için yoğun araştırmalarını sürdürmektedir. Gıda takviyeleri, antibakteriyel özellikte yiyecek ve içecek konulacak malzemelerin yapılması, nanokapsülasyon gibi teknikler kullanarak çevre koşullarına karşı daha dayanıklı, esnek, ışığa ve gazlara karşı koruyucu özellikte gıda ambalajlarının üretilmesi, gıda alanında nanoteknoloji çalışmalarının temelini oluşturmaktadır ( H. Yousefi, H. M. Su, S. M. Imani, K. Alkhaldi, 2019).

## Nanoteknolojinin Gıda Endüstrisindeki Uygulamaları

Nanoteknolojinin gıda alanındaki uygulama alanlarını gıda üretimi, işlenmesi, depolanması, dağıtımı ve gıda güvenirliliği şeklinde sıralamak mümkündür. Şekil 2 de gıda biliminde nanoteknolojinin uygulama alanları şematize edilmiştir.



Şekil 2. Gıda biliminde nanoteknolojinin uygulama alanları.

### 1. Nanomalzeme türleri ve nanoyapılar

Yeni yapılar oluşturmak ve gıdalara sıra dışı işlevler katmak için farklı tipte fonksiyonel nanoyapılar, yapı taşları olarak kullanılabilir. Bunlar içerisinde nanopartiküller, nanolipozomlar, nanoemülsiyonlar ve nanolifler gıda endüstrisinde geniş kullanım alanları bulmaktadır. Gıda

endüstrisinde kullanılan nanomalzemeler inorganik ve organik maddeler içermektedir. Bu maddeler inorganik, yüzey işlevselleştirilmiş malzemeler ve organik mühendislik ürünü nanomalzemeler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır ( M.M. Berekaa,2015).

Yüzey işlevselleştirilmiş nanomalzemeler, gıdalara antimikrobiyal aktivite veya oksijenin emilmesi yoluyla koruyucu bir etki kazandırır. Gıda paketlenme malzemelerinde kullanılmak için, işlevselleştirilmiş nanomalzemeler, gazların, uçucu bileşenlerin veya nemin hareketine karşı bir bariyer sağlamak üzere polimer matrisle bağlanmak amacıyla kullanılmaktadır.

Organik nanomalzemeler, gıda/yem üretiminde, geleneksel eşdeğerleriyle karşılaştırıldığında, artan emilim ve vitaminlerin, antioksidanların vücuttaki biyoyararlanımını iyileştirdiği için kullanılmaktadır. Domateste bulunan karotenoid likopen organik nanomateryaller için iyi bir örnektir. Nano boyutta likopenin sentetik bir formu üretilerek doğal likopen ile karşılaştırıldığında eşdeğer özelliklerde olduğu belirlenmiştir.

İnorganik nanomalzemeler arasında gümüş ve demir gibi yumuşak geçiş metalleri, kalsiyum ve magnezyum gibi toprak alkali metaller, selenyum ve silikatlar gibi metal olmayan maddeler ve titanyum dioksit gibi metal oksitleri gıda katkı maddeleri, paketlenme veya depolama uygulamalarında kullanılmaktadır ( H. Yousefi, H. M. Su, S. M. Imani, K. Alkhalidi,2019).

## 2. Nanoemülsiyonlar

Nanoemülsiyonlar; proteinler, vitaminler, antioksidanlar, mineraller ve esansiyel yağlar gibi çeşitli gıda maddelerinin biyoyararlılığını artıran, bu gıdaları çevresel koşullara karşı dayanıklı hale getiren ve vücutta hedeflenen dokulara taşınmasını sağlayan sistemleridir. Nanoemülsiyonlar, 10 ila 1000 nm arasında değişen farklı damlacık boyutuna sahip ve amorf katı küreler içeren su içinde yağ emülsiyonları şeklinde koloidal parçacıklı yapılardır. Nanoemülsiyonlar geleneksel emülsiyonlarla karşılaştırıldığında biyoaktif bileşikler için iyi bir taşıyıcı olarak hareket ederler. Bunun yanı sıra yüksek optik netlik, fiziksel kararlılık ve gelişmiş biyoyararlanım gibi özellikler sağlamaktadırlar (N. Dura'n ve P. D. Marcato,2013).

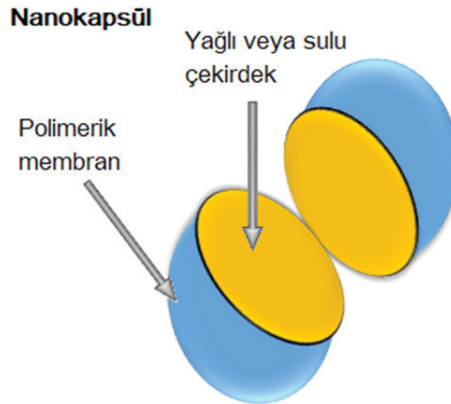
Nanoemülsiyonlar, biyoaktif ürünlerin taşınması için nanodamlacıklar kullanarak sedimentasyon ve topaklanmayı engelleyen önemli nanomalzemelerdir. Lipaz gibi yüzey aktif maddeler için substratların erişilebilirliklerini artırdıkları belirtilmiştir. Nanoemülsiyonlar sadece ürün görünümünü iyileştirmekle kalmayıp aynı zamanda nanokapsülleme yöntemi ile yağların ve yağda çözünebilen besinlerin sindirimini artırmak-

tadır. Nanoemülsiyonlar, gıda paketlenme araçlarını zararlı maddelerden arındırarak gıdaların paketlenmesinde de kullanılmaktadır. Nanoemülsiyonlar, yüksek berraklıkları nedeniyle nanoemülsifiye edilmiş biyoaktif maddelerin ve aromaların, ürün görünümünde bir değişiklik olmadan ortama eklenmesini sağladıkları için son zamanlarda kullanımları oldukça yaygınlaşmıştır. Nanoemülsiyonlar çeşitli gıda patojenlerine karşı da etkilidir. Bu nedenle gıda üretim tesislerinin yüzey dekontaminasyonu ve tavuk derisinin yüzey kontaminasyonunun azaltılmasında kullanılabilir (S. H. Nile, V. Baskar, D. Selvaraj, A. Nile, 2020).

### 3. Nanokapsüller

Gıdaların işlenmesi ve dağıtımı esnasında depolama koşullarının etkisi ile biyoaktif maddelerin toksik maddelere dönüşmelerini engellemek için nanokapsüller kullanılmaktadır. Gıdalarda mikroenkapsülasyon teknolojisinin kullanımı ile gıda ambalajlarında koruyucu bariyerler oluşturulması, istenmeyen lezzet ve tadın maskelenmesi, biyoyararlanımın artırılması, kontrollü salınım gibi etkiler sağlanmaktadır. Ayrıca nanokapsüller membran tipi ilaç taşıyıcı sistemler olarak kullanılmaktadır (Ladan Rashidi & Kianoush Khosravi-Darani, 2011).

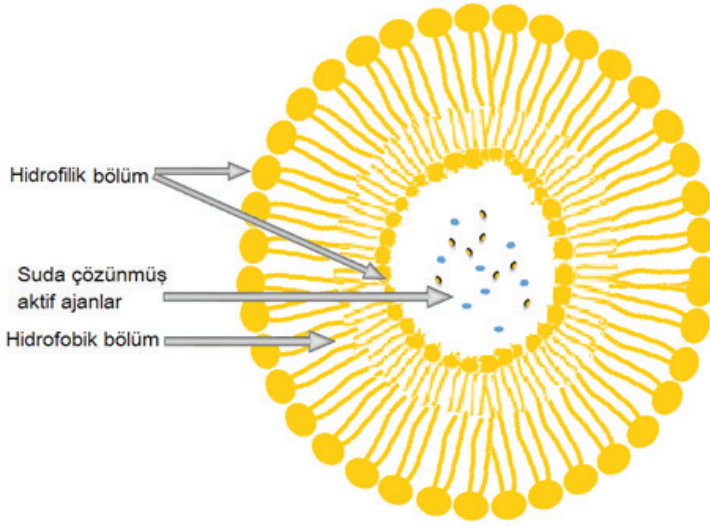
Nanokapsülleme teknikleri, lezzet salınımını ve kalıcılığını iyileştirmek için geniş çapta kullanılmıştır. Lipitler, proteinler gibi biyoaktif bileşiklerin çoğu, karbonhidratlar ve vitaminler, mide ve duodenumun yüksek asitli ortamına ve enzim aktivitesine duyarlıdır. Bu biyoaktif bileşiklerin kapsüllemesi, yalnızca bu tür olumsuz koşullara direnmelerini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gıda ürünlerinde kolayca bozulmaların önüne geçer. Nanopartikül bazlı küçük yenilebilir ilaçların, vitaminlerin dağıtımını iyileştirmek amacıyla nanokapsülleme işlemi yapılmaktadır (S. H. Nile, V. Baskar, D. Selvaraj, A. Nile, 2020).



Şekil 3. Nanokapsülün temsili gösterimi.

#### 4. Lipozomlar

Lipozomlar, sulu ortamdaki bileşenlerin doğru kombinasyonu ile kapalı, sürekli çift katmanlı küresel fosfolipit yapılı veziküller halinde oluşturulan kolloidal yapılardır. Lipozomlar, aktif maddelerin etkinliğini arttıracak ve arzu edilmeyen maddelerin toksik özelliklerini azaltacak şekilde, seçici olarak maddelerin taşınmasında kullanılmaktadır (C. Chellaram,2014; B. S. Sekhon, 2010; E. Kırtıl, M.H. Öztop,2014). Şekil 4 de temsili bir lipozom görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. Temsili bir lipozom görüntüsü .

Gıda endüstrisinde kullanılan lipozomlar fonksiyonel bileşenleri kapsülleyerek besin maddeleri, vitaminler, nutrasötikler, enzimler ve katkı maddelerinin kontrollü bir şekilde dağıtımına imkan verirler. Son zamanlarda gıda antimikrobiyallerinin lipozomlarla bütünleştirilmesi ile gıdaların patojenik mikroplardan ve bozulmalardan korunabileceği bulunmuştur. Lipozomların küçük boyutlu olması ve daha geniş ara yüzeylere sahip olması, kapsüllenmiş fonksiyonel bileşenlerin daha fazla biyoyararlanımını sağlamaktadır (C. Chellaram,2014; B. S. Sekhon, 2010).

#### 5. Karbon nanotüpler

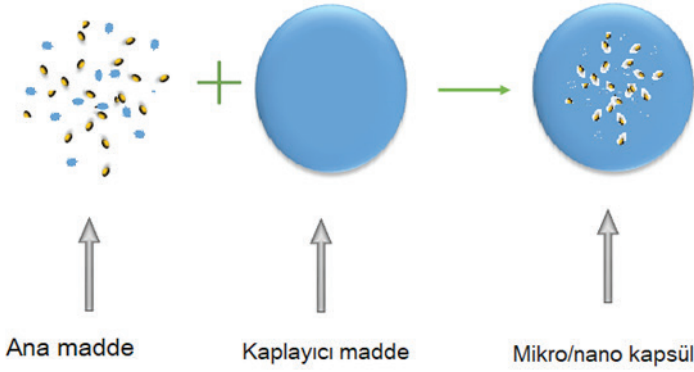
Karbon nanotüpler tek katmanlı karbon atomlarının (grafen) rulo haline getirilmiş tabakalarından oluşan silindirik moleküllerdir. Çapları 1 nanometreden (nm) daha az olan tek duvarlı ve çapları 100 nm'den fazla olan birkaç eş merkezli birbirine bağlı nanotüpten oluşan çok duvarlı yapılarıdır. Uzunlukları birkaç mikrometreye ve hatta milimetreye ulaşabilir.

Nanomalzemelerin ilaç taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı sistemlere, karbon nanotüpler, altın/gümüş silika nanopartiküller örnek olarak verilebilir.

Gıda ambalajlama alanında yeni teknolojilerden biri olarak görülen karbon nanotüp uygulamaları ile ürünün fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kalitesi artırılmıştır. Karbonnanotüp kullanımının bozulmayı geciktirdiği ve gıda kontrolünde iyi bir potansiyelinin olduğunu belirten çalışmalar mevcuttur. Antimikrobiyel özellikli karbon nanotüp üretiminde antimikrobiyel maddelerin tüplere entegre edilmesi ile mikropların dekontaminasyonu sağlanmıştır ( D. Nath, R.Chetri, P. Sarkar,2022).

## 6. Nanoenkapsülasyon

Malzemelerin nano boyuttaki taşıyıcılarda nano ölçekte paketlenmesine nanoenkapsülasyon denir. Nanoenkapsülennmiş gıda katkı maddeleri, tuz, yağ, şeker ve kimyasal koruyucuların kullanımının azalmasıyla gıda materyalinde istenmeyen değişiklikleri önler ve biyoaktif bileşenlerin salınımına imkan sağlar. Gıda katkı maddelerinin dağıtımı için nano yapı düzeneklerinin tasarımı konusunda son zamanlarda bir çok çalışma yapılmıştır. Gıda takviyeleri, istenmeyen tadı maskeleyerek, biyoyararlanımı artırmak ve yüzey aktif maddelere veya emülgatörlere ihtiyaç duymadan çözünmeyen katkı maddelerinin daha iyi dağılmasına izin vermek için nano boyutlu taşıyıcı sistemler veya nanokapsüller şeklinde lipozomlar, miseller veya protein bazlı, nano gıda katkı maddeleri kullanılmıştır. Nanokapsülleme sırasında gıda katkı maddeleri nanokompozit polimer içine alınmaktadır. Nanokapsülleme konusunda zerdeçal iyi bir örnektir. Zerdeçalın anti-kanser aktivitesi, hidrofobik olarak modifiye edilmiş nişasta içinde kapsülleme ile artırılmıştır. Probiyotiklerin mide-bağırsak kanalındaki belirli bir bölgeyi hedefleyecek şekilde nanokapsülennmesi biyoyararlanımlarını artırmıştır. İnorganik nano boyutlu katkı maddeleri ve kompozitler; gümüş, demir, kalsiyum, magnezyum, selenyum ve silis, gıdalarda tatları geliştirmek için koruyucu ve katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Bu nanoyapılı fonksiyonel bileşikler, lipozomlar veya miseller içinde kapsülennir. Nanokapsülennmiş maddeler, gıdaları termal bozulmadan korumakta ve gıda katkı maddelerinin tatlarının maskelenmesine yardımcı olmaktadır (H, M.C. deAzeredo,2009; D. Nath, R.Chetri, P. Sarkar,2022).

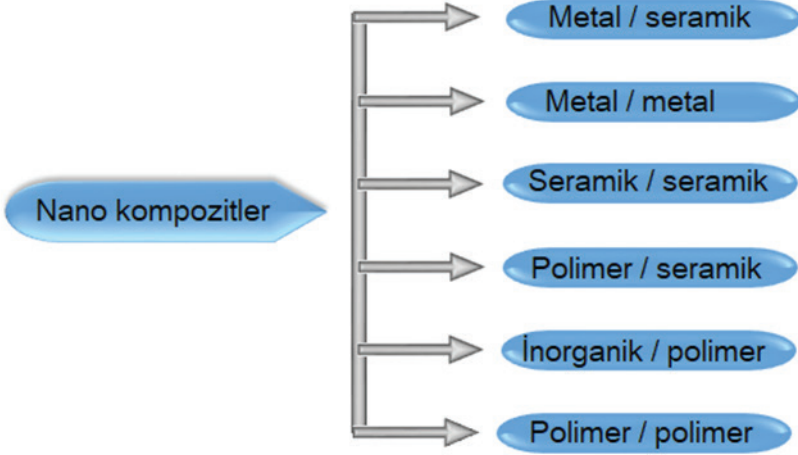


Şekil 5. Nanokapsülasyon.

Probiyotikler vücut sistemlerinin dengeli biçimde çalışmasına yardımcı olan yararlı bakteri ve mayaların canlı karışımları olarak tanımlanır. Kapsüllemiş içerik formları, ürüne daha uzun raf ömrü sağlar. Nanokapsülleme ile gastrointestinal sistemin belirli bölümlerine istenilen probiyotik bakteriler verilebilir. Nişasta benzeri bir nanoparçacık, lipidlerin oksidasyonunu durdurmaya yardımcı olabilir ve bu nedenle su içinde yağ emülsiyonlarının stabilitesini artırabilir. Doğal pigment olan kurkuminin sağlığa olan yararları, nanoemülsiyonlarda kapsülleme ile artırıldığını gösteren araştırmalar vardır (H, M.C. deAzeredo,2009; D. Nath, R.Chetri, P. Sarkar,2022).

## 7. Nanokompozitler

Gıda paketleme için kullanılan malzemelerin çoğu doğada kolay bozunmaz ve çevre sorunlarına neden olur. Çevreyle dost gıda paketleme malzemeleri geliştirmek için çeşitli biyopolimerlerden faydalanılmıştır. Ancak biyopolimerlerin kullanımı, zayıf mekanik ve bariyer özelliklerinden dolayı sınırlı kalmıştır. Bu nedenle biyopolimerlerin kullanımı ile hazırlanan gıda ambalajlarındaki kompozitlere takviye edici bileşikler eklenerek gıda ambalajlarında nanoteknolojinin kullanımı sağlanmıştır. Nanokompozitler, bir matris içerisinde nanometre büyüklüğünde parçacıkların dağılması ile oluşan malzemelerdir. Nanokompozitler, malzemeye ısı direncini artırması, malzemeye gaz sızmasını engellemesi, yanıcılığını azaltması gibi üstün özellikler sağlamıştır. Nano tozlar gelişmiş özelliklere sahip nanokompozitleri oluşturmak üzere, seramik, metal ya da polimer gibi malzemeler için destekleyici olarak kullanılmaktadır. ( D. Nath, R.Chetri, P. Sarkar,2022). Nanokompozitler üretildikleri malzemeye göre Şekil 6 de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.



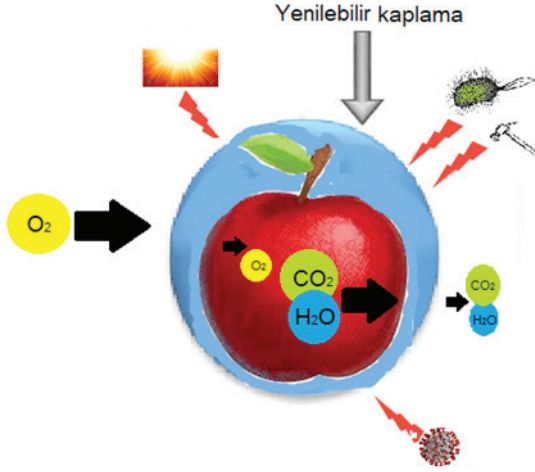
Şekil 6. Nanokompozitlerin sınıflandırılması.

Nanokompozitler, sensörlerin geliştirilmesinde de önemli rol üstlenmiştir. Polimerik nanokompozitler, algılama teknolojisi alanında çok önemli gelişmelere sebep olmuştur. Polimer bazlı nanokompozitler, sensör oluşumu için başarıyla kullanılmıştır. Bu amaçla iletken, termoplastik ve elastomerik polimerler kullanılmıştır. Sensörleri geliştirmek için polimer matrislerle birlikte nanokarbonlar ve inorganik nanoparçacıklar kullanılmıştır. Kompozit film özelliklerini güçlendirmek için en yaygın kullanılan nanomalzemeler; ZnO, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Ag ve nanokillerdir. Nanokompozitler biyoalgılama, kimyasal algılama, gerilim algılama ve gaz algılamada kullanılmaktadır (H, M.C. deAzeredo,2009; D. Nath, R.Chettri, P. Sarkar,2022).

## 8. Yenilebilir nano kaplamalar

Günümüzde, taze doğal ve organik ürünlere olan talep gittikçe artmaktadır. Altyapı eksikliği ve modern hasat sonrası teknolojilerinin sınırlı kullanımı nedeniyle, her yıl ürünün %20 ila 30'u bozulmaktadır. Nano yenilebilir kaplamaların kullanılması, gıda özelliklerini uygun maliyetlerle korumanın yollarından birisidir. Raf ömrünü uzatmak ve gıda maddelerinin özelliklerini ve işlevselliğini korumak için gıdalar ince yenilebilir bir film ile kaplanır. Yenilebilir kaplamalar ovalama, daldırma, gıda maddelerine püskürtme şeklinde yapılmakta ve bu işlemlerde genellikle çevre dostu malzemeler kullanılmaktadır ( U. Mahela, D. K. Rana, U. Joshi, Y. Singh Tariyal,2020; P. Madhusudan,N. Chellukuri ve N. Shivakumar,2020).

Yaş sebze ve meyveler, kuruyemişler vb. birçok ürünün raf ömrü, bu teknoloji ile hidrofobik, antimikrobiyal ve antioksidan özelliklere sahip maddelerin bünyesine katılmasıyla artırılabilmektedir. Et, peynir, meyve ve sebzeler, şekerlemeler, unlu mamuller ve fast food ürünlerinde kullanılabilen, yenilebilir nano kaplamalar; nem ve gaz değişimine karşı bir bariyer sağlayabilir, renkleri, tatları, antioksidanları, enzimleri ve esmerleşmeyi önleyici maddeleri iletmek için bir araç görevi görebilir, ayrıca ambalaj açıldıktan sonra bile üretilen gıdaların raf ömrünü uzatabilir.



Şekil 7. Yenilebilir nano kaplamalara örnek.

## 9. Akıllı paketleme

Akıllı gıda paketleme, ürün ortamına göre gıdanın iç ve dış kısımlarının ürün kalitesindeki değişikliklerini algılayan/kaydeden ve bunu tüketiciye verimli bir şekilde ileten yenilikçi bir paketleme çözümüdür. Bu etkileşimli paketleme, üreticilerin nakliye süresini, ürün tazeliğini izlemesini, güvenli taşımayı, ürün bütünlüğünü güçlendirmesini ve izlenebilirliğe izin vermesini sağlar. Akıllı paketleme sistemi; mekanik, kimyasal ve elektrikle çalışan işlevlerle entegre bir yaklaşım kullanır. Aktif ve akıllı paketleme; akıllı sistemler, göstergeler, sensörler ve veri taşıyıcıları kullanarak taşıma sırasında ürünün tazeliği hakkında bilgi aktarırken ürün kalitesinin korunmasının yanı sıra ürünün raf ömrünün uzatılmasına yardımcı olan pakete aktif bileşenlerin dahil edilmesini içeren akıllı “etkileşimli” gıda paketlemesinin klasik bir örneğidir. Akıllı paketleme, süt ürünleri, et ve deniz ürünleri endüstrisi ile unlu mamuller ve şekerleme ürünlerinde uygulama alanı bulmaktadır. Bunların dışında bazı dış etkenlere göre şeklini ve özelliklerini değiştirebilen malzemeler geliştirilmektedir. Bu tür malzemelere en iyi örnek ısıya maruz kaldığında kendi kendine büzülen



ve böylece erimeyi önleyen dondurma ambalajlarıdır ( U. Mahela, D. K. Rana, U. Joshi, Y. Singh Tariyal,2020; P. Madhusudan,N. Chellukuri ve N. Shivakumar,2020).

## 10. Nanosensörler

Nanoteknoloji, gıda endüstrisinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Gıdanın işlenmesinden nihai tüketimine kadar üretim zincirinin her aşamasına katkı sağlar. Nanosensörler, ürünün yüksek kalite ve güvenliğini sağlamak için üretim sırasında çeşitli gıda parametrelerini izlemek üzere tasarlanmış teknolojik cihazlardır. Geleneksel algılama sistemi kullanılarak düşük seviyede gıda taşıyıcı ve kirletici maddelerin tespiti zorlu bir iştir. Bu nedenle toksik kimyasalları ve mikroorganizmaları yüksek hassasiyetle tespit etmek için nanopartiküller kullanılmaya başlanmıştır. Nanosensörler, patojenik bakterileri, gıdaları kirleten toksinleri, taşıyıcı maddeleri, vitaminleri, boyaları, gübreleri, böcek ilaçlarını, tat ve kokuyu algılayabilir. Gıdanın tazeliği, zaman-sıcaklık ve oksijen göstergeleri kullanılarak izlenebilir. Ürün orijinalliyi ve marka koruması, görünmez nanobarkodlar kullanılarak değerlendirilebilir. Genel olarak, benzersiz özelliklere sahip nanosensörler gıda güvenliğini iyileştirmektedir. Ayrıca, hali hazırda kullanılmakta olan akıllı nano destekli paketleme tekniklerinin, oksijen ve nem tutucu özelliklerle başarılı bir şekilde uygulanması, nanoteknolojinin gıda endüstrisi alanındaki rolünü vazgeçilmez kılmaktadır. Gıda üretiminin sensörlere olan ihtiyacının en görünür olduğu kısım, gıda ambalajı ve gıda nakliyesidir. Taşıma ve saklama koşulları herhangi bir süre ihlal edilirse, gıdanın kalitesi bozulabilir ve gıda ambalajı açılmadan hatta tüketilmeden tüketici tarafından bilinemeyebilir ( G.C.Cambronero,M. Cascante,2022; E. Omanović-Miklićanina, M. Maksimović,2014 ).

Nanosensörler, benzersiz kimyasal ve elektrooptik özellikleri sayesinde gıda paketlemenin dezavantajlarını iyileştirebilir. Gazların, kimyasal kirleticilerin, patojenlerin varlığını ve hatta çevresel koşullardaki değişiklikleri tespit edebilirler. Nanosensörler, tüketicilerin taze ve lezzetli ürünler satın almasını ve gıda güvenliğini artıran gıda kaynaklı hastalıkların meydana gelme sıklığını azaltmasını sağlarlar ( G.C.Cambronero,M. Cascante,2022; E. Omanović-Miklićanina, M. Maksimović,2014).

## 11. Gıda Güvenliği

Gıda nanoteknolojisindeki hızlı gelişmelere rağmen, nanopartiküllerin oluşumu, akıbeti ve toksisitesi hakkında çok az şey bilinmektedir. Nanoteknolojiden türetilen gıda bileşenleri, gıda katkı maddeleri ve gıda ile temas eden materyallerin güvenliği ve sağlık riskleri endişeye sebep olmaktadır. Nanoteknolojinin gıdaya sağladığı pek çok avantajın yanı sıra, nanoparçacıkların ambalaj malzemesinden gıdaya geçme olasılığı ve

bunların tüketici sağlığı üzerindeki etkileri ihmal edilemez. Nano malzemelerin özellikleri makro durumdaki özelliklerinden farklıdır. Nanomalzemelerin küçük boyutları vücut organları ve dokularında biyolojik birikim riskini artırabilir. Nanoparçacıkların asbeste benzer şekilde solunum yoluyla vücudumuza girerek meydana getirdiği sağlık riskleri kanıtlanmıştır. Nanopartiküller böbrek, mide, ince bağırsak, karaciğer ve dalak gibi farklı organlarda da birikebilmekte ve bu organlarda çeşitli sağlık sorunlarına sebep olabilmektedir ( H. Onyeakaa,P. Passarettiab,T. M Zainab, T. Al-Sharifyc,2022).

Nanomalzemeler içeren gıda ve gıda ürünlerinin tüketiciler tarafından benimsenmesi, alınan güvenlik önlemlerine bağlıdır. Nanopartiküllerin insan sağlığı üzerine etkileri ve gıdalarda kullanımındaki sınır değerleri bilinmediği için tüketiciler nanoteknoloji uygulamalarına karşı dikkatli yaklaşmaktadır. Nanomateryallerin, gıdaların işlenmesi ve ambalajlanması aşamalarında kullanılması konusundaki tüketicilerin endişelerinin bilimsel araştırmalarla giderilmesi, ulusal ve uluslararası düzeyde yasal ve bilimsel düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

Gıda endüstrisinde nanoteknolojinin kullanımının sağlık ve güvenlik risklerine yol açtığı bilinmesine rağmen, gıda sektörüne getireceği faydaları çok daha fazladır ve zamanla da artması beklenmektedir. Çünkü nanoteknoloji, pestisitlerin, patojenlerin ve toksinlerin belirlenmesinde yardımcı olur ve bunların izlenmesini sağlayarak gıda kalitesinin korunmasına katkıda bulunur. Zehirli proteinlerin, allerjenlerin, mikroorganizmaların ve gıda bozulmalarının tespiti için ambalaj malzemelerine karbon nano tüplerin entegre edilmesi gıda ambalaj malzemelerini aktif ve akıllı paketleme sistemlerine dönüştürmektedir. Teknolojik ürünlerin hızla gelişmesi, üretimden paketlemeye kadar gıda sisteminin her aşamasında etkili olmaktadır ( T. Singh,S. Shukl ve P. Kumar, 2017).

Nanoteknoloji, gıdaları iyileştirme, onları daha lezzetli, daha sağlıklı ve daha besleyici hale getirme, yeni gıda ürünleri, yeni gıda ambalajları ve depolama alanları oluşturma potansiyeline sahiptir. Yine de, uygulamaların birçoğu şu anda başlangıç aşamasındadır ve nanoteknolojinin gıdalara başarılı uygulamaları henüz sınırlıdır.

## KAYNAKLAR

1. Application of Nanotechnology in Food Science: Perception and Overview,,Trepti Singh,Shruti Shukl, Pradeep Kumar,, Verinder Wahla, Vivek K. Bajpai and Irfan A. Rather. *Frontiers in Microbiology*, August 2017 | Volume 8 | Article 1501  
The Impact of Nanotechnology on Food ,Dipjyoti Kalital and Sunandan Baruah, *Nanomaterials Applications for Environmental Matrices*.DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814829-7.00011-2,2019>
2. Advancement in Application of Nanotechnology in global food industry, Shalini Sahani,Y.Chandra Sharma,Food Chemistry,342(2021)128318  
Nanotechnology in the Food Industry,Arun G. Ingale and Anuj N. Chaudhar, , *Nanotechnology, Food Security and Water Treatment,Environmental Chemistry for a Sustainable World 11*, (2017) [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70166-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70166-0_3)
3. Gıda sektöründe nanoteknolojik malzemeler ve uygulamaları, Ahmet Onay, Dicle Üniversitesi, 17 January 2022.
4. Gıda ambalajlarında nanoteknolojik uygulamalar ve faz değişim materyalleri, Merve Yılmaz, Filiz Altay, *GIDA* (2014) 39 (6): 371-378 doi: 10.15237/gida.GD14024
5. Gıda Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamalar, Erdem Saka, Göknur Terzi Gülel, *Etlık Vet Mikrobiyol Derg*, 2015; 26 (2): 52-57
6. Intelligent Food Packaging: A Review of Smart Sensing Technologies for Monitoring Food Quality Hanie Yousefi, Hsuan-Ming Su,Sara M. Imani, Kais Alkhalidi,Carlos D. M. Filipe, and Tohid F. Didar, *ACS Sens.* 2019, 4, 808–821
7. Nanotechnology in Food Industry; Advances in Food processing, Packaging and Food Safety Mahmoud M. Berekaa, *Int.J.Curr.Microbiol.App. Sci* (2015) 4(5): 345-35
8. Nanobiotechnology perspectives. Role of nanotechnology in the food industry: a review Nelson Dura'n and Priscyla D. Marcato, *International Journal of Food Science and Technology* 2013, 48, 1127–1134
9. Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspectives Shivraj Hariram Nile, Venkidasamy Baskar,Dhivya Selvaraj,Arti Nile,Jianbo Xiao,, Guoyin Kai, *Nano-Micro Lett.* (2020) 12:45
10. The Applications of Nanotechnology in Food Industry,Ladan Rashidi & Kianoush Khosravi-Darani *Food Science and Nutrition*, (2011) 51:8, 723-730, DOI: 10.1080/10408391003785417
11. Significance of Nanotechnology in Food Industry, C. Chellaram *APCBEE Procedia* 8(2014)109-113

12. Nanotechnology, Science and Applications Bhupinder S Sekhon, 2010:3 1–15
13. Chapter 7 - Nanocomposites in food packaging ,Debarshi Nath Rahul-ChetriR .Santhosh Preetam Sarkar Food, Medical, and Environmental Applications of Nanomaterials Micro and Nano Technologies 2022, Pages 167-200
14. Nanocomposites for food packaging applications , Henriette M.C. deAzeredo Food Research International Volume 42, Issue 9, November 2009, Pages 1240-1253
15. Nano edible coatings and their applications in food preservation Unique Mahela, D. K. Rana, Udit Joshi\*, Yashwant Singh Tariyal<sup>2</sup>, Journal of Postharvest Technology 2020, 08(4): 52-63
16. Smart packaging of food for the 21st century – A review with futuristic trends, their feasibility and economics, Phalgun MadhusudanNagendra ChellukuriNeeta Shivakumar Materials Today: Proceedings 5 (2018) 21018–21022
17. The safety of nanomaterials in food production and packaging, Helen Onyeakaa,Paolo Passarettiab,Taghi Miria Zainab, T. Al-Sharifyc, Current Research in Food ScienceVolume 5, 2022, Pages 763-774
18. Use of nanosensor technologies in the food industry, Gabriel Castillo Cambronero, Maria Cascante- Smart, AgricultureMicro and Nano Technologies 2022, Pages 643-655
19. Nanosensors applications in agriculture and food industry,Enisa Omanović-Miklićanina, Mirjana Maksimović, Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina Print ISSN: 0367-4444Online ISSN: 2232-7266 2016 -4,59-70
20. Enkapsülasyon Maddesi Olarak Lipozom ve Gıdalarda Kullanımı: Yapısı, Karakterizasyonu, Üretimi ve Stabilitesi E. Kırtıl, M.H. Öztop, Akademik Gıda 12(4) (2014) 41-57

“

## **Bölüm 18**

### **TOR GRYPUS GONAT DOKUSU YAĞ ASIDI İÇERİĞİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ**

*Semra KAÇAR<sup>1</sup>*

”

<sup>1</sup> Mardin Artuklu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Mardin, Türkiye  
<https://orcid.org/0000-0002-9869-90452>

\*Sorumlu Yazar e-posta: semrakacar21@gmail.com

\*Bu çalışma Semra KAÇAR'ın doktora tezinin bir kısmını içermektedir.

Tez Adı: Atatürk Baraj gölündeki bazı tatlısu balıklarının total lipit ve yağ asitlerinin mevsimsel değişimi. 2010. Doktora Tezi/ 276 s.

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet BAŞHAN

Tez No:300022

## Giriş

Yurdumuzda Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve civarlarında (Dicle ve Fırat Nehirlerinde) yaşayan ve halk arasında şabut, şabot veya sore ismiyle bilinen şabut balığı (*Tor grypus*) Fırat Nehri'nin Atatürk Barajı ve mansap sularında görülen, eti sevilerek tüketilen endemik balık türlerden biri olup, hızlı akan sığ suları sever, avlanması zor, cüsseli bir tatlı su balığı türüdür. Nisan-mayıs-haziran aylarında yumurta bıraktığı bildirilmektedir (Geldiay ve Balık, 1996, Epler ve ark., 2001).

İnsan sağlığı açısından, oldukça önemli olan balıkların değişik dokularındaki yağ asitleri değişimlerinin ortaya konulması son derece önemlidir. Balıklarda farklı organların yağ asidi içeriğinin belirlenmesi özellikle yetiştiricilikte avantaj sağlayacaktır. Örneğin, gonatların yağ asidi profilinin belirlenmesi, damızlıkların diyetlerinde bulunacak yağ asidi kompozisyonu hakkında bilgi vereceği gibi, bu doğrultuda hazırlanan diyetlerde beslenen damızlıkların yumurta kalitesi üzerine etkileri belirlenebilecektir. Kas dokusu yağ asidi profili ise balık etinin  $\omega$ -3 ve  $\omega$ -6 yağ asitleri bakımından zenginliğini göstereceğinden tercih sebebi olacaktır. Karaciğer ve adipoz dokusu özellikle yağların dönüşümünde ve depolanmasında önemli rol oynar (Halver, 1989).

Bu çalışmada Atatürk Baraj Gölü'nden toplanan *Tor grypus*'un gonat dokusu total lipit, fosfolipit (PL) ve triaçilgliserol (TAG) yağ asitleri içeriğinin mevsimsel değişimlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Balık Örneklerinin Toplanması:

Bu çalışmada, *Tor grypus*, balık türlerine ait örnekler, Atatürk Baraj Gölü'nden gözenekli fanyalı ağlar kullanılarak yakalanmıştır. Örneklemeler; Bozova, Arıkök, Yaslıca, Bağpınar, Belören, Samsat ve Kahta yerleşim birimleri civarındaki Adıyaman avlak sahalarında yörede bulunan balıkçılar yardımıyla yapılmıştır. Yakalanan balık örnekleri, aynı gün, içinde buz bulunan ısı yalıtımlı koruyucu kaplara konularak laboratuvara getirilmiştir. Balık örneklerinin karınları açılarak büyük çoğunluğunun eşeyleri makroskobik, küçük bireylerin eşeyleri ise stereoskopik binoküler mikroskop altında saptanmıştır. Yeterli miktarda gonat örnekleri alınmıştır. Alınan gonat örneklerinin yağ ağırlıkları saptandıktan sonra tüplere konularak analiz edilinceye kadar  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kloroform-metanol (2:1v/v) karışımında muhafaza edilmiştir.

## **Lipit Ekstraksiyonu ve Yağ Asitlerinin Metil Esterlerine Dönüştürülmesi**

Gonat örnekleri; kloroform-metanol (2:1 v/v) karışımında yüksek devirli IKA marka homojenizatörde homojenize edilmiştir (Folch ve ark., 1957). Homojenat, Whatman No: 1 süzgeç kağıdı ile süzülmüştür. Aşırı doymamış yağ asitlerinin otooksidasyonunu önlemek için ekstraksiyon sistemine, kloroformda %2 oranında hazırlanan bütillenmiş hidroksitolen (BHT) maddesinden 50 µl ilave edilmiştir. Sulu fazın ayrılması için, süzüntü, bir ayırma hunisine alınmıştır. Süzüntüye total hacminin 1/4 'i kadar % 0.88'lik KCl çözeltisi ilave edilerek iyice karıştırılmıştır. Berrak iki faz oluşuncaya kadar beklenmiştir. Faz ayırımından sonra alt tabakadaki kloroform fazı ikinci bir ayırma hunisine alınarak hacminin 1/4'i kadar metanol-su ile (1:1 v/v) yıkanmış ve faz ayırımı için tekrar bekletilmiştir. İkinci faz ayırımından sonra alttaki kloroform tabakası temiz bir erlen içine alınarak susuz sodyum sülfat ile muamele edilerek, kloroform içinde bulunan eser miktardaki su uzaklaştırılmıştır. Saf lipit bileşenlerinden oluşan kloroform fazı, darası alınmış bir tartı kabı içerisine Whatman No: 1 süzgeç kağıdı ile süzülmüştür. Tartı kabı içerisindeki ekstraktın çözücüsü, evaporatörde tamamen uçurulmuştur. Daha sonra hassas terazide tartılarak total lipit miktarı gr olarak bulunarak % lipit miktarı hesaplanmıştır. Örneklerdeki total lipitlerin fraksiyonlanmasında ince tabaka kromatografi tekniği kullanılmıştır. Bunun için 30 gr silikajel ile 50 ml saf su karıştırılarak hamur haline getirildikten sonra, 20 cm X 20 cm ebatındaki pleytlere ince bir tabaka halinde sürülüp etüvde 100 °C'de bir saat boyunca kurutulmuş, bu süre sonunda etüvden çıkarılan pleytler havada soğumaya bırakılmıştır. Örneklerin total lipit ekstraktları, pleytlerin üzerine tek sıra halinde spot edilmiştir. Total lipitler; petrol eteri-dietil eter-asetik asit (80:20:1) karışımında yürütülmüştür. Pleytler havada kurutulduktan sonra, 2'7' dikloroflorosein püskürtülerek, lipit fraksiyonları UV lambası altında görülür hale getirilmiştir. Standartlar yardımıyla saptanan fosfolipit ve triaçilgliserol fraksiyonuna ait bantlar kazılarak reaksiyon tüplerine aktarılmıştır. Her fraksiyona, ayrı ayrı 3 ml metanol ve 3-5 damla sülfürik asit damlatılarak 2 saat süreyle geri soğutucu altında 85 °C'de ısıtılmıştır. Böylece yağ asitlerinin, yağ asidi metil esterlerine dönüşümü sağlanmıştır. Çözelti soğuduktan sonra, hekzan kullanılarak metil esterleri ekstrakte edilmiştir. Yağ asidi metil esterlerinin analizi için FID dedektörüne sahip gaz kromatografi aleti kullanılmıştır.

### **Gaz Kromatografi Koşulları**

Metil esterlerine dönüştürülen yağ örneklerinin yağ asitleri analizleri HP 6890 model Gaz Kromatografisi (GC) cihazında, alev iyonizasyon dedektörü (FID) ve BPX 70 (70 % Cyanopropyl polysilphenylene-siloxane) kapiler kolon (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm film kalınlığı) kullanılarak ya-

pılmıştır. Dedektör sıcaklığı: 280 °C; enjektör sıcaklığı: 270 °C; enjeksiyon: Split–model 1/20. Gaz akış hızları: Taşıyıcı gaz: 30 m’lik kolon için helyum 1.4 ml/dk; 60 m’lik kolon için 2.8 ml/dk (sabit akış modeli); hidrojen: 30 ml/ dk; hava: 300 ml/dk. Kolon (fırın) sıcaklığı: 130 °C’de, bekleme süresi, 1 dakika; 170 °C’ye 6.5 °C/dakika; 215 °C’ye 2.75 °C/dakika, bekleme süresi 12 dakika; 230 °C’ye 40 °C/dakika, bekleme süresi 3 dakika; toplam analiz süresi: 38.8 dakika. Örnek, alete 1 mikrolitre enjekte edilmiştir. Yağ asitlerinin teşhisinde, standart olarak yağ asitlerinin metil esterleri karışımı (Sigma-Aldrich Chemicals) kullanılmıştır. Yağ asitleri metil esterlerinin kromatogramları ve toplam yağ asitleri miktarları bilgisayarda HP 3365 Chem Station bilgisayar programı ile elde edilmiştir. Analiz edilen örneklerin kromatogramındaki pikler, standarttaki bütün yağ asitlerinin metil esterlerinin alı- konma zamanları ile karşılaştırılarak teşhis edilmiştir.

### Verilerin değerlendirilmesi

Yağ asitleri yüzdelерinin karşılaştırılmasında SPSS 16 bilgisayar programı uygulanmıştır. Çalışmamızdan elde edilen bütün veriler üç tekerrarın ortalamasından elde edilmiştir. Yağ asidi metil esterlerinin gaz kromatografik analizlerinde, her döneme ait üçer numune ayrı ayrı enjekte edilerek aynı yağ asidine ait üç değerin ortalaması alınmıştır. Yağ asidi yüzdelерinin karşılaştırılması, tek yönlü varyans analizi (Anova) ile yapılmıştır. Farklılıklar TUKEY HSD testi ile belirlenmiştir. Yapılan istatistikler sonucu, veriler  $p < 0.05$  düzeyinde olduğu zaman farkların önemli olduğu kabul edilmiştir.

### Bulgular

#### *T. grypus*’un gonat dokusu yağ asidi içeriği

Palmitik asit ve  $\Sigma$ SFA, dişi bireylerde, diğer dönemlere oranla daha sıcak olan mart, mayıs ve temmuz; erkeklerde mayıs aylarında artmıştır. Bu bileşenler, her iki eşeyde ocak ayında; 18:1n-9 ve  $\Sigma$ MUFA’ler ise gonatların olgunlaştığı dönem olan mart ve üreme dönemi olan mayıs ayında azalma göstermiştir. Arakidonik asit, 22:6n-3 ve dolayısıyla PUFA, her iki eşeyde mart ayında artmıştır (Tablo 1 ve 2).

Dişilerde, mayıs ve temmuz aylarında en çok  $\Sigma$ SFA, eylül ayında  $\Sigma$ MUFA, ocak ve mart aylarında ise  $\Sigma$ PUFA; erkeklerde, mayıs ayında  $\Sigma$ SFA, temmuz, eylül, kasım ve ocak aylarında  $\Sigma$ MUFA, mart ayında ise en çok  $\Sigma$ PUFA bulunmuştur.

Bir yıl boyunca baskın bulunan yağ asitleri  $\Sigma$ SFA’ler içinde 16:0 (dişilerde % 22.76-28.89; erkeklerde % 22.60-29.26),  $\Sigma$ MUFA’ler içinde 18:1n-9 (dişilerde % 18.00-33.64; erkeklerde % 16.77-30.06),  $\Sigma$ PUFA’ler arasında 22:6n-3 (dişilerde % 10.87-18.00; erkeklerde % 10.09-17.74).



*T. grypus* dişi bireylerinin gonat total lipidinde n-3/n-6 oranı, 1.22 (mart)-3.32 (eylül); erkeklerinde 1.81 (mart)-3.79 (kasım) aralığında saptanmıştır (Tablo 1 ve 2).

Her iki eşeyde ortak bulunan başlıca bulgular; mayıs ayında en çok  $\Sigma$ SFA, eylülde  $\Sigma$ MUFA, mart ayında (gonatların olgunlaştığı dönem) ise  $\Sigma$ PUFA'ın olmasıdır. Diğer ortak sonuçlar,  $\Sigma$ SFA'lerin mayıs ayında artması ocak ayında ise azalması, 18:1n-9 ile  $\Sigma$ MUFA'lerin mart ve mayısta azalma göstermesi, 22:6n-3 ve dolayısıyla  $\Sigma$ PUFA'lerin mart ayında artması, n-3/n-6 oranının en düşük olarak mart ayında saptanmasıdır.

Araştırmamızda çalıştığımız balık türünün ovaryum ve testislerinde, tüm dönemlerde yüzde olarak, SFA'leri içinde en çok 16:0, MUFA'leri arasında 18:1n-9 ve 16:1n-7, PUFA'leri arasında 22:6n-3, 20:4n-6 ve 20:5n-3 saptanmıştır. Bunlar arasında oran olarak en çok bulunanlar; 16:0, 18:1n-9 ve 22:6n-3'dir. Bu veriler, diğer balıklardan elde edilenlere uygunluk göstermektedir (Yılmaz ve ark., 1995; Kara ve Çelik, 2000; Kminkova ve ark., 2001; Shirai ve Wada, 2001; Cejas ve ark., 2003; Aras ve ark., 2003; Uysal, 2004).

Tablo 1: Dişi *T. grypus*'un gonat total yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değışimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 <sup>s</sup>	-	-	-	-	-	-
12:0	-	-	0.03±0.01	-	-	-
13:0	0.08±0.07	-	-	-	-	-
14:0	1.82±0.13a	2.42±0.20b	2.82±0.21b	2.03±0.28b	1.26±0.12a	1.18±0.11a
15:0	0.81±0.07a	0.68±0.06a	0.44±0.04b	0.78±0.07a	0.49±0.03b	0.77±0.05a
16:0	28.07±1.27a	27.96±1.25a	24.65±1.24b	23.17±1.20b	22.76±1.29b	28.89±1.22a
17:0	0.40±0.04a	0.28±0.02b	0.48±0.04a	0.54±0.03a	0.44±0.04a	0.58±0.03a
18:0	8.31±0.81a	8.39±0.88a	5.17±0.56a	6.62±0.65a	7.81±0.77a	5.35±0.53a
<b><math>\Sigma</math>S.F.A</b>	<b>39.49±1.39a</b>	<b>39.73±1.40a</b>	<b>33.59±1.31b</b>	<b>33.14±1.33b</b>	<b>32.76±1.30b</b>	<b>36.77±1.36ab</b>
16:1n-7	5.64±0.54a	5.07±0.50a	7.22±0.71b	4.88±0.48a	5.61±0.52a	3.14±0.33a
18:1n-9	18.00±1.08a	22.73±1.22b	33.64±1.38c	26.94±1.26b	22.93±1.28b	19.46±1.09a
20:1n-9	1.12±0.11a	0.95±0.09a	1.63±0.11a	2.52±0.21b	1.45±0.18a	1.16±0.16a
<b><math>\Sigma</math>M.U.F.A</b>	<b>24.76±1.29a</b>	<b>28.75±1.22a</b>	<b>42.49±1.42b</b>	<b>34.34±1.30c</b>	<b>29.99±1.29a</b>	<b>23.76±1.26a</b>
18:2n-6	1.75±0.10a	1.62±0.13a	1.41±0.14a	2.02±0.20b	2.20±0.22b	3.74±0.37b
18:3n-3	0.88±0.07a	0.94±0.09a	1.11±0.10a	1.45±0.13b	0.62±0.05c	0.56±0.04c
20:2n-6	0.33±0.03a	0.30±0.02a	1.18±0.11b	0.13±0.01c	0.36±0.02a	0.42±0.03a
20:3n-6	0.29±0.02a	0.36±0.03a	0.31±0.02a	0.36±0.02a	0.33±0.01a	0.17±0.02b
20:4n-6	6.74±0.66a	7.96±0.71a	2.61±0.12b	5.99±0.55a	8.96±0.81a	13.37±1.03c
20:5n-3	5.28±0.51a	3.41±0.41a	3.74±0.38a	3.49±0.23a	4.57±0.41a	3.16±0.33a
22:5n-3	2.37±0.23a	2.41±0.23a	2.60±0.28a	3.05±0.34a	3.58±0.32a	1.93±0.11a
22:6n-3	18.00±1.08a	14.45±1.04b	10.87±0.99c	15.96±1.15b	16.52±1.23a	16.04±1.06a

<b>ΣP.U.F.A</b>	<b>35.64±1.35a</b>	<b>31.45±1.42a</b>	<b>23.83±1.25b</b>	<b>32.45±1.32a</b>	<b>37.14±1.30a</b>	<b>39.39±1.40a</b>
ω3	26.53±1.26a	21.21±1.22b	18.32±1.08c	23.95±1.22b	25.29±1.29a	21.69±1.30b
ω6	9.11±0.99a	10.24±1.01a	5.51±0.55b	8.50±0.83a	11.85±1.10a	17.70±1.07c
ω3/ω6	2.91	2.07	3.32	2.81	2.13	1.22

\*Her veri 3 tekrarin ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır. § her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir. S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri

Tablo 2: Erkek *T. grypus*'un gonat total yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 <sup>s</sup>	-	0.01±0.01	-	-	-	-
12:0	-	0.04±0.01a	0.02±0.02b	-	-	-
13:0	0.11±0.04a	0.32±0.02b	0.09±0.05a	-	-	-
14:0	1.93±0.16a	3.55±0.33b	2.58±0.23a	2.50±0.22a	2.58±0.21a	1.36±0.12a
15:0	0.57±0.05a	0.62±0.04a	0.58±0.05a	0.50±0.04a	0.68±0.06a	0.81±0.07b
16:0	29.26±1.27a	25.28±1.20a	22.60±1.21b	23.37±1.28b	22.08±1.27b	22.09±1.24b
17:0	0.22±0.02a	0.60±0.04b	0.54±0.05b	1.39±0.11c	0.18±0.01a	0.96±0.06bc
18:0	9.93±0.98a	4.54±0.44b	5.90±0.50b	4.69±0.41b	5.16±0.51b	6.96±0.66b
<b>ΣS.F.A</b>	<b>42.02±1.42a</b>	<b>34.96±1.33b</b>	<b>32.31±1.38b</b>	<b>32.45±1.30b</b>	<b>30.68±1.30b</b>	<b>32.18±1.31b</b>
16:1n-7	3.57±0.35a	7.30±0.77b	6.38±0.61b	7.25±0.71b	7.68±0.70b	3.80±0.31a
18:1n-9	16.77±1.06a	29.60±1.29b	28.44±1.26b	28.15±1.28b	30.06±1.30b	21.52±1.22a
20:1n-9	0.79±0.07a	1.26±0.10b	1.21±0.15b	2.04±0.21c	1.70±0.16b	2.00±0.21c
<b>ΣM.U.F.A</b>	<b>21.13±1.20a</b>	<b>38.16±1.37b</b>	<b>36.03±1.33b</b>	<b>37.44±1.30b</b>	<b>39.44±1.40b</b>	<b>27.32±1.26c</b>
18:2n-6	1.37±0.11a	2.83±0.23b	1.90±0.16a	2.49±0.24b	3.22±0.31b	2.77±0.25b
18:3n-3	0.78±0.05a	3.13±0.31b	1.34±0.16c	3.55±0.33b	1.42±0.14c	1.20±0.17c
20:2n-6	0.24±0.01a	0.34±0.02a	0.08±0.01b	0.40±0.03c	0.42±0.03c	0.52±0.05c
20:3n-6	0.25±0.01a	0.33±0.03a	0.35±0.02a	0.34±0.02a	0.35±0.01a	0.37±0.02a
20:4n-6	11.02±1.01a	3.58±0.34b	7.78±0.77c	3.03±0.33b	3.04±0.34b	10.67±1.00a
20:5n-3	5.12±0.51a	3.67±0.23a	4.54±0.44a	4.02±0.40a	4.15±0.49a	3.90±0.39a
22:5n-3	2.55±0.25a	2.78±0.28a	3.01±0.30a	3.40±0.33a	3.45±0.44a	3.23±0.29a
22:6n-3	15.44±1.05a	10.09±1.01b	12.58±1.02b	12.80±1.00b	13.74±1.04b	17.74±1.07a
<b>ΣP.U.F.A</b>	<b>36.77±1.35a</b>	<b>26.75±1.28b</b>	<b>31.58±1.30c</b>	<b>30.03±1.34c</b>	<b>29.79±1.29c</b>	<b>40.40±1.40d</b>
ω3	23.89±1.26a	19.67±1.09b	21.47±1.20ab	23.77±1.26a	22.76±1.22a	26.07±1.30c
ω6	12.88±1.02a	7.08±0.71b	10.11±1.01a	6.26±0.65b	7.03±0.71b	14.33±1.04a
ω3/ω6	1.85	2.77	2.12	3.79	3.23	1.81

\*Her veri 3 tekrarin ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır. § her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir. S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri

## ***T. grypus*'un gonat dokusu fosfolipit ve triaçilgliserol yağ asidi içeriği**

*T. grypus* gonat PL fraksiyonunda  $\Sigma$ SFA oranı dişi bireylerde % 38.48-40.27; erkeklerde % 31.82-39.43;  $\Sigma$ MUFA oranı dişilerde % 14.34-21.55; erkeklerde % 16.73-21.22;  $\Sigma$ PUFA oranı dişilerde % 38.69-45.34; erkeklerde % 39.62-48.18 arasında bulunmuştur. Total SFA oranı, erkek bireylerde gonatların olgunlaşma dönemi olan mart ayında azalmış, dişilerde ise değişim göstermemiştir. Oleik asit ve  $\Sigma$ MUFA oranı, her iki bireyde üremeden sonraki eylül ayında azalmıştır. Bu dönemden sonra artmaya başlamıştır. Arakidonik asit ve  $\Sigma$ PUFA oranı, her iki bireyde eylül ayında artmıştır. Yağ asitleri tüm dönemlerde bireyler arasında çok fazla değişim göstermemiştir (Tablo 3 ve 4).

*T. grypus*'un gonat PL fraksiyonunda n-3/n-6 oranı dişilerde 1.90 (mart)-2.72 (temmuz); erkeklerde 1.35 (eylül)-2.30 (temmuz) oranında saptanmıştır.

Oleik asit ve  $\Sigma$ MUFA yüzdesinin, üremeden sonraki dönem olan eylül ayında azalması buna karşılık aynı dönemde  $\Sigma$ PUFA'lerin artması (MUFA ile ters), n-3/n-6 oranının en fazla temmuz ayında saptanması ve analizi yapılan tüm aylarda en fazla  $\Sigma$ PUFA, daha sonra  $\Sigma$ SFA en az ise  $\Sigma$ MUFA'in bulunması, her iki bireyde ortak olan bulgulardır.

*Comephorus dybowski*'nin ovaryum polar lipitlerinde  $\Sigma$ PUFA'lerden 22:6n-3, tüm dokularındaki nötral lipitlerde ise 16:0 en çok bulunmuştur. Analizlerde diğer major yağ asitleri 16:1n-7, 18:1n-7, 20:5n-3'dür (Kozlova ve Khotimchenko, 2000). *T. grypus*'un ovaryum ve testis PL'inde en çok  $\Sigma$ PUFA ve PUFA'lerden de 22:6n-3 bulunmuştur.

Tablo 3: Dişi *T. grypus*'un gonat fosfolipit fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelerinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
14:0 <sup>δ</sup>	0.54±0.04a	0.59±0.05a	0.57±0.05a	0.82±0.07b	0.79±0.06b	0.43±0.04a
15:0	0.55±0.04a	0.81±0.07b	0.87±0.06b	0.87±0.08b	0.84±0.07b	0.91±0.09b
16:0	21.56±1.28a	23.64±1.20a	24.58±1.24a	20.95±1.22a	21.90±1.26a	22.90±1.23a
17:0	0.23±0.01a	0.56±0.04b	0.27±0.02a	0.43±0.03b	0.88±0.07c	1.58±0.11d
18:0	15.60±1.05a	14.33±1.04a	13.98±1.03a	15.91±1.09a	14.41±1.08a	13.15±1.11a
$\Sigma$ S.F.A	<b>38.48±1.35a</b>	<b>39.93±1.39a</b>	<b>40.27±1.42a</b>	<b>38.98±1.37a</b>	<b>38.82±1.35a</b>	<b>38.97±1.36a</b>
16:1n-7	2.58±0.23a	2.39±0.25a	2.38±0.11a	4.16±0.41b	4.58±0.40b	3.78±0.33ab
18:1n-9	15.99±1.15a	14.29±1.10a	11.39±1.01b	17.04±1.27a	16.10±1.06a	15.67±1.05a
20:1n-9	0.96±0.07a	0.40±0.04b	0.57±0.05b	0.35±0.03b	0.69±0.05b	1.14±0.10a
$\Sigma$ M.U.F.A	<b>19.53±1.09a</b>	<b>17.08±1.07a</b>	<b>14.34±1.14b</b>	<b>21.55±1.21a</b>	<b>21.37±1.22a</b>	<b>20.59±1.20a</b>

18:2n-6	1.07±0.09a	1.03±0.10a	1.67±0.12a	0.84±0.08b	1.10±0.13a	2.27±0.20c
18:3n-3	0.47±0.04a	0.39±0.03a	0.56±0.05a	0.20±0.02b	0.35±0.03a	0.44±0.05a
20:2n-6	0.26±0.01a	0.24±0.02a	-	0.56±0.04b	0.51±0.05b	0.75±0.06b
20:3n-6	0.21±0.02a	0.20±0.01a	0.32±0.03a	0.06±0.01b	0.57±0.05c	0.37±0.03a
20:4n-6	9.99±0.97a	10.03±1.01a	11.47±1.16a	9.34±0.95a	9.38±0.88a	10.51±1.05a
20:5n-3	4.73±0.43a	5.77±0.56a	4.91±0.49a	4.35±0.42a	3.02±0.31b	4.05±0.30a
22:5n-3	2.24±0.22a	2.18±0.20a	3.19±0.37a	1.25±0.14b	1.86±0.15b	2.47±0.28a
22:6n-3	22.94±1.22a	23.05±1.28a	23.22±1.20a	22.09±1.29a	22.93±1.27a	19.48±1.09a
ΣP.U.F.A	<b>41.91±1.46a</b>	<b>42.89±1.40a</b>	<b>45.34±1.45a</b>	<b>38.69±1.38b</b>	<b>39.72±1.37b</b>	<b>40.34±1.44ab</b>
ω <sup>3</sup>	30.38±1.33a	31.39±1.32a	31.88±1.38a	27.89±1.30b	28.16±1.29b	26.44±1.27b
ω <sup>6</sup>	11.53±1.01a	11.50±1.07a	13.46±1.03a	10.80±1.07a	11.56±1.11a	13.90±1.16a
ω <sup>3</sup> /ω <sup>6</sup>	2.63	2.72	2.36	2.58	2.43	1.90

\*Her veri 3 tekrarin ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır. § her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir. S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri

*Tablo 4: Erkek T. grypus'un gonat fosfolipit fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelerinin aylara göre değişimi*

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
14:0 <sup>s</sup>	1.04±0.14a	1.94±0.11b	0.71±0.07a	1.33±0.16a	0.97±0.09a	0.42±0.04c
15:0	0.59±0.05a	0.72±0.06b	0.60±0.05a	0.85±0.07b	0.86±0.08b	0.56±0.05a
16:0	23.07±1.23a	22.95±1.28a	25.32±1.20a	24.80±1.22a	22.23±1.28a	21.39±1.17a
17:0	0.36±0.03a	0.13±0.01b	0.21±0.02a	0.27±0.03a	0.81±0.07c	0.73±0.08c
18:0	12.15±1.02a	13.35±1.31a	12.38±1.12a	12.18±1.02a	12.04±1.04a	8.72±0.85b
ΣS.F.A	<b>37.21±1.37a</b>	<b>39.09±1.33a</b>	<b>39.22±1.42a</b>	<b>39.43±1.40a</b>	<b>36.91±1.36a</b>	<b>31.82±1.31b</b>
16:1n-7	3.41±0.30a	3.27±0.26a	1.78±0.17b	3.65±0.32a	2.19±0.28b	2.52±0.25b
18:1n-9	16.70±1.18a	17.25±1.07a	14.46±1.13a	16.45±1.10a	15.06±1.05a	15.85±1.51a
20:1n-9	0.69±0.06a	0.70±0.07a	0.49±0.04a	0.68±0.06a	1.32±0.13b	1.56±0.65b
ΣM.U.F.A	<b>20.80±1.20a</b>	<b>21.22±1.22a</b>	<b>16.73±1.06a</b>	<b>20.78±1.21a</b>	<b>18.57±1.08a</b>	<b>19.93±1.20a</b>
18:2n-6	1.72±0.11a	1.36±0.13a	0.83±0.07b	2.26±0.21c	1.19±0.19a	1.36±0.11a
18:3n-3	0.49±0.04a	0.74±0.06b	0.10±0.01c	0.24±0.02d	0.12±0.01c	0.20±0.02d
20:2n-6	0.41±0.04a	0.32±0.03a	0.30±0.02a	0.50±0.05a	0.18±0.01b	0.54±0.04a
20:3n-6	0.64±0.05a	0.18±0.01b	0.15±0.02b	0.40±0.04c	0.35±0.03c	0.39±0.02c
20:4n-6	11.22±1.02a	10.13±0.99a	17.42±1.07b	11.10±1.01a	13.97±1.13a	13.54±1.14a
20:5n-3	5.09±0.51a	3.46±0.34b	4.38±0.41ab	2.58±0.26b	3.01±0.30b	4.36±0.44ab
22:5n-3	2.06±0.20a	1.51±0.15a	2.29±0.25a	2.69±0.23b	2.74±0.29b	3.09±0.31b
22:6n-3	20.28±1.20a	21.92±1.26a	18.50±1.08a	19.97±1.19a	22.88±1.22a	24.67±1.28a
ΣP.U.F.A	<b>41.91±1.45a</b>	<b>39.62±1.39a</b>	<b>43.97±1.40b</b>	<b>39.74±1.41a</b>	<b>44.44±1.40b</b>	<b>48.15±1.54c</b>
ω <sup>3</sup>	27.92±1.24a	27.63±1.27a	25.27±1.34a	25.48±1.30a	28.75±1.29a	32.32±1.30b
ω <sup>6</sup>	13.99±1.03a	11.99±1.11a	18.70±1.08b	14.26±1.05a	15.69±1.15a	15.83±1.17a

$\omega_3/\omega_6$	1.99	2.30	1.35	1.78	1.83	2.04
---------------------	------	------	------	------	------	------

\*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır. § her satırda aynı harflerle belirlenen veriler  $P>0.05$  olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir. S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri

*T. grypus*'un gonat TAG fraksiyonunda,  $\Sigma$ SFA oranı dişi bireylerde % 36.39-41.62; erkeklerde % 31.94-37.14;  $\Sigma$ MUFA oranı dişilerde % 35.50-43.50; erkeklerde % 37.71-41.38;  $\Sigma$ PUFA oranı dişilerde % 17.89-24.15; erkeklerde % 22.19-28.67 aralığında bulunmuştur. Total SFA oranı, dişilerde ve erkeklerde pek fazla değişim göstermemiştir. Dişilerde 18:1n-9 ve  $\Sigma$ MUFA oranı, mart ayında artmış, mayıs ayında ise azalmıştır. Ancak  $\Sigma$ MUFA'in tersine  $\Sigma$ PUFA oranı, dişilerde mart ayında azalmış, mayıs ayında artmıştır (Tablo 5). Eikosapentaeoik asit ve 22:6n-3, erkeklerde eylül ayında artarken, mayıs ayında ise azalmıştır (Tablo 6).

*T. grypus*'un gonat TAG fraksiyonunda n-3/n-6 oranı dişilerde 1.55 (mayıs)-3.69 (ocak); erkeklerde 1.68 (mayıs)-3.74 (kasım) oranında saptanmıştır.

Her iki fraksiyondaki farklılıklar ise PL fraksiyonunda çoktan aza doğru sıralama,  $\Sigma$ PUFA,  $\Sigma$ SFA ve  $\Sigma$ MUFA olarak düzenlenirken, dişilerin gonat TAG'ünde mayıs, temmuz ve kasım aylarında en çok  $\Sigma$ SFA, diğer aylarda  $\Sigma$ MUFA daha baskın; erkeklerde tüm aylarda en çok  $\Sigma$ MUFA bulunmuştur. Bu fraksiyonlarda en az  $\Sigma$ PUFA saptanmıştır. Triasilgiserolde 14:0, 16:0, 16:1n-7, 18:1n-9, 18:2n-6, 18:3n-3; PL de ise 18:0, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:6n-3 daha fazla yüzdede bulunmuştur. N-3/n-6 oranı TAG fraksiyonunda daha fazla saptanmıştır. Bu beklenmeyen bir durumdur. Nedeni ise, n-6 yağ asitlerinden 20:4n-6 oranının PL fraksiyonunda TAG'e oranla iki kat daha fazla bulunmasıdır. Bu nedenle bu bileşen PL de n-3/n-6 oranını düşürmüştür.

Doğal ve kültür Japon Kedi balığı *Silurus asotus*'un yumurtlama mevsimi esnasında ovaryum TAG'ünde n-7MUFA'lerin miktarı yüksek bulunmuştur. Kültür Kedi balığının ovaryumundaki Arakidonik asit miktarı; yazın kışa göre daha yüksek olarak saptanmıştır. Ovaryumda yumurtlamaya ve mevsime bağlı olarak lipit sınıflarında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre bu balığın lipit metabolizmasının yumurtlamaya ve mevsime bağlı olarak değiştiği söylenebilir (Shirai ve Wada, 2001).

Baykal Gölü'nde ergin dişi *Coregonus baicalensis*'te ovaryumlarının nötral lipitlerinde en çok  $\Sigma$ MUFA oluşturmuştur. Bunu  $\Sigma$ SFA'ler izlemiştir en az ise  $\Sigma$ PUFA'ler bulunmuştur. Total MUFA'ler içinde en çok 18:1n-9 saptanmıştır. Total MUFA'ler *C. baicalensis*'in polar lipitlerinde % 19 olarak belirlenmiştir (Kozlova ve Khotimchenko, 2000).

Çalıştığımız türün ovaryum ve testis TAG'ünde *C. baicalensis*'te olduğu gibi, analizi yapılan çoğu dönemlerde yüzde olarak en çok  $\Sigma$ MUFA, daha sonra  $\Sigma$ SFA en az ise  $\Sigma$ PUFA bulunmuştur. Total MUFA'ler içinde de en çok 18:1n-9 bulunmuştur.

Tablo 5: Dişi *T. grypus* 'un gonat triaçilgliserol fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 <sup>s</sup>	0.76±0.07	-	-	-	-	-
12:0	0.26±0.01a	-	0.10±0.01b	-	-	-
13:0	0.35±0.02a	0.17±0.01b	0.15±0.01b	-	-	-
14:0	4.13±0.41a	3.24±0.32a	3.00±0.30a	4.24±0.41a	2.72±0.27a	3.06±0.33a
15:0	1.27±0.12a	0.81±0.07a	0.47±0.04b	1.61±0.17a	0.64±0.06b	1.00±0.10a
16:0	28.61±1.28a	28.44±1.29a	25.65±1.31a	29.50±1.30a	25.97±1.24a	28.31±1.27a
17:0	0.66±0.06a	0.31±0.03b	0.61±0.05a	0.25±0.02b	0.62±0.05a	0.97±0.09c
18:0	4.20±0.42a	6.76±0.66a	7.69±0.71a	6.02±0.60a	6.44±0.62a	5.19±0.51a
$\Sigma$ S.F.A	<b>40.24±1.43a</b>	<b>39.73±1.38a</b>	<b>37.67±1.33b</b>	<b>41.62±1.44a</b>	<b>36.39±1.38b</b>	<b>38.53±1.38ab</b>
16:1n-7	9.38±0.91a	8.80±0.88a	7.48±0.71a	6.69±0.66b	7.16±0.73a	4.96±0.40b
18:1n-9	25.12±1.28a	27.25±1.22a	29.72±1.33b	29.41±1.27b	31.25±1.30b	35.96±1.42c
20:1n-9	1.00±0.13a	1.04±0.11a	1.70±0.17a	2.61±0.23b	1.22±0.19a	2.58±0.22b
$\Sigma$ M.U.F.A	<b>35.50±1.33a</b>	<b>37.09±1.39a</b>	<b>38.90±1.35a</b>	<b>38.71±1.40a</b>	<b>39.63±1.28a</b>	<b>43.50±1.44b</b>
18:2n-6	2.79±0.27a	1.74±0.15b	1.69±0.16b	2.46±0.23a	2.14±0.22a	3.08±0.34a
18:3n-3	1.53±0.12a	1.06±0.06a	1.37±0.17a	0.89±0.07a	1.42±0.14a	1.14±0.18a
20:2n-6	-	0.26±0.02a	0.28±0.02a	-	0.31±0.03a	0.45±0.04b
20:3n-6	3.37±0.35a	0.30±0.03b	0.22±0.01b	0.48±0.04c	0.34±0.02b	0.09±0.01d
20:4n-6	3.29±0.31a	3.66±0.26a	4.48±0.45a	3.83±0.33a	2.30±0.20b	2.66±0.26b
20:5n-3	4.57±0.45a	3.09±0.21a	3.31±0.29a	2.15±0.26b	3.82±0.34a	2.85±0.22b
22:5n-3	2.16±0.26a	2.28±0.20a	2.49±0.31a	2.34±0.35a	3.06±0.37b	3.38±0.39b
22:6n-3	6.44±0.66a	10.69±1.01b	8.59±0.88ab	7.46±0.79a	10.50±1.02b	4.24±0.46a
$\Sigma$ P.U.F.A	<b>24.15±1.26a</b>	<b>23.08±1.27a</b>	<b>22.43±1.20a</b>	<b>19.61±1.09b</b>	<b>23.89±1.31a</b>	<b>17.89±1.20b</b>
$\omega$ 3	14.7±1.05a	17.12±1.07a	15.76±1.15a	12.84±1.02b	18.80±1.08a	11.61±1.11b
$\omega$ 6	9.45±0.91a	5.96±0.56b	6.67±0.66b	6.77±0.63b	5.09±0.54b	6.28±0.67b
$\omega$ 3/ $\omega$ 6	1.55	2.87	2.36	1.89	3.69	1.84

\*Her veri 3 tekrarin ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.  $\xi$  her satırda aynı harflerle belirlenen veriler  $P>0.05$  olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir. S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri

*Tablo 6: Erkek T. grypus'un gonat triaçilgliserol fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değişimi*

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 <sup>8</sup>	0.54±0.05	-	-	-	-	-
12:0	0.19±0.01a	0.04±0.02b	0.03±0.02b	-	-	-
13:0	1.75±0.15a	0.18±0.11b	0.08±0.03c	-	-	-
14:0	4.50±0.40a	3.60±0.33a	2.85±0.25b	2.69±0.26b	2.82±0.22b	2.46±0.20b
15:0	0.80±0.06a	0.61±0.06a	0.58±0.05a	0.60±0.04a	0.75±0.07a	0.65±0.05a
16:0	24.19±1.28a	24.21±1.20a	23.25±1.22a	25.66±1.30a	25.12±1.25a	26.06±1.30a
17:0	0.42±0.04a	0.58±0.05a	0.55±0.03a	1.25±0.12b	0.66±0.06a	0.64±0.04a
18:0	4.75±0.43a	5.46±0.54a	4.60±0.44a	4.75±0.49a	5.66±0.55a	5.28±0.34a
<b>ΣS.F.A</b>	<b>37.14±1.33a</b>	<b>34.68±1.34a</b>	<b>31.94±1.30b</b>	<b>34.95±1.39a</b>	<b>35.01±1.40a</b>	<b>35.09±1.47a</b>
16:1n-7	9.19±0.91a	7.27±0.77a	8.06±0.83a	6.36±0.65a	6.85±0.69a	8.01±0.84a
18:1n-9	30.34±1.30a	29.28±1.27a	29.34±1.26a	31.32±1.31a	31.80±1.33a	32.02±1.39a
20:1n-9	1.04±0.11a	1.16±0.18a	1.90±0.16a	1.04±0.17a	1.77±0.20a	1.35±0.23a
<b>ΣM.U.F.A</b>	<b>40.57±1.44a</b>	<b>37.71±1.38a</b>	<b>39.30±1.33a</b>	<b>38.72±1.39a</b>	<b>40.42±1.40a</b>	<b>41.38±1.65a</b>
18:2n-6	4.52±0.34a	3.84±0.35a	2.12±0.22b	2.56±0.28b	3.04±0.30a	2.18±0.29b
18:3n-3	3.49±0.39a	3.24±0.33a	1.50±0.15b	3.14±0.31a	1.34±0.11b	2.76±0.25a
20:2n-6	0.39±0.03a	0.35±0.02a	0.34±0.03a	0.22±0.03a	0.39±0.03a	0.37±0.03a
20:3n-6	0.34±0.02a	0.33±0.02a	0.27±0.01a	0.24±0.01a	0.33±0.02a	0.27±0.02a
20:4n-6	3.00±0.32a	3.62±0.33a	3.53±0.35a	2.51±0.26b	2.39±0.20b	4.92±0.29a
20:5n-3	3.90±0.37a	3.93±0.33a	7.12±0.71b	5.14±0.52ab	3.34±0.21a	2.07±0.27c
22:5n-3	1.83±0.18a	2.72±0.22b	2.88±0.28b	2.63±0.32b	2.86±0.29b	2.78±0.21b
22:6n-3	4.72±0.44a	9.46±0.97b	10.91±1.01b	9.81±0.99b	10.79±1.07b	8.09±0.81b
<b>ΣP.U.F.A</b>	<b>22.19±1.22a</b>	<b>27.49±1.19b</b>	<b>28.67±1.29b</b>	<b>26.25±1.31b</b>	<b>24.48±1.20a</b>	<b>23.44±1.34a</b>
ω3	13.94±1.03a	19.35±1.09b	22.41±1.23b	20.72±1.20b	18.33±1.45b	15.70±1.05a
ω6	8.25±0.85a	8.14±0.83a	6.26±0.67a	5.53±0.55a	6.15±0.53a	7.74±0.76a
ω3/ω6	1.68	2.37	3.57	3.74	2.98	2.02

\*Her veri 3 tekrarı ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır. § her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir. S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri

## KAYNAKÇA

- Aras, N.M., Haliloğlu, H.I., Bayır, A., Atamanalp, M., & Sirkecioğlu, A.N. (2003). Karasu Havzası Yeşildere Çayı Olgun Dere Alabalıkları (*Salmo trutta macrostigma*, Dumeril, 1858)'nda farklı dokuların yağ asidi kompozisyonlarının karşılaştırılması. Turkish Journal of Veterinary and Animal Science, 27, 887-892.
- Cejas, J.R., Almansa, E., Villamandos, J.E., Badia, P., Bolanos, A., & Lorenzo, A. (2003). Lipid and fatty acid composition of ovaries from wild fish and ovaries and eggs from captive fish of white sea bream (*Diplodus sargus*). Aquaculture, 216 (1-4), 299-313.
- Epler, P., Sokolowska-Mikolajczyk, M., Popek, W., Bieniarz, K., Bartel, R., & Szczerbowski, J.A. (2001). Reproductive biology of selected fish species from Lakes Tharthar and Habbaniya in Iraq. Archives of Polish Fisheries, 9 (1), 199-209.
- Folch, J., Lees, M., & Sladane-Stanley, G. H. A. (1957). Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. The Journal of Biological Chemistry, 226, 497-509.
- Geldiay, R., & Balık, S. (1996). Türkiye tatlısu balıkları. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayın, No: 46 (II. Baskı), İzmir.
- Halver, J.E. (1989). Fish nutrition. Academic Press, Inc. 2nd Edition, p.798. New York.
- Kara, C., & Çelik, M. (2000). Fatty acid composition of gonad tissue in female and male *Chondrostoma regium* (Heckel, 1843) living in Ceyhan River, Kahramanmaraş-Turkey. Fen ve Mühendislik Dergisi. 3: 160-166.
- Kminkova, M., Winterova, R., & Kucera, J. (2001). Fatty acids in lipids of carp (*Cyprinus carpio*) tissues. Czech Journal of Food Science, 19, 177-181.
- Shirai, N., & Wada, S. (20019). Seasonal variation of fatty acid composition of phosphatidylinositol in the dorsal meat, liver and ovary of cultured Japanese catfish *Silurus asotus*. Fisheries Science, 67, 386-388.
- Uysal, K. (2004). Gonad olgunlaşması esnasında sudak (*Sander lucioperca*) balığının ovaryum ve testislerinin yağ asidi bileşimindeki değişimler. DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. 7. Sayı.
- Yılmaz, Ö., Konar, V., & Çelik, S. (1995). Elazığ Hazar Gölü'ndeki *Capoeta capoeta umbla*'nın dişi ve erkek bireylerinde bazı dokularının total lipid ve yağ asidi bileşimleri. Biyokimya Dergisi, 20, 31-42.