

FEN BİLİMLERİ *ve* MATEMATİK

Alanında Uluslararası Çalışmalar

EDİTÖRLER

PROF. DR. ALPARSLAN DAYANGAÇ
PROF. HASAN AKGÜL

Horizon 2025

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel

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

Birinci Basım / First Edition • © Haziran 2025

ISBN • 978-625-5897-28-2

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

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

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 42488

FEN BİLİMLERİ *ve* MATEMATİK

ALANINDA ULUSLARARASI ÇALIŞMALAR

EDİTÖRLER

PROF. DR. ALPARSLAN DAYANGAÇ
PROF. HASAN AKGÜL

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ GÜRE YERLEŞKESİNİN ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

Birol ERTUĞRAL, Ramazan AYDIN, Ömer SÖĞÜT—1

Bölüm 2

ÇEVRE DOSTU POLİMER ADSORBANLA BOYAR MADDE ARITIMI: ACİD VİOLET 90'IN ADSORPSİYON DAVRANIŞI

İlknur ALKAC, Petek BALCI, Ali KARA—23

Bölüm 3

GLUTAMİN VE TÜREVLERİNİN ELEKTRON PARAMANYETİK REZONANS(EPR) PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Mehmet Halim BAŞKAN—41

Bölüm 4

**ACİD RED-52 BOYAR MADDESİNİN SULU ORTAMDAN
106 MM (P[EG-CO-VPDON]) KOPOLİMERİ İLE
GİDERİMİ: ADSORPSİYON ÜZERİNE PH VE BAŞLANGIÇ
KONSANTRASYONUNUN ETKİSİ**

Sude AKGÜL, Petek BALCI, Ali KARA—57

Bölüm 5

FEN BİLİMLERİ ALAN BECERİLERİ VE BİLEŞENLERİ

Çağın KAMIŞÇIOĞLU—73

Bölüm 1

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ GÜRE YERLEŞKESİNİN ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ¹

Birol ERTUĞRAL², Ramazan AYDIN³, Ömer SÖĞÜT⁴

1 Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesinin Elektromanyetik Kirlilik Seviyesinin Belirlenmesi” adlı çalışma Ramazan AYDIN tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak sunulacaktır. Danışman: Prof. Dr. Birol Ertuğral, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Giresun.

2 Prof. Dr.; Giresun Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 28200 Giresun/Türkiye birol.ertugral@giresun.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-4376-3476

3 Öğrt., Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 28200 Giresun/Türkiye fenproje6161@outlook.com, ORCID No: 0009-0002-4461-5966

4 Prof. Dr.; Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 46100 Kahramanmaraş/Türkiye osogut@ksu.edu.tr , ORCID No:0000-0003-1987-1116

GİRİŞ

Radyasyon, dalgalar veya parçacıklar halinde yayılan bir enerji olarak tanımlanabilir. Radyasyon tüm evrenin bugüne kadar keşfedilmiş en önemli enerji kaynağı olmasıyla birlikte Dünyadaki tüm varlıkların yaşam kaynağıdır. Ancak radyasyon yaşamın kaynağı olduğu kadar tüm yaşamı sonlandıracak kadar da tehlikeli bir güçtür.

İnsanoğlu sağlıktan ulaşım, telekomünikasyondan eğitime ve askeri ve ağır sanayiden küçük ev aletlerinin üretim teknolojisine kadar yaşamını kolaylaştırmak ve savunmasını güçlendirmek için geliştirmiş olduğu teknolojik cihazlarla birlikte maruz kaldığı yapay radyasyon maruziyetini artırmıştır. İnsanlar ve Dünyadaki tüm canlılar doğumlarından ölümlerine kadar doğal ve yapay olmak üzere iki türlü radyasyona maruz kalırlar. İnsanoğlu tarafından; kozmik ışınlar, X-ışınları ve gama ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyonlar ile mikrodalgalar, radyo dalgaları ve radyo frekans kökenli cep telefonu dalgaları (RF) gibi iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olmak üzere, iki tür radyasyon keşfedilmiştir.

Cep telefonları radyo frekans kökenli (RF) iyonlaştırıcı olmayan radyasyona maruz kalmamıza neden olurlar. Cep telefonlarını, 450 ile 2700 MHz arasındaki frekanslarda ve 0.1 ile 2 watt arasındaki güçlerde çalışan düşük enerjili radyo frekans verici cihazlar olarak adlandırılmaktadır. Cep telefonları hücreli telefonlar veya ahizeler olarak da adlandırılmışlardır. Cep telefonları, insanların hareket özgürlüklerini kısıtlamadan her an ve neredeyse her yerden iletişim kurmalarına olanak tanıyan bir cihaz olmuştur. Bu nedenle, cep telefonları modern telekomünikasyonun ayrılmaz bir parçası haline gelmiş ve sosyal bir yaşam tarzı yaratmıştır. Cep telefonları artık herkesin ulaşabildiği bir cihaz olduğu için her yerde ve her kesim de bulunur hale geldi. Kablosuz teknoloji kullanıcıları radyo frekansı (RF) sinyalleri ve baz istasyonu ağları ile birbirlerine bağlanırlar.

Son yıllarda özellikle dördüncü (4G) ve beşinci (5G) nesil cep telefonlarının kullanımının artmasıyla birlikte, cep telefonlarının yaydığı radyo frekans elektromanyetik alanların (RF-EMF) olumsuz sağlık etkileri konusunda büyük bir endişe oluşmaya başladı (Viel ve ark., 2009; Martinez-Gonzalez ve ark., 2002; Ahlbom ve ark., 2002; Kwon ve ark., 2012). Üstelik Dünya Sağlık Örgütü'nün bir alt kurumu olan Kanser Araştırmaları için Uluslararası Ajans (IARC), 31 Mayıs 2011'de cep telefonu kullanımı ile ilgili, beyin kanserinin bir malign türü olan gliyomanın artma riskine bağlı olarak (Grup 2B) radyofrekans elektromanyetik alanları insanlar için muhtemel kanserojen olarak sınıflandırmıştır (WHO, 2011).

Cep telefonlarının ve diğer kablosuz cihazların günlük hayatta kullanımı arttıkça, bunların neden olabileceği potansiyel sağlık etkileriyle

ilgili endişeler de artmaya devam etmektedir. Bunlarla birlikte, ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından radyofrekans (RF) kökenli iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlara maruziyet ile ilgili güvenlik yönergeleri belirlenmiş, ancak bu bile RF alanına maruz kalmayla ilişkili olumsuz sağlık etkileri hakkındaki endişeleri ortadan kaldırmamıştır (ICNIRP, 1998; IEEE C95.1-1999). Her şeye rağmen, RF kökenli iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlarının neden olduğu sağlık risklerinin seviyelerinin tespitine hala ihtiyaç vardır.

Cep telefonu radyasyonlarının insan vücudu üzerindeki etkisine ile ilgili olarak çok sayıda çalışma olmasına rağmen bunlardan sadece birkaçı insanların baz istasyonlarına maruz kalmasının etkisini araştırmıştır (Pachua ve ark., 2014). Cep telefonu radyasyonunun insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri arasında; psikolojik etkiler, kulak çınlaması, üreme etkileri, baş ağrısı, baş dönmesi, beyin elektriksel aktivitesinin etkilenmesi, uyku bozukluğu, kalp atış hızında artış, kan basıncında artış, yorgunluk, sıcaklık hissi, kafa derisinin duyuşal rahatsızlığı, görme bozuklukları, hafıza kaybı, kas sorunları ve kanser, beyin tümörü gibi epidemiyolojik etkiler yer almaktadır (Wargo ve ark., 2012; Chia ve ark., 2000; Usman ve ark., 2009; Oftedal ve ark., 2000; Lonn ve ark., 2005; Schuz ve ark., 2006; Divan ve ark., 2010; Rezk ve ark., 2008; Oulasvirta ve ark., 2011; Yu ve Yao., 2010; Hardell ve ark., 2009). Birçok araştırmanın radyo frekans kökenli elektromanyetik radyasyonun canlı organizma üzerinde çeşitli olumsuz etkileri olduğunu rapor ederken bazı araştırmalarda bu dalgaların tıbbi amaçlar için kullanılabileceğini rapor etmiştir.

GSM, “Mobil İletişim için Küresel Sistem” veya bir mobil iletişim sistemi anlamındadır. GSM dünyada ilk olarak Finlandiya’da kullanılmıştır. Finlandiya, coğrafi yapısı, hava şartları ve dağınık yerleşim alanları nedeniyle kablolu iletişime yerine mobil sistem üzerinde çalışılmaya başlanmış ve sistem üzerinde ilk deneyler 1982 yılında yapılmıştır (Wargo ve ark., 2012; web 1; Cevizli, 2009).

Baz istasyonları, GSM hücresindeki abonelerle iletişimi sağlayan verici/alıcı sistemleridir. Cep telefonu baz istasyonları, radyo frekansı radyasyonu (RFR) yayan mikrodalga cihazları gibidir. Baz istasyonundan kaynaklanan toplam RF radyasyonu sabit bir değer değildir ve kullanıcı yoğunluğuna göre değişir. Baz istasyonunun bulunduğu bölgedeki mobil telefon kullanıcılarının sayısı ve eş zamanlı arama sayısı arttıkça, baz istasyonu anteninden yayılan RF radyasyon enerjisi de artar. Cep telefonları görüşme sırasında maksimum çıkış gücüne ulaşır, ancak bağlantı sağlandıktan sonra çıkış gücü seviyesi minimum seviyeye düşer. Bu nedenle çocukların, hastaların ve diğer risk gruplarının yaşadığı binalarda yani eğitim kurumlarında ve hastanelerde baz istasyonlarının bulunma-

sının insan sağlığı açısından zararlı olabileceği dikkate alınması gerekir (Moulder ve ark., 1999).

2025 yılı itibarıyla Türkiye’de cep telefonu kullanan kişi sayısının 80,7 milyon civarı olduğu tahmin edilmektedir. Uluslararası veri şirketine göre (International Data Corporation, IDC) 2024 yılında Dünya genelinde 1,2 milyar akıllı telefon satılmış ve bu sayının bir önceki yıla göre %3 daha fazla olduğu rapor edilmiştir. Radyo frekans kökenli elektromanyetik radyasyonun kullanımı, teknolojik gelişmelerle birlikte sürekli artmakta ve günlük yaşamda bu tür radyasyona maruz kalma düzeyi, doğal radyasyon maruziyetinden çok daha fazla olmaya başlamıştır.

Bu çalışmanın amacı Giresun Üniversitesi Güre kampüsünde bulunan cep telefonları ve cep telefonu baz istasyonlarından kaynaklanan radyo frekanslı elektromanyetik radyasyonların kirlilik düzeyini belirlemek, toplumda konu hakkında farkındalık yaratmak ve radyasyon kirliliğinin yol açtığı zararlardan korunma veya bu zararları en aza indirebilmeye ilgili önerilerde bulunmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

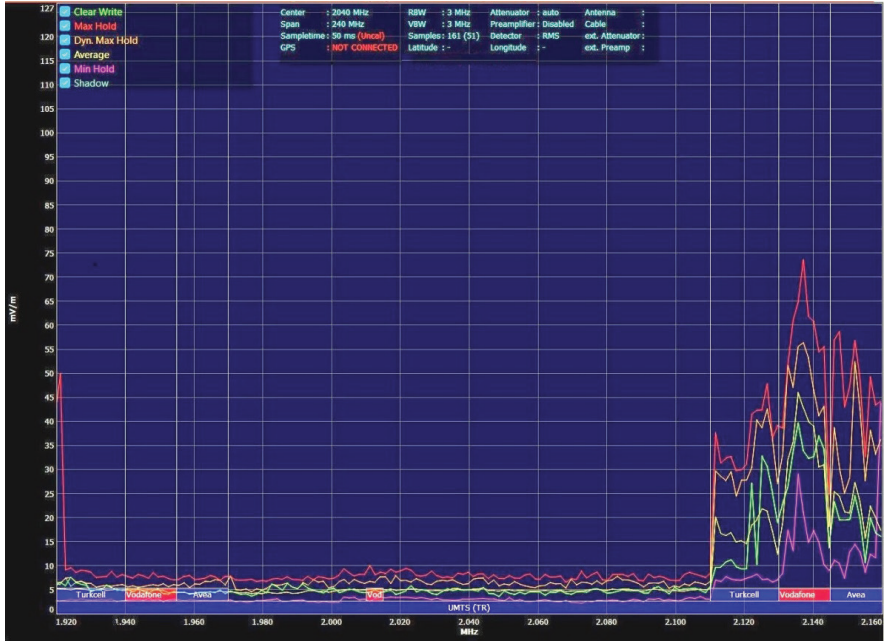
2.1. Ölçüm Alanı ve Ölçümlerin Yapılması

Giresun Üniversitesi Güre kampüsünün inşaatı 2006 yılında başlamış ve 2015 yılında bugünkü halini almıştır. Kampüs alanı 165207 m² alana üzerine kurulmuş ve deniz seviyesinden yüksekliği 48m’dir.

Güre kampüs alanı içerisinde Eğitim Fakültesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İslami İlimler Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Yabancı Diller Yüksekokulu, Giresun Üniversitesi Devlet Konservatuarı, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Rektörlük ve İdari Birimler ile Üniversite camisi bulunmaktadır. Kampüste eğitim gören toplam lisans ve lisansüstü öğrenci sayısı 10140 olup, toplam çalışan akademik, idari ve hizmetli personel sayısı ise 539’dur.

Ölçümler için Güre kampüs alanının elektromanyetik alan kirlilik düzeyini homojen olarak temsil edecek şekilde 13 ölçüm noktası tespit edildi. Tespit edilen ölçüm noktalarında ölçümler haftanın yedi günü ve günün aynı saat aralıklarında (09:30-16:00) yapıldı. Ölçümler her ölçüm noktasında en az üç kez tekrarlandı ve ölçüm süresi ICNIRP ve BTK’nın tavsiye ettiği gibi en az 6 dakika olarak ayarlandı. Giresun Üniversitesi Güre kampüs alanının elektromanyetik alan kirlilik düzeyini tespit etmek için frekans seçici özelliği ve frekans aralığı 1MHz - 9.4 GHz olan, taşınabilir Aaronia Spectran HF-60105 V4 Spektrum Analizörü kullanıldı.

Spectran HF-60105 V4 taşınabilir spektrum analizörü ile GSM900 MHz, GSM1800 MHz ve UMTS 2100 MHz frekanslarında elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu ölçümleri yapıldı ve ölçümlerin anilizleri ve spektrumlarının alınması MCS yazılımı yüklü bir diz üstü bilgisayarla ile yapıldı. Şekil 1’de UMTS 2100 MHz frekanslarında 8. konumda ölçülen elektrik alan gücü spektrumu verildi.



Şekil 1. UMTS 2100 MHz frekanslarında 8. konumda ölçülmüş elektrik alan gücü spektrumu

2.2. Hesaplamaların Yapılması

Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun bir T zamanında alınan ortalama değeri denklem (1)’deki gibi yazılabilir (Szmigielski ve ark., 2000).

$$S_{av} = \frac{1}{T} \sum_i S_i t_i \quad (1)$$

bu denklemde S_i eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun t_i zamanı kadar maruz kalma zamanındaki değerini temsil etmekte ve t_i örnekleme zamanıdır. Burada t_i sırasında S_i değeri sıfır olmamalı ve süreç boyunca sabit kalmalıdır. Giresun Üniversitesi Güre kampüsü alanında çalışan insanlar için ortalama çalışma süresi $T=8$ saat olarak alınabilir. Ancak

kampüs alanı için bir yıl için maruz kalma hesaplandı ve bir yıl $T=8760$ saattir. Bir T zamanda E 'nin ortalama değeri aşağıdaki gibi verilebilir (Szmigielski ve ark., 2000).

$$E_{ort} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum E_i t_i} \quad (2)$$

(2) nolu denklemde E_i , t_i sürende ölçülen rms (ortalama karekök) elektrik alan gücünün değerlerini ve t_i örneklendirme zamanını temsil etmektedir. Örneklendirme zamanında, t_i , E_i değeri sıfır olmamalı ve örneklendirme süresince sabit kalmalıdır. Radyasyon Dozu (D) E_i ve S_i 'ye bağlı olarak birimi $(W \times h)/m^2$ 'dir ve D aşağıdaki gibi yazılabilir (Szmigielski ve ark., 2000).

$$D = \sum S_i t_i \quad (3)$$

$$D = \frac{1}{Z_0} \sum E_i^2 t_i \quad \text{burada} \quad Z_0 = 377 \Omega' \text{dur} \quad (4)$$

$$D = S_{av} T \quad (5)$$

$$D = \frac{1}{Z_0} E_{ort}^2 T \quad (6)$$

D_n ölçüm yapılan radyasyon frekansında, izin verilen maksimum radyasyon dozu, denklem (8) ile hesaplanabilir.

$$D_n = S_n T \quad \text{ya da} \quad D_n = \frac{1}{Z_0} E_n^2 T \quad (7)$$

S_n ve E_n değerleri elektromanyetik dalgaların ölçüm yapılan frekans-ta ulusal ve uluslararası kurumlar tarafından tanımlanan sınır değerlerinden/standartlarından alınan S ve E 'nin ilgili değerleri kullanılarak hesaplanan değerlerdir. Yukarıdaki denklemlerde verilen S_i , E_i , S_n ve E_n ya da D ve D_n değerleri kullanılarak radyasyon doz indeksi (RDI) hesaplanabilir.

$$RDI = \frac{\sum S_i t_i}{S_n T} \quad \text{ya da} \quad RDI = \frac{\sum E_i^2 t_i}{E_n^2 T} \quad (8)$$

RF kökenli iyonlaştırıcı olmayan radyasyona maruz kalmanın değerlendirilmesinde, radyasyon doz indeksi (RDI) kullanılır ve aşağıdaki denklem yardım ile hesaplanabilir (Szmigielski ve ark., 2000).

$$RDI = \frac{D}{D_n} \quad (9)$$

Şayet yapılan hesaplamalar sonunda $RDI > 1$ olarak hesaplanırsa, ölçüm alanındaki radyasyon düzeyinin insan sağlığı için zararlı olduğu ifade ederken $RDI < 1$ olarak hesaplanırsa ölçüm yapılan alandaki radyasyon düzeyinin insan sağlığı için zararsız olduğunu ifade etmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu araştırmada Giresun üniversitesi Güre kampüs alanında elektromanyetik alan kirlilik düzeyini tespit etmek için GSM900 MHz, GSM1800 MHz ve UMTS 2100 MHz frekanslarında elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu ölçümleri frekans aralığı 1MHz- 9.4 GHz olan, taşınabilir Aaronia Spectran HF-60105 V4 Spektrum Analizörüyle yapıldı ve ölçümlerin değerlendirilmesi için MCS yazılımı yüklü bir dizüstü bilgisayar kullanıldı.

GSM900 MHz frekansında yapılan ölçümlerin haftalık olarak hesaplanan ortalama elektrik alan gücü (E), manyetik alan gücü (H) ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (S) değerleri sırasıyla 235.83 mV/m, 563.59 μ A/m ve 201.66 μ W/m² olarak bulundu.

GSM1800 MHz frekansında E, H ve S için yapılan ölçümlerin haftalık ortalama değerleri sırasıyla 63.08 mV/m, 167.20 μ A/m ve 19.34 μ W/m² olarak hesaplandı.

UMTS 2100 MHz frekansında yapılan ölçümlerin haftalık ortalama elektrik alan gücü (E), manyetik alan gücü (H) ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (S) değerleri sırasıyla 133.37 mV/m, 353.91 μ A/m ve 80.24 μ W/m² olarak hesaplandı.

Farklı günlerde ve farklı yerlerde ölçülen değerlerin birbirlerinden farklı çıkmasının nedeni ölçüm yapılan yerin baz istasyonuna uzak/yakın olması ya da ölçüm yapılan konumun yakınından cep telefonu ile arama yapan ya da konuşan birinin geçmiş olması olabilir. Günlük olarak ölçülen değerlerin ve haftalık ortalama olarak hesaplanan değerlerin hiçbirine BTK nede ICNIRP tarafından tanımlanan sınır değerlerden büyük değildir (BTK, 2011; ICNIRP, 1998). BTK ve ICNIRP tarafından E, H ve S için tanımlanan sınır değerleri Tablo 1'de verildi.

Tablo1 ICNIRP ve BTK tarafından E, H ve S için tanımlanan sınır değerleri

Frekans aralığı	E (V/m)	H (A/m)	S (W/m ²)	ICNIRP ve BTK'ya göre f, frekansı için verilen değerler
400-2000 MHz	$1.375\sqrt{f}$	$0.0037\sqrt{f}$	$f/200$	
900 MHz	41.25	0.111	4.5	Bu çalışma için hesaplanan sınır değerleri
1800 MHz	58.34	0.157	9.0	
2100 MHz	63.00	0.170	10.5	

GSM900, GSM1800 ve UMTS 2100 MHz frekansları için radyasyon doz indeksi (RDI) değerleri sırasıyla 44.81×10^{-6} , 2.15×10^{-6} ve 7.64×10^{-6} olarak hesaplandı. Tüm frekanslar için hesaplanan RDI değerlerinin tümü 1'den çok küçük olduğu için Giresun üniversitesi Güre kampüs alanında ölçülen elektromanyetik alan kirlilik düzeyinin insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerinin olmadığı söylenebilir.

Tablo 2'de, GSM900 frekansı için elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun günlere ve ölçüm noktalarına göre tespit edilen ölçüm değerleri verilmiştir.

Pazartesi günü en büyük elektrik alan gücü (494.20 mV/m), manyetik alan gücü (1311.90 μ A/m) ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (648.40μ W/m²) 6. konumda konservatuar önünde ölçülürken, en küçük değerler sırasıyla 15.36 mV/m, 40.78 μ A/m ve 0.63μ W/m² olarak 5. konumda (Sağlık Hizmetleri MYO'nun önünde) ölçüldü. Salı günü en küçük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu sırasıyla 18.47mV/m 49.02 μ A/m ve 0.905μ W/m² olarak 11. konumda spor bilimleri fakültesinin önünde tespit edilirken en büyük elektrik alan gücü 9. konumda rektörlük binasının önünde (843.40 mV/m) olarak ve en büyük manyetik alan gücü (1385.00 μ A/m) ile en büyük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (722.70μ W/m²) değeri 6. konumda konservatuar önünde tespit edildi. Çarşamba günü en büyük elektrik alan gücü (557.98 mV/m), manyetik alan gücü (1487.31 μ A/m) ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (836.24μ W/m²) rektörlük binasının önünde 9. konumda ölçüldü. En küçük elektrik alan ve manyetik alan gücü değerleri sırasıyla 20.18 mV/m ve 53.58 μ A/m olarak 11. konumda Spor Bilimleri Fakültesinin önünde ölçülürken en küçük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değeri 10. konumda, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ile Fen-Edebiyat Fakültesinin arkasındaki parkta 0.855μ W/m² olarak ölçüldü. Perşembe günü yapılan ölçümlerden en küçük elektrik alan gücü (5.29 mV/m), manyetik alan gücü (14.40 μ A/m) ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (0.074μ W/m²) 11. konumda Spor Bilimleri Fakültesinin

önünde tespit edildi. En büyük elektrik alan gücü 10. konumda İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ile Fen-Edebiyat Fakültesinin arkasındaki parkta 685.72 mV/m olarak ölçülürken, en büyük manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri sırasıyla 1286.00 $\mu\text{A/m}$ ve 623.10 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 6. konumda konservatuar önünde tespit edildi. Cuma günü için en büyük ve en küçük elektrik alan gücü 502.00 ve 13.55 mV/m olarak sırasıyla 6. konumda konservatuar önünde ve 11. konumda Spor Bilimleri Fakültesinin önünde ölçüldü. En büyük ve en küçük manyetik alan gücü değerleri de sırasıyla 1332.61 ve 35.96 $\mu\text{A/m}$ olarak manyetik alan gücü ile aynı konumda ölçüldü. En büyük ve en küçük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri de 669.10 ve 0.487 $\mu\text{W/m}^2$ olarak sırasıyla 6. konumda konservatuar önünde ve 11. konumda Spor Bilimleri Fakültesinin önünde ölçüldü. Cumartesi günü en küçük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri sırasıyla 28.04 mV/m, 74.42 $\mu\text{A/m}$ ve 2.086 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 9. konumda rektörlük binasının önünde tespit edilirken en büyük değerler sırasıyla 474.50 mV/m, 1259.60 $\mu\text{A/m}$ ve 597.70 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 6. konumda konservatuar önünde tespit edildi. Pazar günü ölçülen en büyük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu 9. konumda ölçülürken en küçük değerler 11. ölçüm konumunda tespit edildi. Tablo 2 ve Şekil 2-4'den görüldüğü gibi, GSM900 MHz frekansı için haftalık olarak hesaplanan ortalama elektrik alan gücünün, manyetik alan gücünün ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun değerleri sırasıyla 481.09 mV/m, 1277.50 $\mu\text{A/m}$ ve 616.66 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 6. ölçüm konumunda yapılan ölçümlerden hesaplanırken en küçük değerler sırasıyla 18.11 mV/m, 48.12 $\mu\text{A/m}$ ve 0.99 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 11. ölçüm konumunda tespit edilmiştir.

Tablo 3'te, GSM1800 MHz frekansı için elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun günlere ve ölçüm noktalarına göre tespit edilen ölçüm değerleri verilmiştir.

Pazartesi günü en büyük elektrik alan gücü (118.10 mV/m), manyetik alan gücü (313.60 $\mu\text{A/m}$) ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (37.05 $\mu\text{W/m}^2$) 6. konumda konservatuar önünde ölçüldü. En küçük değerler ise sırasıyla 23.36 mV/m, 62.00 $\mu\text{A/m}$ ve 1.45 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 3. konumda (Sağlık Hizmetleri MYO'nun önünde) ölçüldü. Salı günü en küçük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu sırasıyla 12.67 mV/m 33.62 $\mu\text{A/m}$ ve 0.426 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 11. konumda spor bilimleri fakültesinin önünde tespit edilirken en büyük elektrik alan gücü (184.70 mV/m), en büyük manyetik alan gücü (490.20 $\mu\text{A/m}$) ve en büyük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (90.54 $\mu\text{W/m}^2$) değeri 9. konumda tespit edildi. Çarşamba günü en büyük elektrik alan gücü (212.75 mV/m), manyetik alan gücü (568.41 $\mu\text{A/m}$) ve eşdeğer düzlem dalga güç

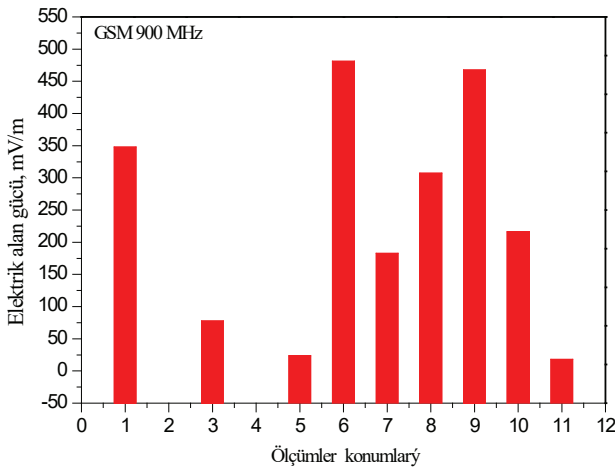
yoğunluğu ($119.45 \mu\text{W}/\text{m}^2$) 9. konumda ölçülürken, en küçük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değeri sırasıyla 10. konumda sırasıyla $13.37 \text{ mV}/\text{m}$, $36.42 \mu\text{A}/\text{m}$ ve $0.515 \mu\text{W}/\text{m}^2$ olarak ölçüldü. Perşembe günü yapılan ölçümlerden en küçük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu sırasıyla $17.04 \text{ mV}/\text{m}$, $45.24 \mu\text{A}/\text{m}$ ve $0.77 \mu\text{W}/\text{m}^2$ olarak 11. konumda tespit edildi. En büyük elektrik alan gücü ($185.80 \text{ mV}/\text{m}$), en büyük manyetik alan gücü ($493.32 \mu\text{A}/\text{m}$) ve en büyük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri ($91.67 \mu\text{W}/\text{m}^2$) 9. konumda tespit edildi. Cuma günü için en büyük ve en küçük elektrik alan gücü 236.60 ve $8.83 \text{ mV}/\text{m}$ olarak sırasıyla 9. konumda ve 11. konumda ölçülürken, en büyük ve en küçük manyetik alan gücü değerleri de sırasıyla 628.10 ve $23.45 \mu\text{A}/\text{m}$ olarak manyetik alan gücü ile aynı konumda ölçüldü. En büyük ve en küçük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri 148.60 ve $0.220 \mu\text{W}/\text{m}^2$ olarak sırasıyla 9. ve 11. konumda ölçüldü. Cumartesi günü en küçük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri sırasıyla $18.51 \text{ mV}/\text{m}$, $49.13 \mu\text{A}/\text{m}$ ve $0.909 \mu\text{W}/\text{m}^2$ olarak 5. konumda tespit edilirken en büyük değerler sırasıyla $156.20 \text{ mV}/\text{m}$, $414.50 \mu\text{A}/\text{m}$ ve $64.73 \mu\text{W}/\text{m}^2$ olarak 9. konumda tespit edildi. Pazar günü en büyük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu, manyetik alan gücü ve elektrik alan gücü sırasıyla $94.49 \mu\text{W}/\text{m}^2$, $500.80 \mu\text{A}/\text{m}$ ve $188.70 \text{ mV}/\text{m}$ olarak 9. konumda ölçülürken, en küçük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu, manyetik alan gücü ve elektrik alan gücü sırasıyla $0.44 \mu\text{W}/\text{m}^2$, $34.20 \mu\text{A}/\text{m}$ ve $12.88 \text{ mV}/\text{m}$ olarak 5. konumda ölçüldü. Tablo 3 ve Şekil 5-7'den görüldüğü gibi, GSM1800 frekansında yapılan ölçümlerden hesaplanan haftalık ortalama elektrik alan gücünün, manyetik alan gücünün ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun en büyük değerleri sırasıyla $180.63 \text{ mV}/\text{m}$, $479.96 \mu\text{A}/\text{m}$ ve $90.83 \mu\text{W}/\text{m}^2$ 9. konumda tespit edilirken, en küçük değerler sırasıyla $15.27 \text{ mV}/\text{m}$, $40.46 \mu\text{A}/\text{m}$ ve $0.64 \mu\text{W}/\text{m}^2$ olarak 5. ölçüm konumunda tespit edildi.

Tablo 4'de UMTS 2100 MHz frekansı için elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun günlere ve ölçüm noktalarına göre tespit edilen ölçüm değerleri verilmiştir.

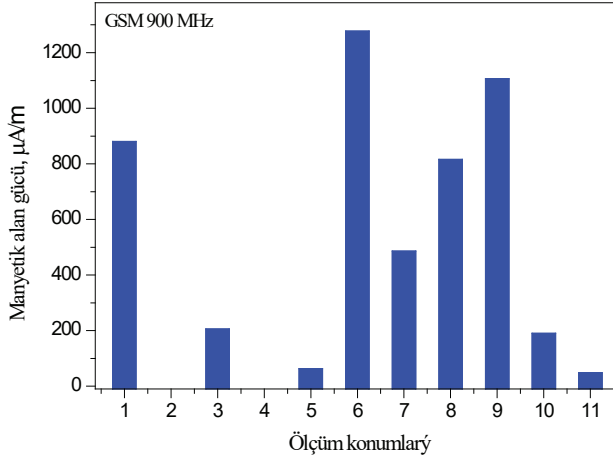
Pazartesi günü en büyük elektrik alan gücü ($250.60 \text{ mV}/\text{m}$), manyetik alan gücü ($665.20 \mu\text{A}/\text{m}$) ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu ($166.70 \mu\text{W}/\text{m}^2$) 8. konumda ölçüldü. En küçük değerler ise sırasıyla $32.98 \text{ mV}/\text{m}$, $87.53 \mu\text{A}/\text{m}$ ve $2.89 \mu\text{W}/\text{m}^2$ olarak 5. konumda ölçüldü. Salı günü yapılan ölçümlerde en küçük elektrik alan gücü ($24.34 \text{ mV}/\text{m}$), manyetik alan gücü ($65.17 \mu\text{A}/\text{m}$) ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu ($1.60 \mu\text{W}/\text{m}^2$) 5. konumda ölçülürken en büyük değerler sırasıyla $409.00 \text{ mV}/\text{m}$, $1085.60 \mu\text{A}/\text{m}$ ve $444.00 \mu\text{W}/\text{m}^2$ olarak 9. konumda ölçüldü. Çarşamba günü en büyük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem

dalga güç yoğunluğu 218.32 mV/m, 583.07 $\mu\text{A/m}$ ve 127.28 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 9. konumda ölçüldü. En küçük elektrik alan ve manyetik alan gücü 39.26 mV/m 8. konumda ve 104.30 $\mu\text{A/m}$ olarak 7. ve 8. konumda ölçülürken, en küçük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri 4.115 $\mu\text{W/m}^2$ olarak sırasıyla 5., 7. ve 8. konumlarda ölçüldü. Perşembe günü yapılan ölçümlerden en küçük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri sırasıyla 33.11 mV/m, 87.89 $\mu\text{A/m}$ ve 2.90 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 11. konumda tespit edildi. En büyük elektrik alan gücü (334.31 mV/m), en büyük manyetik alan gücü (887.55 $\mu\text{A/m}$) ve en büyük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri (296.78 $\mu\text{W/m}^2$) 8. konumda tespit edildi. Cuma günü yapılan ölçümlerde en büyük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri sırasıyla 448.50 mV/m, 1190.50 $\mu\text{A/m}$ ve 534.00 $\mu\text{W/m}^2$ 9. konumda tespit edilirken en küçük değerler sırasıyla 28.80 mV/m, 76.46 $\mu\text{A/m}$ ve 2.202 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 5. konumda tespit edildi. Cumartesi günü yapılan ölçümlerde en küçük elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri sırasıyla 33.92 mV/m, 90.05 $\mu\text{A/m}$ ve 3.054 $\mu\text{W/m}^2$ 5. konumda ölçülürken en büyük değerler sırasıyla 331.80 mV/m, 880.80 $\mu\text{A/m}$ ve 292.30 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 9. konumda ölçüldü. Pazar günü en büyük E, H ve S değerleri sırasıyla 570.90 mV/m, 1515.50 $\mu\text{A/m}$ ve 865.30 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 9. konumda tespit edilirken en küçük E, H ve S değerleri sırasıyla 26.69 mV/m, 70.86 $\mu\text{A/m}$ ve 1.89 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 5. konumda tespit edildi. Tablo 4 ve Şekil 8-10'dan görüldüğü gibi, UMTS 2100 MHz frekansında yapılan ölçümlerden hesaplanan en büyük elektrik alan gücünün ortalama değeri 9. ölçüm konumunda 333.19 mV/m olarak hesaplanırken en küçük değerler 5. ölçüm konumunda 31.65 mV/m olarak hesaplandı. Ortalama manyetik alan gücünün en büyük değeri 1706.31 $\mu\text{A/m}$ olarak 10. konumda hesaplanırken en küçük değeri 84.09 $\mu\text{A/m}$ olarak 5. konumda hesaplandı. Ortalama olarak hesaplanan en büyük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun değeri 347.03 $\mu\text{W/m}^2$ olarak 9. konum için hesaplanırken, en küçük ortalama değer de 5. konumda 2.72 $\mu\text{W/m}^2$ olarak hesaplandı.

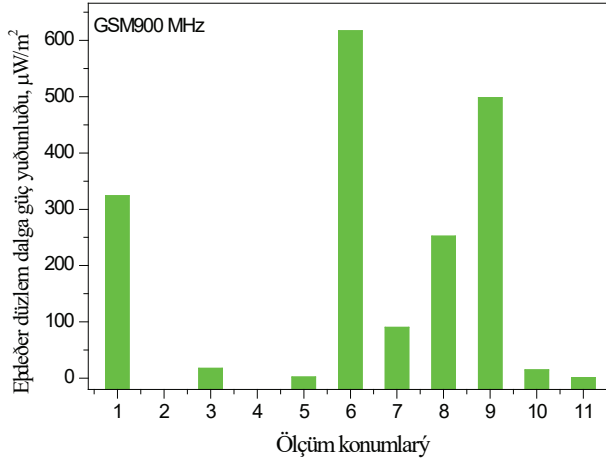
Günler		1.K	3.K	5.K	6.K	7.K	8.K	9.K	10.K	11.K	Ort.
13.05.24 Pazartesi	E (mV/m)	350.90	89.46	15.36	494.20	154.90	286.60	236.90	138.90	24.02	199.03
	H (μ A/m)	631.40	237.50	40.78	1311.90	411.10	760.60	629.00	368.70	63.77	494.97
	S (μ W/m ²)	326.80	21.24	0.63	648.40	63.66	218.00	149.00	51.20	1.53	164.50
14.05.24 Salı	E (mV/m)	362.80	99.82	21.41	521.80	188.10	292.90	843.40	67.14	18.47	268.43
	H (μ A/m)	963.00	262.30	56.83	1385.00	499.20	777.50	1283.20	178.20	49.02	606.03
	S (μ W/m ²)	349.40	25.90	1.217	722.70	93.88	227.70	620.30	11.97	0.905	228.22
08.05.24 Çarşamba	E (mV/m)	345.05	42.86	30.29	426.57	192.08	341.05	557.98	56.53	20.18	223.62
	H (μ A/m)	915.15	113.89	80.94	1135.50	512.41	910.32	1487.31	150.61	53.58	595.52
	S (μ W/m ²)	317.39	4.822	2.464	483.93	98.04	305.81	836.24	0.855	1.08	227.85
09.05.24 Perşembe	E (mV/m)	373.00	69.56	29.82	484.50	165.80	335.00	266.60	685.72	5.29	268.37
	H (μ A/m)	990.01	184.60	79.15	1286.00	439.20	889.20	707.71	182.00	14.40	530.25
	S (μ W/m ²)	369.21	12.84	2.35	623.10	72.68	297.95	188.79	12.48	0.074	175.50
10.05.24 Cuma	E (mV/m)	272.10	87.29	14.09	502.00	164.50	261.4	449.31	439.75	13.55	244.89
	H (μ A/m)	722.21	231.70	37.39	1332.61	436.60	693.9	1192.50	116.1	35.96	533.22
	S (μ W/m ²)	196.50	20.23	0.527	669.10	71.80	181.4	535.80	5.318	0.487	186.80
11.05.24 Cumartesi	E (mV/m)	366.8	54.04	32.86	474.50	193.9	320.40	380.2	63.46	28.04	212.69
	H (μ A/m)	973.5	143.40	87.24	1259.6	514.70	850.60	1009.3	168.4	74.42	564.57
	S (μ W/m ²)	357.0	7.75	2.86	597.7	99.78	272.60	383.8	10.69	2.086	192.70
12.05.24 Pazar	E (mV/m)	363.60	101.10	22.09	464.10	221.20	312.50	539.70	62.72	17.23	233.80
	H (μ A/m)	965.10	268.50	58.64	1231.90	587.10	829.50	1432.70	166.50	45.73	620.63
	S (μ W/m ²)	350.90	27.15	1.29	571.70	129.80	259.20	773.30	10.44	0.788	236.06
Ort.	E (mV/m)	347.75	77.73	23.70	481.09	182.93	307.12	467.73	216.32	18.11	235.83
	H (μ A/m)	880.05	205.98	62.99	1277.50	485.76	815.95	1105.96	190.07	48.12	563.59
	S (μ W/m ²)	323.89	17.13	1.62	616.66	89.95	251.81	498.18	14.71	0.99	201.66



Şekil 2. GSM900 MHz frekansında hesaplanan haftalık ortalama elektrik alan gücünün ölçüm konumlarına göre değişimi

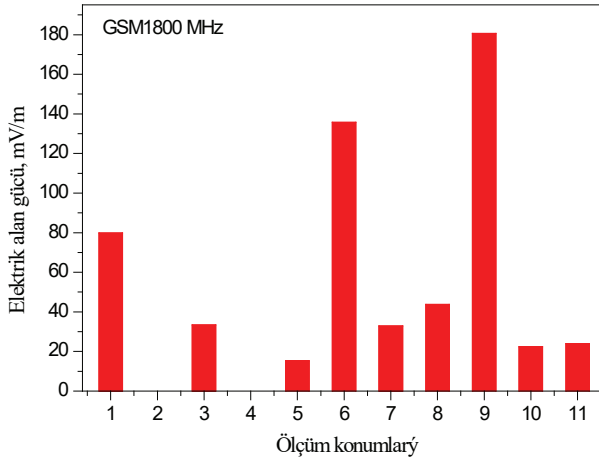


Şekil 3. GSM900 MHz frekansında hesaplanan haftalık ortalama manyetik alan gücünün ölçüm konumlarına göre değişimi

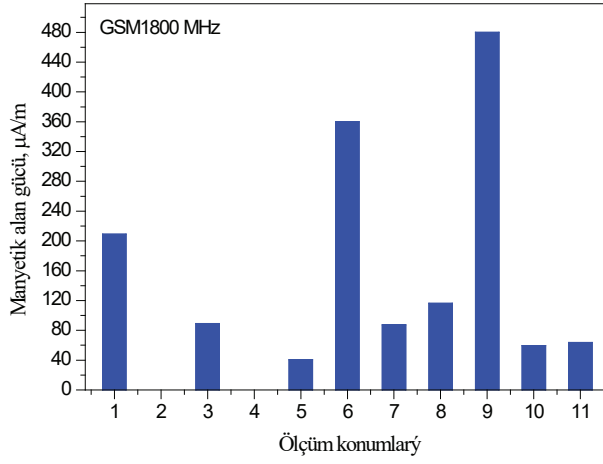


Şekil 4. GSM900 MHz frekansında hesaplanan haftalık ortalama eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun ölçüm konumlarına göre değişimi

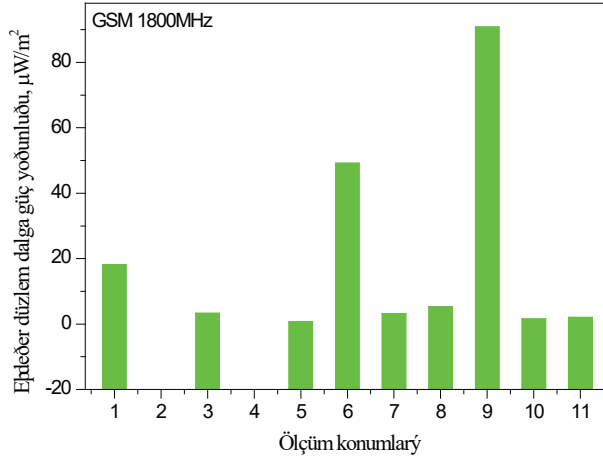
Günler		1.K	3.K	5.K	6.K	7.K	8.K	9.K	10.K	11.K	Ort.
13.05.24 Pazartesi	E (mV/m)	85.86	23.36	13.65	118.10	36.81	30.49	99.65	39.87	40.39	54.24
	H (μ A/m)	227.90	62.00	36.22	313.60	97.70	80.94	264.50	105.80	107.20	143.98
	S (μ W/m ²)	19.57	1.45	0.49	37.05	3.59	2.46	26.36	4.22	4.33	11.06
14.05.24 Salı	E (mV/m)	64.95	52.38	15.09	145.60	32.60	56.85	184.70	19.42	12.67	64.92
	H (μ A/m)	172.40	139.00	40.06	386.50	86.54	150.90	490.20	51.56	33.62	172.31
	S (μ W/m ²)	11.20	7.23	0.60	56.27	2.82	8.57	90.54	1.00	0.426	19.85
08.05.24 Çarşamba	E (mV/m)	49.57	40.99	17.19	128.49	26.68	36.56	212.75	13.37	13.93	59.95
	H (μ A/m)	130.00	109.58	45.06	340.43	70.80	97.95	568.41	36.42	36.96	159.51
	S (μ W/m ²)	6.447	4.505	0.76	43.25	1.971	3.534	119.45	0.515	0.518	20.11
09.05.24 Perşembe	E (mV/m)	95.47	31.86	19.09	147.01	31.14	41.64	185.80	26.08	17.04	66.13
	H (μ A/m)	235.41	84.54	50.68	390.31	82.65	110.51	493.32	69.24	45.24	173.54
	S (μ W/m ²)	24.20	2.69	0.96	57.38	2.57	4.60	91.67	1.81	0.77	20.74
10.05.24 Cuma	E (mV/m)	65.78	19.37	10.49	150.05	17.86	49.33	236.60	12.49	8.83	63.42
	H (μ A/m)	174.60	51.41	27.85	398.10	47.42	130.90	628.10	33.15	23.45	168.33
	S (μ W/m ²)	11.49	0.995	0.292	59.69	0.847	6.460	148.60	0.414	0.220	25.45
11.05.24 Cumartesi	E (mV/m)	76.65	24.63	18.51	137.00	56.08	52.16	156.20	29.67	47.26	66.46
	H (μ A/m)	203.50	65.39	49.13	363.60	148.90	138.50	414.50	78.75	125.50	176.42
	S (μ W/m ²)	15.60	1.610	0.909	49.81	8.349	7.22	64.73	2.336	5.929	17.39
12.05.24 Pazar	E (mV/m)	120.20	41.50	12.88	123.40	29.04	38.72	188.70	15.77	27.55	66.42
	H (μ A/m)	319.10	110.10	34.20	327.16	77.09	102.80	500.80	41.86	73.13	176.25
	S (μ W/m ²)	38.37	4.571	0.44	40.43	2.239	3.97	94.49	0.66	2.01	20.80
Ort.	E (mV/m)	79.78	33.44	15.27	135.66	32.89	43.68	180.63	22.38	23.95	63.08
	H (μ A/m)	208.99	88.86	40.46	359.96	87.30	116.07	479.96	59.54	63.60	167.20
	S (μ W/m ²)	18.13	3.29	0.64	49.13	3.20	5.26	90.83	1.57	2.03	19.34



Şekil 5. GSM1800 MHz frekansında hesaplanan haftalık ortalama elektrik alan gücünün ölçüm konumlarına göre değişimi

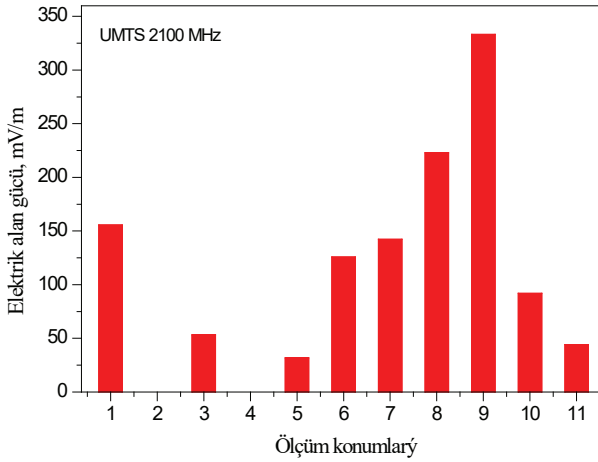


Şekil 6. GSM1800 MHz frekansında hesaplanan haftalık ortalama manyetik alan gücünün ölçüm konumlarına göre değişimi

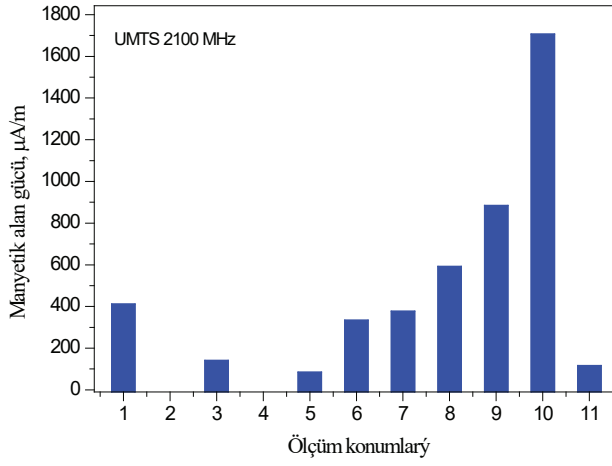


Şekil 7. GSM1800 MHz frekansında hesaplanan haftalık ortalama eşdeğer düzlem dalgı güç yoğunluğunun ölçüm konumlarına göre değişimi

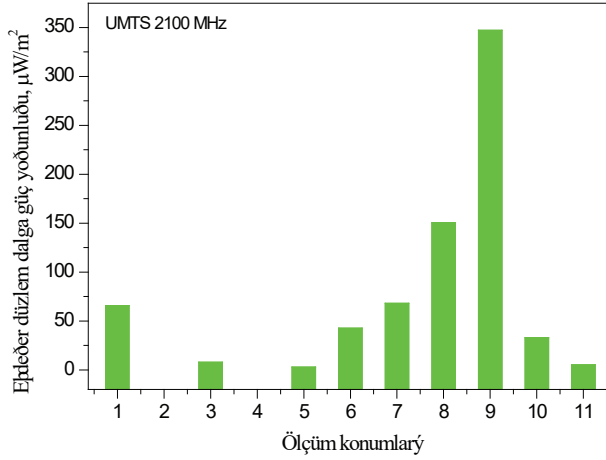
Günler	Birimler	1.K	3.K	5.K	6.K	7.K	8.K	9.K	10.K	11.K	Ort.
13.05.24 Pazartesi	E (mV/m)	140.20	54.98	32.98	104.70	182.40	250.60	182.60	79.79	47.70	119.55
	H (μ A/m)	372.20	146.00	87.53	277.80	484.10	665.20	484.80	211.80	124.90	317.15
	S (μ W/m ²)	52.19	8.02	2.89	29.08	88.29	166.70	88.55	16.90	5.88	50.94
14.05.24 Salı	E (mV/m)	182.90	72.10	24.34	144.20	119.10	239.00	409.00	68.21	42.55	144.60
	H (μ A/m)	485.40	191.40	65.17	382.90	316.20	634.50	1085.60	181.10	113.00	383.92
	S (μ W/m ²)	88.75	13.80	1.60	55.22	37.68	151.70	444.00	12.35	4.81	89.99
08.05.24 Çarşamba	E (mV/m)	143.83	62.57	39.86	113.51	39.26	39.26	218.32	104.31	44.25	89.46
	H (μ A/m)	383.26	165.63	105.82	302.11	104.30	104.30	583.07	276.05	117.50	238.00
	S (μ W/m ²)	55.07	10.16	4.155	34.45	4.115	4.115	127.28	28.71	5.197	30.36
09.05.24 Perşembe	E (mV/m)	127.70	42.18	34.93	130.00	38.49	334.31	171.20	67.95	33.11	108.87
	H (μ A/m)	325.60	112.00	92.73	345.10	102.20	887.55	454.40	180.41	87.89	287.54
	S (μ W/m ²)	39.95	4.72	3.24	44.86	3.93	296.78	77.78	12.26	2.90	54.05
10.05.24 Cuma	E (mV/m)	204.20	36.05	28.80	128.70	168.40	207.08	448.50	116.01	52.61	154.48
	H (μ A/m)	542.00	95.70	76.46	341.70	447.00	551.50	1190.50	308.05	139.60	410.28
	S (μ W/m ²)	110.70	3.45	2.202	43.98	75.27	114.60	534.00	35.74	7.34	103.03
11.05.24 Cumartesi	E (mV/m)	138.80	59.46	33.92	123.10	230.60	226.70	331.80	105.90	44.31	143.84
	H (μ A/m)	368.50	157.80	90.05	326.90	612.20	601.60	880.80	281.00	117.60	381.83
	S (μ W/m ²)	51.26	9.385	3.054	40.25	141.20	136.40	292.30	97.75	5.213	86.31
12.05.24 Pazar	E (mV/m)	151.50	44.93	26.69	136.20	216.70	262.90	570.90	100.90	44.32	172.78
	H (μ A/m)	402.10	119.30	70.86	361.50	575.30	697.80	1515.50	267.90	117.70	458.66
	S (μ W/m ²)	60.91	5.36	1.89	49.23	124.70	183.50	865.30	27.03	5.21	147.01
Ort.	E (mV/m)	155.59	53.18	31.65	125.77	142.14	222.84	333.19	91.87	44.12	133.37
	H (μ A/m)	411.29	141.12	84.09	334.00	377.33	591.78	884.95	1706.31	116.88	353.91
	S (μ W/m ²)	65.55	7.84	2.72	42.44	67.89	150.54	347.03	32.96	5.22	80.24



Şekil 8. UMTS 2100 MHz frekansında hesaplanan haftalık ortalama elektrik alan gücünün ölçüm konumlarına göre değişimi



Şekil 9. UMTS 2100 MHz frekansında hesaplanan haftalık ortalama manyetik alan gücünün ölçüm konumlarına göre değişimi



Şekil 10. UMTS 2100 MHz frekansında hesaplanan haftalık ortalama eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun ölçüm konumlarına göre değişimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırmamızda Aaronia Spectran HF-60105 V4 Spektrum Analizörü ile MCS yazılımı yüklü bir diz üstü bilgisayar kullanarak Giresun Üniversitesi Güre kampüs alanında elektromanyetik alan kirlilik düzeyini tespit belirleyebilmek için GSM900, GSM1800 ve UMTS 2100 MHz frekanslarında elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve en büyük eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu ölçümleri yapıldı. GSM900 MHz frekansında yapılan ölçümlerde haftalık ortalama elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri sırasıyla 235.83 mV/m, 563.59 μ A/m ve 201.66 μ W/m² olarak hesaplandı. GSM1800 MHz frekansında yapılan ölçümlerde haftalık ortalama elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri sırasıyla 63.08 mV/m, 167.20 μ A/m ve 19.34 μ W/m² olarak bulundu. UMTS 2100 MHz frekansında yapılan ölçümlerde haftalık ortalama elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu değerleri sırasıyla 133.37 mV/m, 353.91 μ A/m ve 80.24 μ W/m² olarak hesaplandı. GSM900, GSM1800 ve UMTS 2100 MHz frekanslarında yapılan ölçümlerin haftalık ortalama değerleri Tablo 2-4'ten en büyük değerlerin GSM900 MHz frekansı için ölçüldüğü ve tespit edildi. Ancak ölçümlerin ve haftalık olarak hesaplanan ortalama E, H ve S değerlerinin hiçbirisi BTK ve ICNIRP tarafından tanımlanan sınır değerlerinden büyük değildir. BTK ve ICNIRP tarafından GSM900, GSM1800 ve UMTS 2100 MHz frekansları için tanımlanan sınır değerler aşağıdaki gibidir: GSM900 MHz frekansında E için 41.25 V/m, H için 0.111 A/m ve S için 4.5 W/m²; GSM1800 MHz frekansında E için 58.34V/m, H için 0.157A/m ve S için 9.0 W/m² ve UMTS 2100 MHz frekansında E için 63.00 V/m, 0.170 A/m ve 10.5 W/m² olarak tanımlanmıştır.

Ek olarak, GSM900, GSM1800 ve UMTS 2100 MHz frekanslarında yapılan ölçümlerin haftalık ortalama değerlerine göre radyasyon doz indeksi (RDI) değerleri hesaplandı ve sırasıyla 44.81×10^{-6} , 2.15×10^{-6} ve 7.64×10^{-6} olarak bulundu. Tüm frekanslar için hesaplanan RDI değerleri birden çok küçük ($RDI < 1$) olduğu için Giresun Üniversitesi Güre kampüs alanında ölçülen elektromanyetik alan kirlilik düzeyinin insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerinin olmadığı söylenebilir. Ancak unutulmamalıdır ki radyasyona maruz kalmada radyasyon şiddetinin yanında maruz kalma süresi de çok önemlidir. Bu nedenle maruz kalınan radyasyon değerleri ulusal ve uluslararası kurumlar tarafından tanımlanan sınır değerlerinin altında olsa bile mümkün olduğu kadar radyasyon maruziyetinden kaçınılmalı ya da en az düzeyde tutulmaya çalışılmalıdır.

Cep telefonu kullanıcılarının sayısındaki artışla birlikte cep telefonu kullanıcı yaşının ilkökul düzeyine hızla inmesi nedeniyle, RF kökenli

radyasyon maruziyetinin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin derinlemesine araştırılmalı ve bu konu ile ilgili toplumda farkındalık oluşturulması için çalışmalar yapılmalıdır. Cep telefonu ile konuşurken dikkat edilmesi gereken ya da başlıkları kısaca şöyle sıralayabiliriz:

- ❖ Cep telefonu ile konuşurken sinyal gücünün yüksek olduğu alanlar tercih edilmeli ve konuşmalar mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır.
- ❖ Hareket halindeki araçlar içinde mümkünse cep telefonu ile konuşulmamalı onun yerine mesaj kullanılmalıdır.
- ❖ Konuşmalarda kablolu kulaklıklar tercih edilmelidir.
- ❖ Telefonu vücudumuzdan özellikle kalp, böbrek ve baş gibi elektromanyetik alan radyasyonlarından daha fazla etkilenebilecek organların bulunduğu alanlarda taşınmamalıdır. Bunun yerine elimizde ya da şayet mümkünse bir el çantasının içinde taşınmalıdır.
- ❖ Gece yatarken cep telefonunu başımızdan mümkün olduğu kadar uzağa konulmalıdır.
- ❖ Gece yatarken wifi kapatılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ahlbom A., Green A., Kheifets L., Savitz D. and Swerdlow A., (2004). Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure, Environ Health Perspect (USA), 112 (17), p. 1741-1754.
- Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumundan (BTK), (2011). Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik, Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, 21 Nisan 2011 perşembe Resmî Gazete Sayı:27912.
- Cevizli E., (2009). GSM iletişimde RF radyasyon etkileri. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, p.67.
- Chia S.E., Chia H.P. and Tan J.S., (2000). Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: A community study, Environ Health Perspect (USA), 108 (11), p.1059-1062.
- Divan H.A., Kheifets L., Obel C., Olsen J., (2010). Cell phone use and behavioural problems in young children. J Epidemiol Community Health. doi:10.1136/jech.2010.115402.
- Hardell., Carlberg M., Mild K.H., (2009). Epidemiological evidence for an association between use of wireless phones and tumor diseases, Pathophysiology 16 (2-3), 113-22.
- ICNIRP, (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Phys 74, 494-552.
- IEEE C95.1-(1999), Safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields: 3 kHz to 300 GHz, IEEE standard, 1999.
- Kwon M.K., Choi J.Y., Kim S.K., Yoo T.K. and Kim D.W., (2012). Effects of radiation emitted by WCDMA mobile phones on electromagnetic hypersensitive subjects, Environmental Health 11, 69-77.
- Lonn, S, Ahlhom, A, Hall, P. Feyehting, M and the Swedish interphone study-group, (2005). Long-term mobile phone use and brain tumor risk. Am J Epidemiol 161, 526-535.

- Martinez-Gonzalez A.M., Fernandez-Pascual A., de los Reyes E., Van Loock W., Gabriel C. and Sanchez-Hernandez D., (2002). Practical procedure for verification of compliance of digital mobile radio base stations to limitations of exposure of the general public to electromagnetic fields, IEE Proc Microw, Antennas Propag (UK), 149, p. 218-228.
- Moulder JE., Erdreich L.S., Malyapa R.S., Merritt J., Pickard, W.F. and Vijayalaxmi, (1999). Cell phones and Cancer. What is the evidence for a connection? Radiat Res 151, 513-531.
- Oftedal G., Wilen G., Sandstrom M and Mild K.H., (2000). Symptoms experienced in connection with mobile phone use, Occup Med (UK), 50 (4), p.237-245.
- Oulasvirta A., Rattenbury T., Lingyi M., and Raita E., (2011). Habits make smartphone use more pervasive, Pers Ubiquit Comput, Doi:10.1007/s00779-011-0412-2.
- Pachua L., Sailo L., Pachua Z., Lalngneia P.C., (2014). RF radiation from mobile phone towers and their effects on human body, Indian Journal of Radio & Space Physics 43, p.186-189.
- Rezk, A.Y., Abdulqawi K., Mustafa R.M., Abo El-AzmT.M., Al-Inany H., (2008). Fetal and neonatal responses following maternal exposure to mobile phones. Saudi Med Journal 29(2), 218-23.
- Schuz, J., Bohler, E. Berg, G, et al., (2006). Cellular phones, cordless phones, and risks of glioma and meningioma (Interphone study group. Germany). Am J Epidemiol 163,512-520.
- Usman, A.D., Wan Ahmad W.F., Ab Kadir M.Z.A. and Mokhtar M., (2009). Wireless Phones Electromagnetic Field Radiation Exposure Assessment,merican J. of Engineering and Applied Sciences 2 (4): 771-774.
- Viel J.F., Clerc S., Barrera C., Rymzhanova R., Moissonnier M., Hours M. and Cardis E., (2009). Residential exposure to radio frequency fields from mobile phone base stations, and broadcast transmitters: A population-based survey with personal meter, Occup Environ Med (UK), 66, p. 550-556.
- Yu Y., Yao K., (2010). Non-thermal cellular effects of low power microwave radiation on the lens and lens epithelial cells. J Int Med Res. 38(3), 729-36.

Wargo J., Taylor H.S., Alderman N., Wargo L., Bradley J.M., Addiss S., (2012). Environment and Human Health, INC., 1191 Ridge Road, North Haven, CT 06473.

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

Web 1: www.ieee.org

Bölüm 2

ÇEVRE DOSTU POLİMER ADSORBANLA BOYAR MADDE ARITIMI: ACİD VİOLET 90'IN ADSORPSİYON DAVRANIŞI

İlknur ALKAC¹, Petek BALCI², Ali KARA³

¹ Bursa Uludağ University Faculty of Arts and Science Chemistry Department Bursa, Türkiye ORCID ID: 0009-0003-6449-1427 ilknuralkacc@gmail.com

² MSc., Bursa Uludağ University Institute of Science and Technology Polymer Materials Department, Bursa, Türkiye ORCID ID: 0009-0009-0981-1647 petekbalci@outlook.com

³ Prof. Dr., Bursa Uludağ University Institute of Science and Technology Polymer Materials Department, Bursa, Türkiye ORCID ID: 0000-0003-2457-6314 akara@uludag.edu.tr

GİRİŞ

Tekstil Atık Suları ve Kirlilik Boyutu

Tekstil sektörü, su kaynakları üzerinde en fazla baskı oluşturan sanayi kollarından biridir. Özellikle boyama, yıkama, terbiye ve apre gibi işlemler sırasında büyük miktarda su kullanılır. Yapılan araştırmalarda, 1 ton tekstil ürünü üretimi için ortalama 200-400 m³ su tüketildiği, bu suyun %80'inden fazlasının işlem sonrası atık olarak sisteme geri döndüğü bildirilmiştir (Mosbah vd., 2023). Bu miktarlar, büyük ölçekte düşünüldüğünde ciddi bir su tüketimini ve beraberinde de yüksek hacimli atık su üretimini ifade eder.

Tekstil kaynaklı atık sular yalnızca yüksek hacimli olmakla kalmaz; aynı zamanda kimyasal çeşitlilik açısından da oldukça zengindir. Üretim süreçlerinde kullanılan maddeler arasında yüzey aktifler, deterjanlar, sabunlar, alkali maddeler, kompleks ajanlar, metal tuzları, oksitleyiciler ve solventler gibi farklı kimyasal gruplar yer alır (Abd El-Ghany vd., 2023). Bu atıklar doğrudan çevreye verildiğinde, yalnızca su kalitesini değil, toprağın yapısını ve yer altı su rezervlerini de olumsuz etkiler. Ayrıca tekstil atıklarının içerdiği bazı maddeler, insan ve canlı sağlığı üzerinde toksik etkiler gösterebilir.

Tekstil endüstrisinin neden olduğu atık su sorunu, yalnızca miktar açısından değil, bu suların içerdiği inatçı kirleticilerin arıtılmasının zorluğu nedeniyle de kritik öneme sahiptir. Özellikle modern tekstil proseslerinde kullanılan bazı kimyasallar, biyolojik olarak parçalanamaz niteliktedir ve geleneksel arıtma sistemlerine direnç gösterir. Bu durum, bu suların biyolojik arıtma yöntemleriyle yeterince arıtılamamasına ve çevrede uzun süre kalıcı hale gelmesine yol açar. Ayrıca prosesler arasında kullanılan kimyasal maddelerin çeşitlenmesi, atık su bileşimini karmaşıktırmakta ve standart bir arıtım yaklaşımının uygulanmasını güçleştirmektedir.

Tekstil Boyaları ve Çevresel Etkileri



Şekil 1. Tekstil boyaları (Tekstil Sayfas, 2021)

Tekstil sektörü, dünya genelinde önemli bir ekonomik faaliyet alanı olmasının yanı sıra, su kaynakları üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır. Boyama, yıkama, terbiye ve apre gibi "ıslak işlemler" olarak bilinen aşamalarda yoğun su kullanımı söz konusudur. Yapılan çalışmalara göre, bir ton tekstil ürünü üretimi için 200 ila 400 m³ arasında su tüketilmekte, bu suyun büyük bölümü işlem sonrasında yüksek oranda kirlenmiş olarak atık haline gelmektedir (Mosbah vd., 2023).

Bu atık suların içeriği sadece boyar maddelerle sınırlı kalmaz; tekstil prosesleri sırasında kullanılan birçok kimyasal madde – örneğin sabunlar, yüzey aktifler, metal iyonları, solventler, sabitleyiciler, tuzlar ve pH düzenleyiciler – doğrudan bu atık sulara karışır. Bu kimyasal içerik, su kalitesini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda toprak yapısını, yer altı su kaynaklarını ve tarımsal üretkenliği de olumsuz yönde etkiler (Abd El-Ghany vd., 2023).

Fiziksel-kimyasal özellikleri açısından değerlendirildiğinde, tekstil atık suları genellikle alkali pH, yüksek sıcaklık, yüksek askıda katı madde (TSS), yüksek çözünmüş tuz (TDS), yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı ve biyolojik oksijen ihtiyacı gibi değerlere sahiptir (Ali, 2013). Bu parametreler, özellikle doğal su kaynaklarıyla birleştiğinde, sucul canlılar için yaşanması zor ortamlar oluşturmakta ve ekosistemlerin bozulmasına neden olmaktadır.

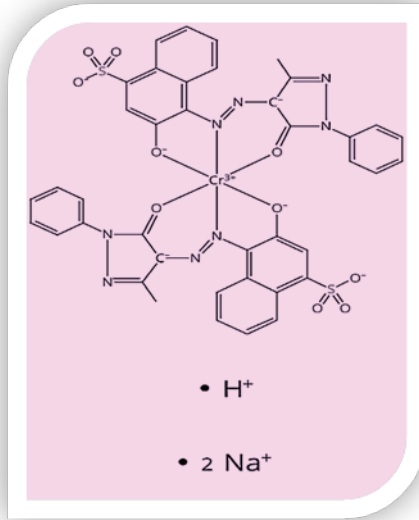
Tekstil endüstrisinin atık sularında en önemli kirletici grubu ise boyar maddelerdir. Üretim sırasında kullanılan boyaların %10 ila 15'i atık suya karışmakta ve bu da yılda 100 tonun üzerinde boyar maddenin doğaya salınmasına neden olmaktadır (Wen vd., 2024). Bu boyalar genellikle stabil, suda çözünür, ışığa ve kimyasal bozunmaya dayanıklı yapılarıyla dikkat çeker. Bu nedenle uzun süre doğada kalıcıdır ve geleneksel arıtma yöntemlerine karşı dirençlidirler (Mosbah vd., 2023).

Boyar maddeler çevreye salındıklarında sadece suyun görünümünü bozmaz, aynı zamanda ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentezi engeller, suda oksijen azalmasına neden olur ve bazı türler için toksik etki gösterebilir. Özellikle bazı boya grupları aromatik halkalar, azo grupları veya metal kompleksleri içerdiğinden, doğrudan mutajenik veya karsinojenik etki gösterebilir (Sarkar et al., 2017; Chakraborty vd., 2020).

Boyar maddelerin çevresel etkileri yalnızca sucul sistemlerle sınırlı değildir; aynı zamanda hava ve toprak kalitesini de dolaylı yollardan etkileyebilir. Özellikle atık suların arıtılmadan doğaya bırakılması durumunda, bu boyar maddeler toprakta birikerek tarım ürünleri aracılığıyla besin zincirine katılabilir. Bu durum, ekotoksikolojik riskleri artırmakta ve uzun vadede hem insan sağlığını hem de ekosistem dengesini tehdit et-

mektedir. Ayrıca bazı boyar maddeler, ultraviyole ışıkla temas ettiklerinde toksik türev bileşiklere dönüşebilir, bu da çevresel etkilerinin yalnızca başlangıçtaki bileşiklerle sınırlı kalmadığını göstermektedir.

Boyar maddeler sınıflandırılırken genel olarak reaktif, asidik, bazik, disperse, sülfür ve direkt boyalar olarak gruplandırılırlar. Bu sınıflandırma; elyaf türüne, bağlanma şekline ve kullanım alanına göre yapılır. Asidik boyalar, özellikle yün, ipek ve naylon gibi protein esaslı tekstil materyallerinde tercih edilmektedir. Bu boyalar suda kolay çözündüklerinden dolayı atık sulara karışma oranları oldukça yüksektir (Ali, 2013).



Şekil 2. Acid Violet 90 (AV90)

Bu çalışma kapsamında incelenen boyar madde ise Acid Violet 90 (AV90)'dır. AV90, asidik yapıda, suda çözünür ve anyonik karakterde bir metal kompleks boyar madde olup, özellikle protein bazlı tekstil liflerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Wen vd., 2024). Bu boyar madde, tekstil proseslerinde kullanım kolaylığı sağlarken, aynı zamanda çevreye karışma ve kalıcı kirlilik oluşturma potansiyeline de sahiptir.

Kimyasal yapısı açısından AV90, aromatik halkalar, azo grupları ve kompleksleşmiş metal iyonları içerebilir. Bu özellikleri nedeniyle biyolojik olarak parçalanmaya karşı oldukça dirençlidir ve doğal arıtım süreçlerinden kaçabilir. Literatürde, AV90'ın DNA ve RNA yapılarıyla et-

kileşime girdiği, mutajenik ve sitotoksik etkiler oluşturabileceği ve uzun vadede biyobirikim yapabileceği ifade edilmiştir (Kumar vd., 2012; Okur & Taşkıntuna, 2024).

Ayrıca yapılan çalışmalarda, AV90'ın giderimi için uygulanan klasik yöntemlerin (biyolojik ya da kimyasal) yeterli olmadığı, bu nedenle daha etkin çözümler gerektirdiği vurgulanmaktadır. Örneğin, chitosan ve nanokil içeren bir adsorban ile yapılan çalışmada, AV90'ın en iyi pH 2 koşulunda 91.74 mg/g adsorpsiyon kapasitesi ile uzaklaştırıldığı belirlenmiştir (Okur & Taşkıntuna, 2024).

Sonuç olarak, Acid Violet 90 tekstil sektöründe sık kullanılan bir boyar madde olmasına rağmen, hem çevresel kalıcılığı hem de toksik etkileri nedeniyle dikkatle arıtılması gereken bir kirleticidir. Bu nedenle, çevre dostu, düşük maliyetli ve etkili yöntemlerle bu tür maddelerin sudan uzaklaştırılması büyük önem taşımaktadır.

1.3 Adsorpsiyon Yöntemi ve Avantajları



Şekil 3. *Tekstilde boyama prosesi ve atıksu oluşumu (Erol, 2024).*

Son yıllarda su kirliliğinin artmasıyla birlikte, boyar madde içeren atık suların arıtımında adsorpsiyon yöntemi ön plana çıkmıştır. Adsorpsiyon, çözeltideki kirleticilerin katı bir yüzey tarafından tutulması esasına dayanır ve diğer yöntemlere kıyasla daha çevreci ve ekonomik bir çözümdür. Özellikle düşük maliyetli oluşu, kolay uygulanabilirliği, enerji gereksiniminin az olması ve işlem sonrası ikinci bir atık üretmemesi, bu yöntemi çevre dostu bir arıtma seçeneği haline getirmektedir.

Yapılan birçok çalışmada, doğal veya tarımsal atıkların (örneğin mısır koçanı, pirinç kabuğu, hindistancevizi kabuğu, fındık kabuğu) aktif hale getirilerek adsorban olarak kullanılabileceği ve yüksek verimle boyar madde giderimi sağlandığı bildirilmiştir (Mosbah vd., 2023; Fang vd., 2022). Ayrıca bu malzemeler biyobozunur olmaları sayesinde çevrede bi-

rikme yapmaz ve geri dönüştürülebilir yapıdadır.

Adsorpsiyon verimini etkileyen birçok parametre vardır. Bunlar arasında çözeltinin pH değeri, sıcaklık, adsorban miktarı, karıştırma süresi ve başlangıç derişimi gibi faktörler yer alır. Özellikle pH, adsorban ve boyar madde arasındaki elektrostatik etkileşimleri doğrudan etkileyerek, adsorpsiyon kapasitesinde büyük farklılıklara neden olabilir. Çalışmalarda, anyonik boyar maddelerin genellikle düşük pH koşullarında daha iyi adsorplandığı gösterilmiştir (Chowdhury vd., 2011; Ibrahim vd., 2010).

Bu çalışmada kullanılan adsorban, yaklaşık 300 µm boyutunda, çapraz bağlı bir kopolimer olan [poli(etilen glikol dimetakrilat-co-vinil piroldon)] yapısına sahiptir. Bu polimer, hidrofilik karakteri sayesinde sulu ortamda şişebilen ve boyar maddeleri yüzeyinde tutabilen bir hidrojel olarak işlev görmektedir. Yapısındaki peg birimi polimere esneklik ve su tutma kapasitesi kazandırırken, vinil piroldon kısmı hidrojen bağı oluşturabilen fonksiyonel gruplar içererek adsorpsiyon kapasitesini artırmaktadır (Hu vd., 2024).

Asidik pH koşullarında, bu polimer yüzeyi protonlanarak pozitif yük kazanır ve çözeltideki Acid Violet 90 gibi anyonik boyar maddelerle elektrostatik etkileşim kurarak verimli bir şekilde adsorpsiyon sağlar. Literatürde, [p(eg-co-vpdon)] tabanlı hidrojel sistemlerin yüksek şişme kapasitesi ve yüzey fonksiyonelliği sayesinde boyar madde gideriminde etkili olduğu bildirilmektedir (Hu vd., 2024; Liang, Liu, & Gong, 2000). Ayrıca bu polimerler, mekanik dayanıklılıkları sayesinde işlem sonrası yapısal bütünlüklerini koruyabilir ve tekrar kullanılabilir niteliktedir.

[p(eg-co-vpdon)] adsorbanları, yalnızca boyar madde tutma kapasitesi ile değil, aynı zamanda toksik olmamaları, kolay sentezlenmeleri ve çevre dostu yapıları sayesinde de avantaj sağlamaktadır. Yüksek şişme oranları, üç boyutlu ağ yapısı ve fonksiyonel grupların varlığı, polimerin boyar maddelerle çoklu etkileşim kurmasına imkân tanımaktadır. Bu özellikleriyle [p(eg-co-vpdon)] polimeri, Acid Violet 90 gibi çevresel açıdan zararlı boyar maddelerin gideriminde etkili bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Hu vd., 2024).

[p(eg-co-vpdon)] polimerlerinin en dikkat çekici özelliklerinden biri de farklı uygulama koşullarına uyum sağlayabilmesidir. Hidrojel yapı, çözeltideki sıcaklık ve iyon konsantrasyonu gibi çevresel faktörlere duyarlı davranarak şişme derecesini ayarlayabilir. Bu durum, adsorpsiyon sırasında hedef kirleticilerle daha kontrollü ve etkili temas imkânı yaratır. Ayrıca literatürde, bu tür polimerlerin geniş pH aralıklarında stabil kalabildiği ve fiziksel yapılarının bozulmadan korunabildiği bildirilmektedir (Hu vd., 2024). Bu da onları tekstil endüstrisi gibi değişken atık ya-

pısına sahip sistemlerde kullanıma uygun hale getirir.

Bununla birlikte [p(eg-co-vpdon)] temelli adsorbanlar, işlemler sonrası kolaylıkla filtrelenebilir veya çözelti ortamından ayrılabilir özelliktedir. Bu, arıtma sistemlerinin operasyonel verimliliğini artırmakta ve işlem sonrası atık yönetimini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca yeniden kullanılabilir olmaları, bu tür adsorbanların maliyet etkinliğini önemli ölçüde yükseltmektedir. Sonuç olarak, bu polimer sistemleri sadece laboratuvar ölçekli değil, aynı zamanda endüstriyel uygulamalara uygun, sürdürülebilir ve etkili bir boyar madde giderim teknolojisi olarak değerlendirilmektedir (Liang vd., 2000; Hu vd., 2024).

Bu bağlamda, çalışmada kullanılan [p(eg-co-vpdon)] polimeri, hidrojel yapısı, yüksek şişme kapasitesi ve fonksiyonel grup içeriği sayesinde, Acid Violet 90 gibi çevresel açıdan zararlı boyar maddelerin ekonomik, çevreci ve sürdürülebilir bir yöntemle sudan uzaklaştırılmasını mümkün kılmaktadır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Deneysel Çalışmalar

pH Çalışması

Bu deneyde Acid-Violet 90 boyar maddesi kullanılarak stok çözelti hazırlanmıştır.



Şekil 4. *Acid-Violet 90 boyar maddesi*

pH'ı 2, 4, 6, 8 ve 10 olan tampon çözeltileri, distile suya belirli miktarlarda hidroklorik asit (HCl) ve sodyum hidroksit (NaOH) eklenerek

hazırlanmıştır. 0,25 g Acid Violet 90 boyar maddesi (Şekil 4) hassas terazide tartılarak uygun hacimde distile suda çözündürülmüş ve pH 2, 4 ve 6 koşulları için 500 ppm derişiminde ana stok çözelti elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Stok çözelti hazırlama aşaması

Ana stok çözelti kullanılarak; 250 mL'lik balon jojelerde 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, 25 ppm, olarak seyreltme işlemi yapılarak farklı konsantrasyonlardaki Acid-Violet 90 boyar madde çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti absorban değerleri UV-VIS spektrofotometresi ile 526 nm'de ölçülerek kalibrasyon (konsantrasyon-absorban) grafikleri çizilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Acid-Violet 90 boyar madde çözelti hazırlanması

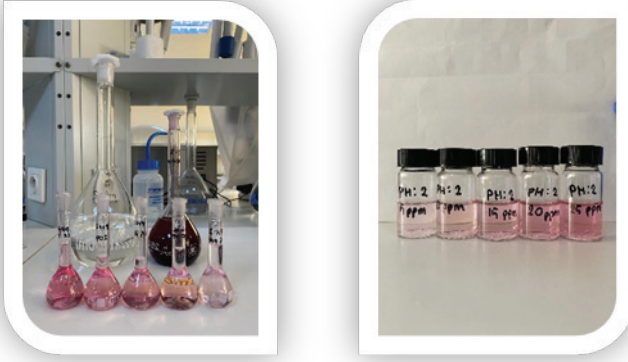
0,01g 300 μm -[poli(etilen glikol dimetakrilat-co-vinil pirolidon)] polimeri tartılarak 20 ml viallere aktarılmıştır. Her bir polimer örneklerinin üzerine 20 ppm'lik pH 2, 4 ve 6 Acid-Violet 90 boyar madde çözeltilerinden 10 ml eklenerek 298.15 K (25 °C, 77 °F) sıcaklıkta ve karanlık ortamda 24 saat bekletilmiştir. Bekletilen çözeltiler UV-VIS spektroskopisi kullanılarak 526 nm'de ölçüm alınmıştır. pH 2, 4 ve 6 için kalibrasyon grafikleri çizilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. 300 μm -[p(eg-co-vpdon)] polimerinin farklı pH'lardaki UV- VIS absorpsiyonu

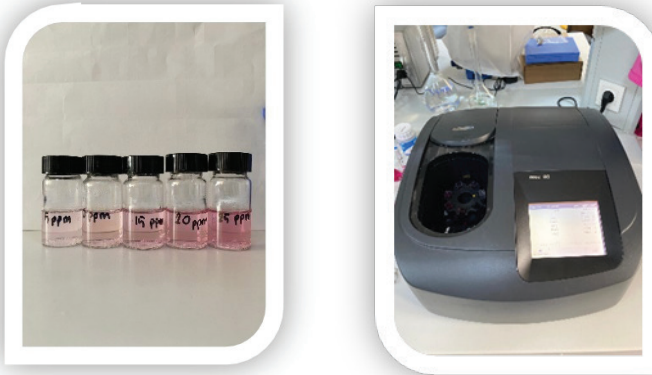
2.1.2 Konsantrasyon Çalışması

Konsantrasyon çalışması, pH 4 koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, 500 ppm'lik stok çözeltilerden yararlanılarak 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm ve 25 ppm olacak şekilde farklı konsantrasyonlarda Acid Violet 90 boyar madde çözeltileri hazırlanmıştır. Her bir çözeltilerden 10 mL alınarak içerisinde 0,01 g 300 μm -[p(eg-co-vpdon)] polimeri bulunan 20 mL'lik viallere aktarılmıştır. Bu işlem sonucunda, toplamda 5 adet vial hazırlanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. pH 2 koşullarında, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltiler

DeneySEL işlemler, 298.15 K (25°C) sıcaklıkta ve karanlık bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Çözeltiler, bu koşullar altında 24 saat boyunca bekletilmiştir. Bekleme süresinin ardından çözeltilerin Acid-Violet 90 boyar madde içeriklerini belirlemek amacıyla UV-Vis absorpsiyon spektroskopisi kullanılmıştır. Ölçümler, Acid-Violet 90 boyar maddesinin maksimum absorbans gösterdiği dalga boyu olan 526 nm’de alınmıştır. Elde edilen absorbans değerleri kullanılarak, pH 4 koşulunda hazırlanan kalibrasyon grafiği oluşturulmuş ve konsantrasyonların doğru bir şekilde belirlenmesi sağlanmıştır (Şekil 9).

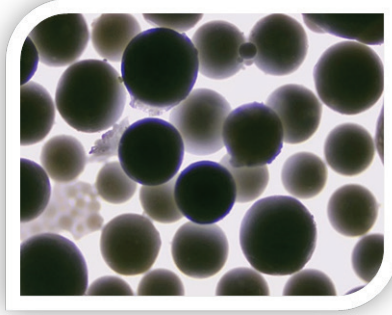


Şekil 9. 24 saat bekletilen çözeltilerin UV-Vis absorpsiyon spektroskopisi ile ölçümleri

Deneyisel Bulgular

300 μm -[p(eg-co-vpdon)] Polimerinin Mikroskop Görüntüleri

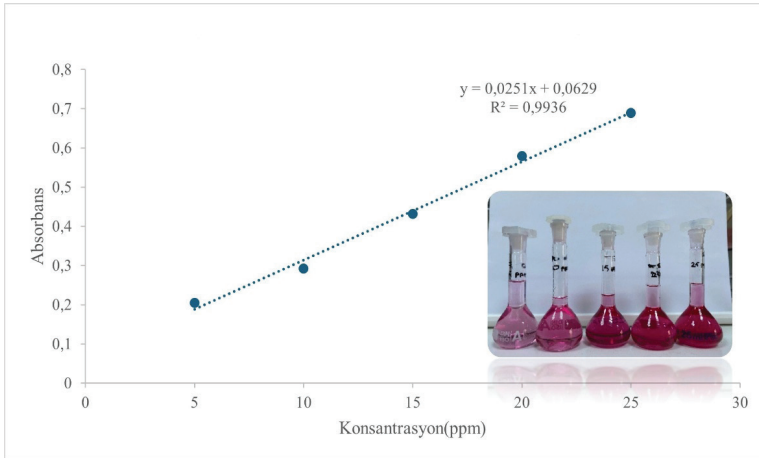
300 μm boyutundaki [p(eg-co-vpdon)] polimerinin mikroskop görüntüleri 400x ve 500x büyütme oranlarında elde edilmiştir (Şekil 10).



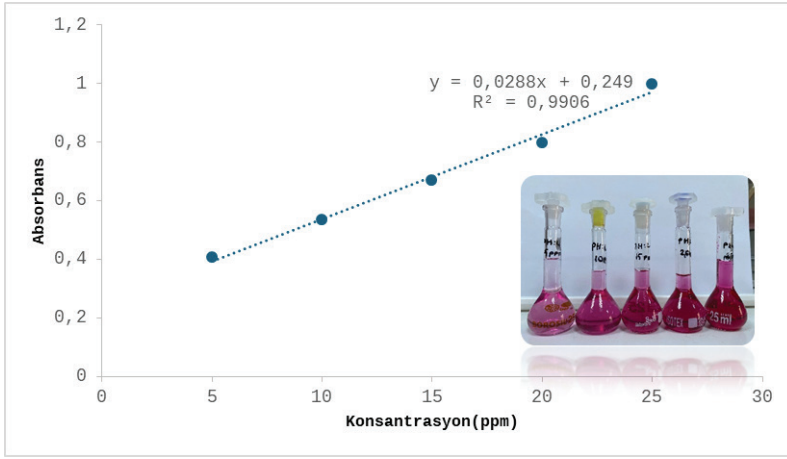
Şekil 10. 300 μm -[p(eg-co-vpdon)] polimerinin 400x büyütülmüş mikroskop görüntüsü

pH Çalışması

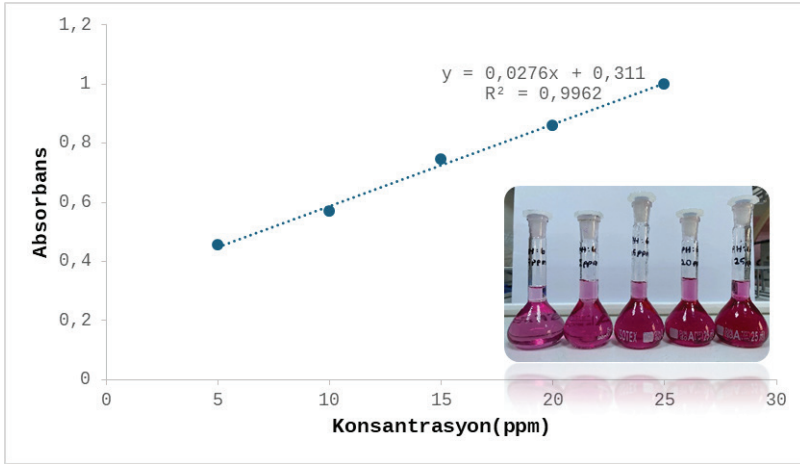
Deneyisel çalışmalar sonucunda pH 2, 4 ve 6 koşullarında elde edilen veriler kullanılarak çizilen Konsantrasyon-Absorbans grafiklerine Şekil 11, 12 ve 13'te yer verilmiştir.



Şekil 11. pH 2 Konsantrasyon-Absorbans Grafiği



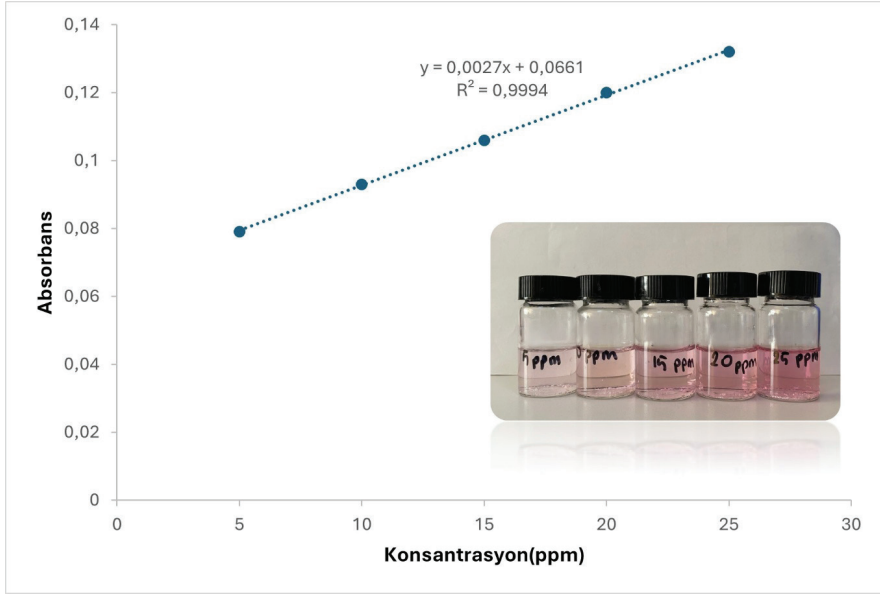
Şekil 12. pH 4 Konsantrasyon-Absorbans Grafiği



Şekil 13. pH 6 Konsantrasyon-Absorbans Grafiği

Konsantrasyon Çalışması

Deneysel çalışmalar sonucunda pH 4 koşullarında gerçekleştirilen konsantrasyon çalışması için konsantrasyon-absorbans grafiği Şekil 14'de yer verilmiştir.



Şekil 14. pH 4 koşullarında gerçekleştirilen konsantrasyon-absorbans grafiği

3. SONUÇ

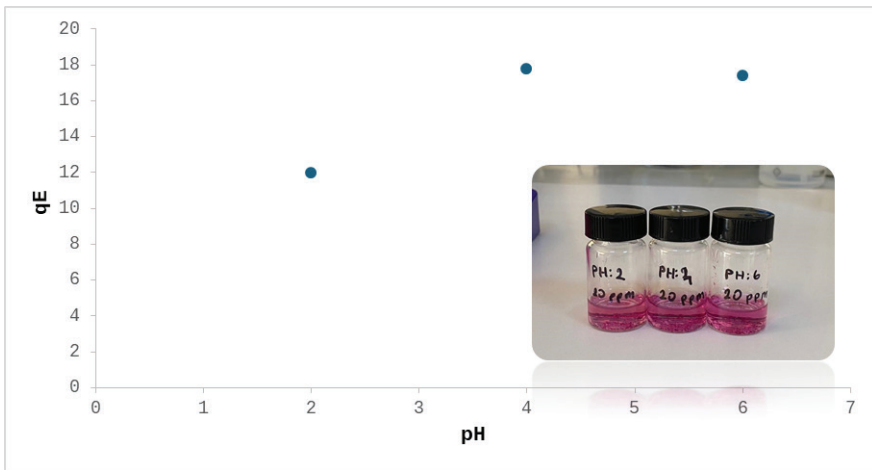
Bu çalışma kapsamında, tekstil atık sularında yaygın olarak bulunan ve çevresel açıdan önemli bir kirletici olan Acid Violet 90 (AV90) boyar maddesinin sudan uzaklaştırılması amacıyla, 300 µm boyutundaki [p(eg-co-vpdon)] kopolimeri adsorban olarak kullanılmıştır.

Adsorpsiyon işlemi, farklı pH değerleri ve başlangıç konsantrasyonları altında incelenmiş; elde edilen deneysel bulgular doğrultusunda polimerin boyar madde giderimindeki etkinliği değerlendirilmiştir. Adsorpsiyon verimliliğinin çözeltinin pH'ına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. 20 ppm AV90 derişiminde gerçekleştirilen çalışmalarda, en yüksek adsorpsiyon kapasitesi pH 4 koşullarında elde edilmiş ve 0,01 g adsorban başına 17,743 mg/g olarak hesaplanmıştır. Bu durum, pH 4'te adsorban yüzeyinin optimum düzeyde protonlanarak pozitif yük taşıması ve AV90'ın anyonik karakteriyle güçlü elektrostatik etkileşimler kurmasıyla açıklanabilir. pH 2 ve pH 6 koşullarında hesaplanan adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 11,988 mg/g ve 17,391 mg/g olup, pH 4'e göre daha düşüktür. Bu sonuçlar, adsorpsiyonun yalnızca yüzey yükünden değil, aynı zamanda adsorbanın şişme davranışı ve fonksiyonel grup etkileşimlerinden de etkilendiğini göstermektedir. Dolayısıyla, maksimum adsorpsiyon kapasitesi pH 4 koşullarında elde edilmiş olsa da, düşük pH'ların da adsorpsiyon açısından avantajlı olabileceği, ancak sistemin tüm etkileşimleri göz

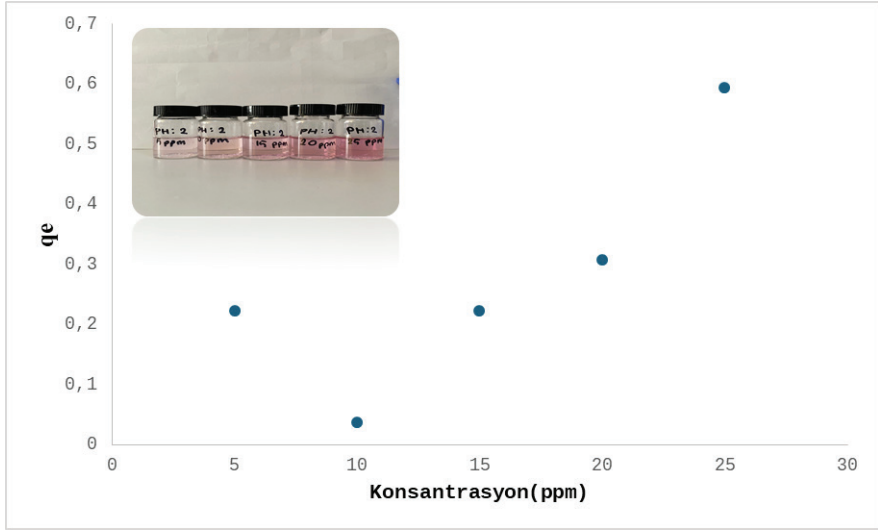
önünde bulundurulurken değerlendirme yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Literatürde de benzer şekilde, anyonik boyar maddelerin genellikle düşük pH koşullarında daha etkin şekilde adsorplandığı belirtilmektedir (Chowdhury vd., 2011; Ibrahim vd., 2010). Bu çalışmadaki bulgular da bu eğilimle genel olarak örtüşmektedir.

Konsantrasyon çalışmaları pH 4 sabit tutularak gerçekleştirilmiş ve 5–25 ppm aralığında incelenmiştir. Elde edilen veriler, başlangıç konsantrasyonunun artışı ile adsorpsiyon kapasitesinde de artış olduğunu, ancak bu artışın doğrusal olmadığını göstermiştir. En yüksek başlangıç derişimi olan 25 ppm’de adsorpsiyon kapasitesi 0,593 mg/g olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte, adsorpsiyon miktarındaki artışın özellikle 10 ppm’den sonra yavaşlaması, adsorban yüzeyindeki aktif bölgelerin doygunluğa ulaştığını düşündürmektedir. Bu davranış, Langmuir tipi tek tabakalı adsorpsiyon mekanizmasına işaret etmektedir; çünkü bu model, sabit sayıdaki homojen yüzey bölgelerinde gerçekleşen sınırlı adsorpsiyon kapasitesi varsayımına dayanır. Bu nedenle, elde edilen sonuçlar ileri düzey izoterm analizleri için temel oluşturacak niteliktedir.

Sonuç olarak, 300 μm -[p(eg-co-vpdon)] kopolimeri, özellikle düşük pH koşullarında ve düşük–orta derişim aralıklarında yüksek adsorpsiyon kapasitesi göstermiştir. Bu özellikleri ile AV90 gibi anyonik boyar maddelerin gideriminde çevre dostu, ekonomik ve etkili bir adsorban alternatifi sunmaktadır. Elde edilen bulgular, polimer temelli adsorbanların atık su arıtımında sürdürülebilir uygulamalara katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.



Şekil 15. pH - qe grafiği



Şekil 16. Konsantrasyon- q_e Grafiği

Kaynakça

1. Abd El-Ghany, N. A., Elella, M. H. A., Abdallah, H. M., Mostafa, M. S., & Samy, M. (2023). Recent advances in various starch formulation for wastewater purification via adsorption technique: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 1–34. <http://doi.org/10.1007/s10924-023-02798-x>
2. Abdelmoby, M., Gomaa, H., Sanad, M. M. S., Shenashen, M. A., Kotb, A., & Nagiub, A. (2025). Silver nanowires/chitosan-derived porous carbon sheets nanocomposite for the efficient removal of crystal violet and methylene blue dyes from wastewater. *Inorganic Chemistry Communications*, 174, 114041. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2025.114041>
3. Abdul Hameed, M. M., Al-Aizari, F. A., & Thamer, B. M. (2024). Synthesis of a novel clay/polyacrylic acid–tannic acid hydrogel composite for efficient removal of crystal violet dye with low swelling and high adsorption performance. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 684, 133130. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.133130>
4. Ali, H. (2013). Biodegradation of synthetic dyes—A review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(4), 1235–1255. <http://doi.org/10.1007/s11270-011-0926-2>
5. Chakraborty, S., Dutta, S., & Dey, A. (2020). Environmental and health effects of textile effluents. In *Textile wastewater treatment technologies* (pp. 1–20). Springer.
6. Chowdhury, S., Mishra, R., Saha, P., & Kushwaha, P. (2011). Adsorption thermodynamics, kinetics and isosteric heat of adsorption of malachite green onto chemically modified rice husk. *Desalination*, 265(1–3), 159–168. <http://doi.org/10.1016/j.desal.2010.07.040>
7. Deshannavar, U. B., Hegde, P. G., Patil, P. S., Tamburi, N., Ka, R., Kolar, A., Jadhav, A., & El-Harbawi, M. (2021). Adsorption of Acid Violet 49 dye from aqueous solution by processed agricultural waste. *Desalination and Water Treatment*, 210, 415–429. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26543>
8. Erol, Ç., (2025), Tekstilde boyama prosesi ve oluşan atıksuyun çevresel etkileri. *Artemis Aritım*. <https://www.artemisaritım.com/tekstilde-boyama-prosesi-ve-olusan-atiksuyun-cevresel-etkileri>
9. Fang, K., Deng, L., Yin, J., Yang, T., Li, J., & He, W. (2022). Recent advances in starch-based magnetic adsorbents for wastewater treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 218, 909–929. <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.175>
10. Fei, Y., Deng, H., Wu, G., Luo, M., Chen, Y., Wang, X., Ye, H., & Liu, T. (2023). Adsorption of Cr(III) using composite hydrogel. *Environmental Technology*, 44(14), 4173–4187. <http://doi.org/10.1080/09593330.2022.2082325>
11. Ghoreishi, S. M., & Haghighi, R. (2003). Chemical catalytic reaction and biological oxidation for treatment of non-biodegradable textile effluent. *Chemical Engineering Journal*, 95(1–3), 163–169. <http://doi.org/10.1016/>

S1385-8947(03)00110-1

12. Hu, Y., Deng, L., Li, Z., Wang, F., & He, W. (2024). High-capacity PEG-based hydrogel adsorbent for efficient removal of anionic dyes from wastewater. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263, 135461. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135461>
13. Ibrahim, M. B., & Jimoh, A. (2010). Adsorption studies of methylene blue on low-cost adsorbent. *ChemSearch Journal*, 1(2), 19–22.
14. Katheresan, V., Kansedo, J., & Lau, S. Y. (2018). Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4676–4697. <http://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.060>
15. Kim, S.-R., Park, J. Y., & Park, E. Y. (2024). Effect of phytic acid and citric acid on corn starch. *Food Chemistry*, 431, 137167. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137167>
16. Kumar, A., Mohan, D., Sarswat, A., & Singh, V. K. (2012). Treatment of wastewater using enzymes and microorganisms: A review. *Bioresource Technology*, 121, 363–370. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.020>
17. Liang, L., Liu, J., & Gong, X. (2000). Thermosensitive poly(N-isopropylacrylamide)-clay nanocomposites with enhanced temperature response. *Langmuir*, 16(26), 9895–9899. <https://doi.org/10.1021/la000270v>
18. Mosaffa, E., Patel, R. I., Purohit, A. M., Basak, B. B., & Banerjee, A. (2023). Poly(acrylic acid) composite for dye removal. *Journal of Polymers and the Environment*, 31, 2486–2503. <http://doi.org/10.1007/s10924-022-02744-3>
19. Mosbah, M. F., El-Gendy, N. S., El-Khouly, M. E., & Ali, M. A. (2023). Application of agricultural waste-based adsorbents for dye removal: A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*, 330, 117134. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117134>
20. Okur, M., & Aktı, A. (2016). The removal of C.I. Acid Violet 90 metal-complex dye using synthetic and natural zeolite from aqueous solutions. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(3), 677–686.
21. Okur, M., & Taşkıntuna, B. (2024). Kitosan/Nanokil küreler ile Asit Violet 90 boyarmaddesinin adsorpsiyonu. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39(4), 2463–2472.
22. Okur, M., Aktı, F., & Çetintaş, A. (2018). Polianilin/Aljinat malzemesinin Asit Violet 90 boyar maddesinin gideriminde kullanılması: Kinetik ve izoterm değerlendirmesi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 6(4), 729–740. <https://doi.org/10.29109/gujsc.383614>
23. Rajasulochana, P., & Preethy, V. (2016). Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – A comprehensive review. *Resource-Efficient Technologies*, 2(4), 175–184. <http://doi.org/10.1016/j.refit.2016.09.004>
24. Sarkar, S., Das, S., & Chakraborty, S. (2017). Human health and environmental impacts of dye industry wastewater. In *Environmental*

chemistry for a sustainable world (Vol. 11, pp. 1–27). Springer.

25. Selhami, B., Chham, A., Soubai, B., Ait said Ali, S., El foulani, A. A., Ait El bacha, K., Akouibaa, M., & Tahiri, M. (2024). Novel adsorbent based on Argan Spinosa leaves modified with citric acid for effective removal of crystal violet dye from textile effluents. *Results in Surfaces and Interfaces*, 17, 100354. <https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2024.100354>
26. Su, H. X., Li, C. J., & Zhang, Y. J. (2024). Facile synthesis of geopolymer-based hierarchical porous materials for efficient adsorption-photocatalysis of dye wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12, 114809. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.114809>
27. Tekstil Sayfası. (Mayıs, 2021). Kumaş boyama nedir, kumaş boyama sanatı. Tekstil Sayfası. <https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2021/05/kumas-boyama-nedir-kumas-boyama-sanati.html>
28. Wen, Y., Xie, Z., Xue, S., Zhao, M., Liu, T., & Shi, W. (2024). Acylhydrazone-functionalized starch for efficient removal of hazardous dyes, heavy metal ion, and sulfides from wastewater: Adsorption behavior and mechanism analysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279, 135461. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135461>
29. Wen, Y., Yu, M., Wang, Y., Zhang, Y., & Zhang, S. (2024). Efficient removal of dyes and heavy metals using a novel starch-based polymer adsorbent. *Carbohydrate Polymers*, 320, 121142. <http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121142>

Bölüm 3

GLUTAMİN VE TÜREVLERİNİN ELEKTRON PARAMANYETİK REZONANS(EPR) PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Mehmet Halim BAŞKAN¹

¹ Prof. Dr., Dicle Üniversitesi, Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi, Matematik Ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Fizik Eğitimi Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0001-9288-4947

1.GİRİŞ

Elektron Paramanyetik Rezonans(EPR), serbest radikaller, paramanyetik iyonlar veya çiftlenmemiş elektronlara sahip sistemlerdeki elektronların manyetik özelliklerini inceleyen bir spektroskopi yöntemidir. EPR spektrumları, elektronların spin durumları ve çevreleriyle etkileşimleri hakkında bilgi verir. Bu nedenle, EPR spektroskopisi, amino asit ve türevleri, gıdalar ve ilaçlarda dahil olmak üzere birçok madde içinde oluşan serbest radikallerin tanımlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır(1-5).

Bu çalışmada, daha önce çalışılmış gama ışınları ile ışınlanmış glutamin ve türevlerinin Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) spektrumları ve manyetik parametrelerini karşılaştırmalı incelemesi yapılmıştır. Araştırmada L-Glutamin, L-Glutamin Hidroklorür, Glisil-L-Glutamin, Glisil L-Glutamin Mononhidrat, Alanil L-Glutamin, N-Asetil L-Glutamin gibi bileşikler ele alınmıştır.

Bu çalışma, glutamin ve türevlerinin gama ışınlaması sonrası paramanyetik davranışlarını sistematik olarak ortaya koyarak hem temel bilimsel anlayışa katkı sağlamakta, hem de bu bileşiklerin biyomedikal ve farmasötik uygulamalarına yönelik önemli moleküler bilgiler sunmaktadır. Aynı zamanda EPR spektroskopisinin, amino asit türevlerinin yapısal ve fonksiyonel analizinde ne denli güçlü bir araç olduğunu göstermesi bakımından da dikkat çekicidir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Toz örnekler ^{60}Co γ (gama)-ışını kaynağı ile oda sıcaklığında çeşitli doz oranlarında ışınlanmışlardır. g değeri (spektroskopik yarımlama faktörü) dipenhylicrylhydrazyl (DPPH) örneği ($g = 2.0036$) ile karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Spektrumlar McKelvey simülasyon programı kullanılarak simüle edilmişlerdir(6). Çalışmada kullanılan toz örnekler, oda sıcaklığında ve çeşitli doz oranlarında, ^{60}Co gama-ışını kaynağı ile ışınlanmıştır. EPR spektrumlarının analizinde, g faktörleri (spektroskopik yarımlama faktörleri), standart olarak kullanılan diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) örneği ($g = 2.0036$) ile karşılaştırılarak hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

L-Glutamin(LG)

Kimyasal Formülü: $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}(\text{COOH})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CONH}_2$

Moleküler formülü: $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_3$

Bu formül, α -karbon atomuna bağlı bir amino grubu ($-\text{NH}_2$), bir kar-

boksil grubu ($-\text{COOH}$), ve yan zincirinde iki metilen grubu ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) ile bir amid grubu ($-\text{CONH}_2$) içeren bir amino asit olan L-glutaminin yapısal bütünlüğünü gösterir.

L-glutamin, protein sentezine katılan yirmi standart amino asitten biri olup fizyolojik koşullarda nötr, kutuplu ve amid fonksiyonel grubu içeren bir amino asittir. Vücutta sentezlenebildiği için esansiyel olmayan bir amino asit sınıfında yer almakla birlikte, katabolizmanın hızlandığı stres, travma, enfeksiyon ve yoğun egzersiz gibi durumlarda sentez hızı ihtiyacı karşılayamadığı için yarı-esansiyel nitelik kazanır. Glutaminin en dikkat çeken biyolojik özelliği, hem α -amino grubunda hem de yan zincirindeki amid grubunda olmak üzere iki azot atomu taşımasıdır; bu yapı sayesinde glutamin, organizmada azotun taşınması ve dağıtımında merkezi bir rol üstlenir.

Karaciğer, böbrek, ince bağırsak ve kas dokusu başta olmak üzere birçok metabolik olarak aktif dokuda glutamin, glukoneogenez, üre dönüşü ve asit-baz dengesi gibi temel süreçlerde görev alır. Özellikle enterositler (bağırsak hücreleri) ve lenfositler gibi hızlı bölünen hücreler için temel bir enerji kaynağıdır. Glutaminin hücre içi yüksek konsantrasyonu, redoks dengesi ve antioksidan sistemin bir parçası olan glutatyon sentezine katkı sağlayarak hücreyi oksidatif stresten korur.

Beyinde glutamin, glutamat-glutamin döngüsü aracılığıyla eksitator nörotransmitter olan glutamat ve inhibitör nörotransmitter olan GABA'nın öncüsü olarak görev yapar. Ayrıca nükleotid sentezinde gerekli olan purin ve pirimidin halkalarının azot kaynağı olarak da işlev görür. Glutaminin eksikliği, immün yanıtın zayıflamasına, bağırsak bariyer fonksiyonlarının bozulmasına ve kas proteinlerinin yıkımına neden olabileceği için, klinik uygulamalarda parenteral veya enteral beslenme solüsyonlarında glutamin desteği önerilmektedir.

Sonuç olarak L-glutamin, azot metabolizmasında, immün sistemde, bağırsak bütünlüğünün korunmasında, nörotransmitter dengesinin sağlanmasında ve oksidatif stresin regülasyonunda temel rol oynayan, metabolik açıdan yüksek öneme sahip çok yönlü bir amino asittir.

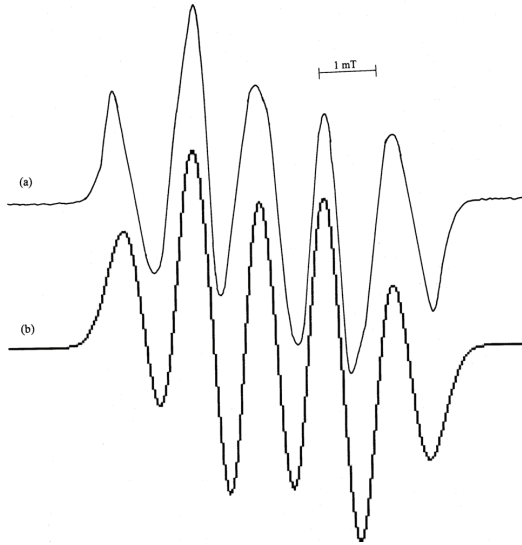
L-Glutamin toz örneği, oda sıcaklığında 36 kGy'lik dozla gama ile radyasyona maruz bırakıldı.

Şekil 1 a, oda sıcaklığında gama radyasyonuna uğratılmış LG tozunun EPR spektrumunu göstermektedir(7). Bu spektrum, $\text{CH}_2\dot{\text{C}}\text{HCOOH}$ radikale atfedilebilir. Bu radikalın, $-\text{COOH}$ grubuna bağlı karbon atomundan bir NH_2 grubunun kopması sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Bu örneğin spektrumu, yaklaşık 1:2:2:2:1 yoğunluk dağılımına sahiptir;

bu spektrumda, 2.30 mT'lik bir aralıkla bir çift çizginin (dublet) bulunduğu görülmektedir. Ardından, her bir çizgi, 1.23 mT'lik bir aralıkla ve 1:2:1 yoğunluk dağılımına sahip üç çizgiye bölünmüştür. Bu spektrumun binom açılımı şu şekilde verilmiştir:

$$1:2:1 + 1:2:1 = 1:2:2:2:1$$

Eşdeğer olmayan protonların daha büyük bir sayısı için spektrum, binom açılımı ile bulunabilir; Bu spektrum için, ölçülen değerler şunlardır: $a_{CH} = 2.30$ mT, $a_{CH_2} = 1.23$ mT, $\Delta H = 0.45$ mT ve $g = 2.0027 \pm 0.0005$. Bu parametrelerle simüle edilen bir spektrum, Şekil 1b'de gösterilmiştir. Deney-sel ve simüle edilmiş EPR spektrumları arasındaki uyum oldukça iyidir.



Şekil 1. a) LG toz örneğinin Oda sıcaklığındaki EPR spektrumu b) Simüle edilmiş spektrum.

L-Glutamin hidroklorür(LGHCl)

L-glutamin hidroklorür, L-glutaminin protonlanmış amino grubunun hidroklorür tuzu formudur. Bu form, biyolojik olarak aktif L-glutaminin taşıyıcısı olup, çözünürlüğü artırılmış ve stabilitesi iyileştirilmiş bir versiyonudur. Özellikle oral veya parenteral beslenme çözeltilerinde tercih edilen bu form, biyoyararlanım açısından avantaj sağlar ve vücutta çözünme sonrası serbest glutamin formuna dönüşerek fonksiyonel görevini yerine getirir. L-glutamin hidroklorür, enteral yolla uygulandığında intestinal hücrelerce hızla alınır ve normal glutamin metabolizmasına dahil olur. Bu özelliğiyle hem gastrointestinal sistem sağlığını destekleyici hem de bağışıklık sistemi modülatörü olarak değerlendirilir.

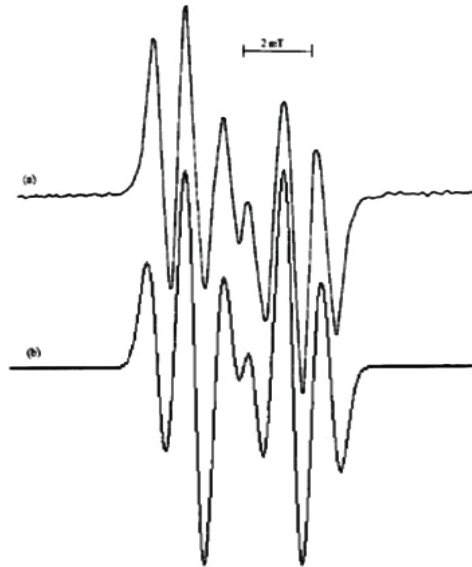
L-Glutamin hidroklorürün genellikle sporcular, bağışıklık sistemi sorunları olan bireyler ve sindirim problemleri yaşayan kişiler tarafından takviye olarak kullanılmaktadır.

Kimyasal formülü $C_5H_{10}N_2O_3 \cdot HCl$ dir.

Toz örnek, oda sıcaklığında 20 kGy'lık dozla gama ile radyasyona maruz bırakıldı.

LGHCl örneğinin EPR spektrumu şekil.2 a da gösterilmiştir(8). Oluşan radikalin karbon merkezli radikal olduğunu gösteriyor. Bu spektrum, 1:2:1:1:2:1 oranında bir yoğunluk dağılımı sergiler ve $CH_2\dot{C}HCOOH$ radikale atfedilebilir. Spektrum, 2.87 mT'lik iki çizgi (doublet) oluştuğunu gösterir. Ardından, ikili çizginin her biri, 1.08 mT'lik bir aralıkla ve 1:2:1 yoğunluk dağılımına sahip üç çizgiye(triplet) ayrılmıştır. Bu sonuçlar, serbest elektronun α -proton ve iki metilen protonu ile olan etkileşmesini işaret eder. Ölçülen g değeri $g = 2.0035 \pm 0.0005$ 'dir. Bu spektrum, $a_{CH} = 2.87$ mT ve $a_{CH_2} = 1.08$ mT ve $\Delta H = 0.35$ mT değerlerle simüle edilmiştir.

Simüle spektrum Şekil 2 b'de gösterilmiştir. Deneysel ve simüle edilmiş EPR spektrumlarının birbirleriyle iyi bir uyum içinde olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, toz örnekte gama ışınlamasının, -COOH grubuna bağlı karbon atomundan bir NH_2 grubunun kopmasıyla LGHCl'de serbest radikal oluştuğu söylenebilir.



Şekil 2. a) LGHCl örneğinin EPR spektrumu b) Simüle edilmiş spektrum.

Glisil-L-Glutamin(GLG)

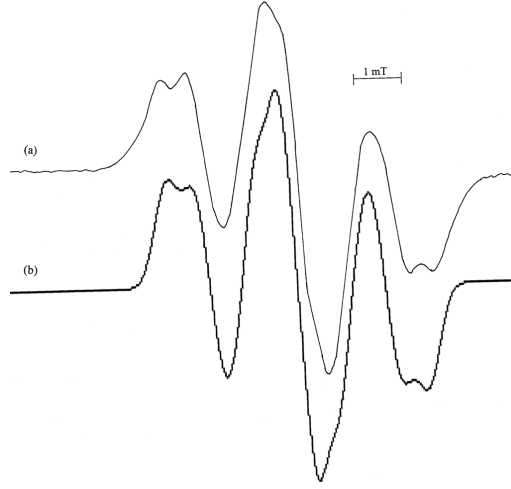
Glisil-L-glutamin, glisin ve L-glutamin amino asitlerinin peptid bağı ile oluşturduğu bir dipeptittir. Glutaminin kararsız yapısal formuna kıyasla, bu dipeptit daha yüksek stabilite ve çözünürlük özellikleri gösterdiğinden farmasötik ve beslenme uygulamalarında dikkat çeken bir alternatiftir. Hücreler bu molekülü peptid taşıyıcıları aracılığıyla alır ve hücre içi peptidazlar tarafından yıkılarak serbest glutamin ve glisin salınır. Böylece glutaminin kontrollü salınımı sağlanır. Glisil-L-glutamin, özellikle stres koşullarında artmış glutamin ihtiyacını karşılamak, bağışıklık fonksiyonlarını desteklemek ve intestinal bariyer fonksiyonlarını korumak amacıyla biyolojik olarak değerlidir.

Kimyasal formülü: $C_7H_{13}N_3O_4$ dir.

Toz örnek, oda sıcaklığında 36 kGy'lik dozla gama ile radyasyona maruz bırakıldı.

GLG'nin gama radyasyonuna uğratılmış tozu oda sıcaklığında Şekil 3a'da gösterilen spektrumu verir(7). Bu spektrum, $CH_2\dot{C}NHCOOH$ radikaline atfedilebilir. Spektrum, 1:1 çift çizginin(dublet) her biri 1:2:1 üç çizgiye ayrılmıştır. Aşırı ince yapı sabitleri, $a_{CH_2} = 2.17$ mT, $a_{NH} = 0.72$ mT, $a_N = 0.48$ mT, $\Delta H = 0.40$ mT ve g-faktörü $g = 2.0028 \pm 0.0005$ olarak ölçülmüştür.

Spektrum ayrıntılı olarak incelendiğinde, 2.17 mT'lik bir aralıkla bir üçlü çizginin oluştuğu görülmektedir. Ardından, her bir üçlü çizgi, 0.72 mT'lik bir aralıkla iki çizgiye daha bölündüğü görülmektedir, bu Şekil 3 a'da gösterilmektedir. Bu sonuçlar, eşlenmemiş elektronun, iki metilen protonu ve bir NH protonu ile olan etkileşmesini göstermektedir. Azot çekirdeği ile olan etkileşme, azotun a sabitinin küçük olmasından dolayı çözünür değildir. Bu değerlerle simüle edilen bir spektrum, deneyle iyi bir uyum içindedir (Şekil 3 b). Sonuç olarak, gama radyasyonunun, GLG'de bir hidrojen atomunun CH grubundan kaybı ile serbest radikal oluştuğu söylenebilir.



Şekil 3. a) GLG toz örneğinin EPR spektrumu b) Simüle edilmiş spektrum.

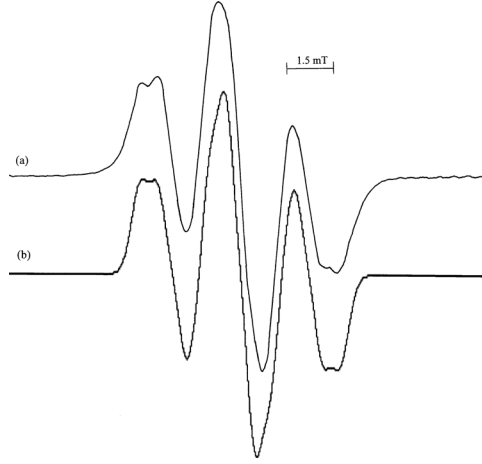
Glisil-L-Glutamin monohidrat(GLGM)

Glisil-L-glutamin monohidrat, yukarıda açıklanan glisil-L-glutamin bileşiğinin kristal formunda bir su molekülü içeren hidrat formudur. Hidrat formu, molekülün fiziksel kararlılığını ve raf ömrünü artırır. Biyolojik etkileri, susuz glisil-L-glutamin ile aynıdır; ancak farmasötik formülasyonlarda çözünürlük, stabilite ve kullanım kolaylığı açısından tercih edilir. Hücre içine taşındıktan sonra serbest glutamin ve glisin bileşenlerine ayrılarak, bağışıklık sistemi, bağırsak sağlığı ve oksidatif stres yanıtı üzerinde glutaminle aynı biyolojik işlevleri yerine getirir.

Kimyasal formülü $C_7H_{13}N_3O_4 \cdot H_2O$ dur.

Toz örnek, oda sıcaklığında 18 kGy'lik dozla gama ile radyasyona maruz bırakıldı.

Şekil 4 a, oda sıcaklığında gama ile ışınlanmış GLGM tozlarının EPR spektrumunu göstermektedir(9). Bu spektrum için radikal, $CH_2\dot{C}NH-COOH$ ile ilişkilendirilebilir. Eşlenmemiş elektron, iki metilen protonu, bir NH protonu ve ^{14}N çekirdeği ile etkileşir. GLGM spektrumunun bir simülasyonu, aşırı ince yapı bağlanma sabitleri $a_{CH_2} = 2.40$ mT, $a_{NH} = 0.63$ mT, $a_N = 0.53$ mT ve $\Delta H = 0.40$ mT kullanılarak Şekil 4 b'de gösterilmiştir. Bu radikaldeki metilen protonlarının bağlanması, öncelikle hiperkonjugasyon yoluyla olmuştur. Sonuç olarak, gama radyasyonunun, GLGM'de bir CH grubundan bir hidrojen atomunun kaybı yoluyla serbest radikal oluşturduğu söylenebilir.



Şekil 4. a) GLGM örneğinin EPR spektrumu b) Simüle edilmiş spektrum.

Alanil-L-glutamin (ALG)

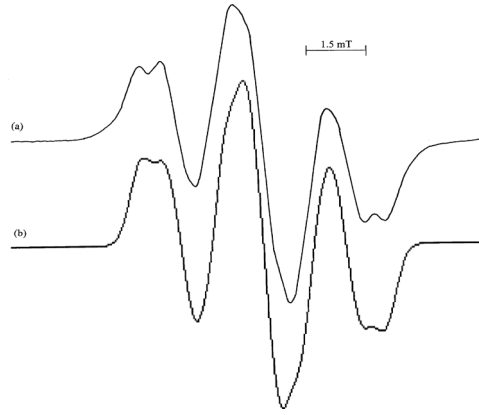
Alanil-L-glutamin, L-alanin ve L-glutaminin oluşturduğu bir dipeptit yapısıdır ve klinik beslenme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir glutamin türevidir. Glutaminin sulu çözeltilerde sınırlı stabilitesine karşın, alanil-L-glutamin bu dezavantajı ortadan kaldırarak çözeltide daha uzun süre kararlı kalır. Bu özellik, intravenöz uygulamalarda güvenli kullanım sağlar. Biyolojik olarak bu dipeptit, hücreler tarafından aktif olarak taşınır ve intraselüler peptidazlar tarafından hidroliz edilerek serbest alanin ve glutamin üretir. Bu yolla glutaminin yavaş ve kontrollü salınımı gerçekleşir. Alanil-L-glutamin, özellikle yoğun bakım hastalarında katabolik durumun dengelenmesi, bağışıklık fonksiyonlarının desteklenmesi ve bağırsak mukozasının onarımı gibi amaçlarla klinik açıdan değerli bir glutamin kaynağıdır.

Sonuç olarak, alanil L-glutamin, enerji üretimi, hücre sağlığı, bağışıklık fonksiyonları ve sinir iletimi gibi birçok biyolojik süreçte kritik bir rol oynayan önemli bir bileşiktir.

Toz örnek, ^{60}Co gama-ışını kaynağı ile oda sıcaklığında 18 kGy dozunda ışınlamaya maruz bırakıldı. Işınlandıktan sonra radikalin EPR spektrumları, 3 aydan fazla bir süre oda sıcaklığında değişmeden kaldı. ALG örneğinin kimyasal yapısı $\text{H}_2\text{NCH}(\text{CH}_3)\text{CONHCH}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CONH}_2)\text{COOH}$ şeklindedir.

Oda sıcaklığındaki gama-ışını ile ışınlanmış ALG tozunun EPR spektrumu, şekil 5 a'da gösterilmektedir(10). Bu spektrum için hasar merkezi, $\text{CH}_2\dot{\text{C}}\text{NHCOOH}$ olarak belirlenmiştir. Eşleşmemiş elektron, iki metilen

protonu, bir NH protonu ve ^{14}N çekirdeği ile etkileşime girer. ALG spektrumunun simülasyonu, şekil 5 b'de gösterilmektedir ve bu simülasyon, $a_{\text{CH}_2} = 2.10 \text{ mT}$, $a_{\text{NH}} = 0.68 \text{ mT}$ ve $a_{\text{N}} = 0.43 \text{ mT}$ aşırı ince yapı bağlanma sabitlerini kullanarak yapılmıştır. Örneğin g değeri $g = 2.0028 \pm 0.0005$ 'tir. Deneysel ve simüle edilmiş EPR spektrumları arasındaki iyi bir uyum vardır. Sonuç olarak, gama-ışınlaması ALG'de bir CH grubundan bir hidrojen atomunun kopması yoluyla serbest radikal ürettiği söylenebilir. Çizgi genişliği $\Delta H = 0.38 \text{ mT}$ olarak belirlenmiştir (Aydın ve ark., 2010).



Şekil 5. (a) ALG Örneğinin EPR Spektrumu (b) Simüle spektrum

N-Asetil-L-Glutamin(NALG)

N-Asetil-L-Glutamin, L-glutaminin amino grubunun asetillenmiş formudur. Aynı zamanda Glutaminin fonksiyonel grubu modifiye edilmiş türevidir.

Kimyasal Formülü: $\text{CH}_3\text{-CO-NH-CH}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CONH}_2)\text{-COOH}$ şeklindedir.

N-Asetil-L-glutamin, doğal amino asit L-glutaminin α -amino grubunun asetilasyonu yoluyla elde edilen, yapısal olarak modifiye edilmiş bir türevidir. Bu modifikasyon, molekülün biyolojik özelliklerini doğrudan etkileyerek çözünürlük, hücresel taşıyım ve metabolik stabilite gibi parametrelerde belirgin değişiklikler yaratır. N-Asetil-L-glutamin, glutaminin amid yan zincirini korumakla birlikte, serbest amino grubunun asetillenmiş olması nedeniyle transaminasyon ve deaminasyon gibi metabolik reaksiyonlara daha az eğilimlidir. Bu durum, bileşiğin plazma ve hücre dışı ortamlarda daha uzun süre stabil kalmasını sağlar.

Fizyolojik sistemlerde N-asetil türevleri genellikle prodrug (ön ilaç) olarak değerlendirilir; bu bağlamda N-asetil-L-glutamin, vücutta karaciğer ya da böbrek dokusunda enzimatik olarak deasetillenerek serbest glutamine dönüştürülebilir. Bu dönüşüm, sistemik glutamin düzeylerinin kontrollü biçimde artırılmasına olanak sağlar. Böylece, glutaminin hızlı metabolizmasından kaynaklanan biyoyararlanım sorunlarının aşılması hedeflenir. N-Asetil-L-glutamin ayrıca endojen glutamin rezervlerinin düşük olduğu, özellikle kritik hastalıklar, enfeksiyonlar, cerrahi müdahale sonrası iyileşme süreçleri veya yoğun egzersiz sonrası oluşan katabolik durumlarda potansiyel bir destekleyici molekül olarak değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte asetilasyon, molekülün taşıyıcı sistemlerle etkileşimini de değiştirerek glutaminin normalde taşındığı sodyum bağımlı amino asit transport sistemlerine olan afinitesini azaltabilir. Bu nedenle N-asetil-L-glutamin, bazı hücrelerde doğrudan taşınmak yerine hidrolize edilerek glutamine dönüştükten sonra alınabilir. Bu özelliği, kontrollü glutamin salınımı sağlama potansiyelini artırır. Sonuç olarak N-asetil-L-glutamin, hem yapısal hem farmakokinetik özellikleri açısından L-glutamine alternatif olarak tasarlanmış bir türev olup, özellikle glutamin dengesinin hassas olduğu metabolik durumlarda kontrollü, stabil ve potansiyel olarak daha etkili bir kaynak olarak değerlendirilmektedir.

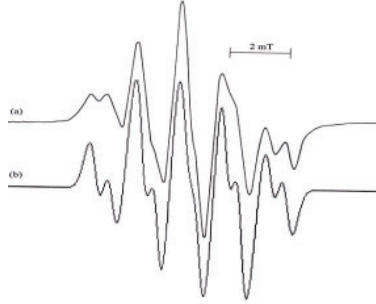
Örnek, ^{60}Co gama-ışını kaynağı ile oda sıcaklığında 20 kGy dozunda ışınlamaya maruz bırakıldı.

Oda sıcaklığında gama-ışını ile ışınlanan NALG tozu, Şekil 6 a'da gösterilen spektrumu vermektedir(11). Spektrumun çizgi çözünürlüğü düşüktür. Ayrıntılı inceleme, spektrumun yaklaşık 1:1:3:3:4:4:3:3:1:1 yoğunluk oranlarına sahip çizgilerden oluştuğunu ortaya koymaktadır. Bu spektrum, yaklaşık olarak eşit bağlanma sabitlerine sahip iki β -proton ve bir ^{14}N çekirdeği ($I = 1$) içermesi nedeniyle 1:3:4:3:1 şeklinde bir yoğunluk dağılımı sergilemektedir ($a_\beta = 1.68 \text{ mT}$ ve $a_N = 1.46 \text{ mT}$). Bu beş çizginin her biri, ^{14}N çekirdeğine yakın bir proton nedeniyle 0.58 mT'lik bir ayırımla çiftlere (doublet) bölünmektedir.

Bu bulgulara göre, paramanyetik merkez $\text{H}_2\text{NCOCH}_2\text{CH}_2\dot{\text{C}}(\text{NHCOCH}_3)\text{COOH}$ radikali olarak tanımlanabilir. Bu radikalın ölçülen g değeri ise $g = 2.0027 \pm 0.0005$ olarak belirlenmiştir. Yukarıda verilen aşırı ince yapı sabitleri ile simüle edilen spektrum, deneysel spektrumla uyum göstermektedir (Şekil 6 b).

Bu sonuçlara göre, gama-ışınlanmanın NALG bileşiğinde serbest radikalleri, HCOCH_3 (asetil) ve COOH (karboksil) gruplarına bağlı karbon atomundan bir hidrojen atomunun kopması yoluyla oluşturduğu ve eşleş-

memiş elektronun iki β -proton, bir NH protonu ve bir ^{14}N çekirdeği ile etkileşimde bulunduğu ifade edilebilir.



Şekil 6. (a) NALG Örneğinin EPR Spektrumu (b) Simüle spektrum

4. SONUÇLAR

Tablo 1. EPR Parametrelerinin Karşılaştırmalı Tablosu

Örnek	Radikal Yapısı	g Değeri (± 0.0005)	$a_{(\text{CH})}$ (mT)	$a_{(\text{CH}_2)}$ (mT)	$a_{(\text{NH})}$ (mT)	$a_{(\text{N})}$ (mT)
L-Glutamin (LG)	$\text{CH}_2\dot{\text{C}}\text{HCOOH}$	2.0027	2.30	1.23	—	—
L-Glutamin HCl (LGHCl)	$\text{CH}_2\dot{\text{C}}\text{HCOOH}$	2.0035	2.87	1.08	—	—
Glisil-L-Glutamin (GLG)	$\text{CH}_2\dot{\text{C}}\text{NHCOOH}$	2.0028	—	2.17	0.72	0.48
Glisil-L-Glutamin Monohidrat (GLGM)	$\text{CH}_2\dot{\text{C}}\text{NHCOOH}$	2.0028	—	2.40	0.63	0.53
Alaninil-L-Glutamin (ALG)	$\text{CH}_2\dot{\text{C}}\text{NHCOOH}$	2.0028	—	2.10	0.68	0.43
N-Asetil-L-Glutamin (NALG)	$\text{CH}_2\text{CH}_2\dot{\text{C}}(\text{NHCOCH}_3)\text{COOH}$	2.0027	—	1.68	0.58	1.46

g Değerlerinin Karşılaştırılması

g değeri, bir radikaldeki serbest elektronun çevresindeki manyetik alanla olan etkileşimini tanımlar. Bu çalışmadaki g değerleri 2.0027-2.0035 aralığındadır (Tablo 1).

- En yüksek g değeri (2.0035): L-Glutamin HCl (LGHCl) → İyonik ortam (HCl varlığı), elektronun çevreyle daha fazla etkileşmesini artırır.
- En düşük g değerleri (2.0027): L-Glutamin ve N-Asetil-L-Glutamin → Radikal karbon merkezlidir, az delokalizasyon vardır.

- Diğer örneklerde g değeri 2.0028 civarında olup, bu değer organik karbon merkezli radikaller için tipiktir.

a Değerlerinin Karşılaştırılması

a değerleri, radikalın nerede oluştuğu ve hangi atomlarla etkileşimde olduğu hakkında doğrudan bilgi verir.

$a_{(CH)}$ ve $a_{(CH_2)}$ Karşılaştırması

- $a_{(CH)}$ değeri yalnızca LG ve LGHCl'de verilmiştir:
 - LGHCl'de $a(CH) = 2.87$ mT $\rightarrow$ en yüksek değer, çünkü α -karbon-daki proton doğrudan radikal merkezine en yakın konumda ve protonlanmış amino grubu (HCl etkisi) elektron yoğunluğunu artırır.
 - LG'de $a(CH) = 2.30$ mT $\rightarrow$ yapı benzer ancak iyonik formda olmadığından spin yoğunluğu biraz daha az.
- $a_{(CH_2)}$ en yüksek: GLGM (2.40 mT)
 - Bu değer, metilen grubundaki protonların spin yoğunluğu ile güçlü etkileşimini gösterir. Hidratlı formda çözünürlük ve konformasyon etkisi olabilir.
 - ALG ve GLG'de $a(CH_2)$ daha düşüktür (2.10–2.17 mT) $\rightarrow$ yapısal gerilim veya çevresel etkiler daha azdır.

3. $a_{(NH)}$ ve $a_{(N)}$ Karşılaştırması

- $a_{(NH)}$:
 - Tüm peptit türevlerinde NH protonuyla etkileşim görülmüştür.
 - En yüksek $a_{(NH)}$: ALG (0.68 mT) $\rightarrow$ alanin birimi ile konformasyon farkı olabilir.
 - En düşük: GLGM (0.63 mT) $\rightarrow$ su molekülü ile bağ yapısı değişebilir.
- $a_{(N)}$:
 - Yalnızca GLG, GLGM, ALG ve NALG'de ölçülmüştür.
 - NALG'de $a_{(N)} = 1.46$ mT $\rightarrow$ en yüksek değer; çünkü amid azotu radikal merkezine oldukça yakındır ve doğrudan spin etkileşimine girer.
 - Diğerlerinde $a_{(N)}$ değerleri 0.43–0.53 mT arasında değişir $\rightarrow$ bu değerler, konformasyonel değişikliklerle birlikte elektron yoğunluğunun

nitrojen çekirdeği üzerindeki etkisini yansıtır.

Genel Sonuçlar ve Değerlendirme

1. Radikal Tipi: Tüm örneklerde karbon merkezli radikaller oluşmuştur. Proton kaybı genellikle CH veya CH₂ grubundan meydana gelmiştir.

2. Yapıya Göre Etki:

- LGHCl, iyonik yapısı nedeniyle en yüksek $a_{(CH)}$ ve g değerine sahiptir.

- NALG, asetillenmiş yapı nedeniyle ¹⁴N çekirdeği ile daha belirgin aşırı ince yapı etkileşimi gösterir (yüksek $a_{(N)}$).

3. Dipeptid Türevleri (GLG, GLGM, ALG):

- Genel olarak $a_{(CH_2)} > a_{(NH)} > a_{(N)}$ sıralaması izlenir.
- Bu türevler glutaminin EPR spektrumunda kararsızlığını ortadan kaldıran, daha stabil ve daha çözünür formlar sunar.

4. Yapı-Spektrum Uyumu:

- Deneysel ve simüle spektrumlar arasındaki yüksek uyum, belirlenen parametrelerin doğruluğunu desteklemektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, L-glutamin ve çeşitli türevlerinin gama ışınlaması sonrası oluşan serbest radikalleri, Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) spektroskopisi ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Her bir bileşikteki radikal yapısı, aşırı ince yapı sabitleri ve g faktörü değerlendirilerek radikal oluşum konumu, çevresel etkilerle ilişkisi ve spin yoğunluğunun dağılımı analiz edilmiştir.

Elde edilen veriler göstermektedir ki tüm örneklerde oluşan radikaller temel olarak karbon merkezlidir. Bununla birlikte, yapısal farklılıklar (örneğin amidasyon, peptit bağı, asetilasyon, protonlanma ve hidrasyon gibi modifikasyonlar) radikalın lokalizasyonunu ve çevresindeki atomlarla olan spin etkileşimlerini doğrudan etkilemiştir. Özellikle dipeptid yapısındaki örneklerde (glisil-L-glutamin, alanil-L-glutamin vb.) serbest elektronun amid azotu ve NH protonlarıyla belirgin aşırı ince yapı etkileşimi gösterdiği ve bu yapıların amin türevi radikal karakteri taşıdığı EPR spektrumlarından anlaşılmaktadır(12).

g değerleri 2.0027 ile 2.0035 arasında değişmiş olup, bu aralık organik karbon merkezli radikaller için beklenen sınırlar içerisinde. En düşük g değerleri L-glutamin ve N-asetil-L-glutamin gibi daha simetrik ve nötr yapıdaki moleküllerde gözlenirken; en yüksek g değeri L-glutamin hidroklorür örneğinde belirlenmiş, bu durum radikalın iyonik ortamda daha delokalize olduğunu göstermiştir. Dipeptid formlar (GLG, GLGM, ALG) ise benzer g değerlerine sahip olup, yapılarına bağlı olarak orta düzeyde elektron delokalizasyonu göstermektedir.

Aşırı ince yapı sabitlerine bakıldığında, dipeptid türevlerinde a_{CH_2} , a_{NH} ve a_N değerleri üzerinden radikalın amid grubu komşuluğunda lokalize olduğu açıkça ortaya konmuştur. N-asetil-L-glutamin örneğinde özellikle ^{14}N çekirdeği ile anlamlı bir etkileşim ($a_N = 1.46$ mT) gözlenmesi, amid grubunun spin yoğunluğu üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Ayrıca, glisil ve alanil türevlerinin hidrat ve non-hidrat formları karşılaştırıldığında, çözünürlük ve konformasyonel farkların hiperince etkileşimleri kısmen değiştirdiği görülmüştür.

Bu çalışma, glutaminin farklı kimyasal modifikasyonlarının radikal oluşum bölgesini, spin dağılımını ve manyetik parametreleri nasıl etkilediğini ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur. Özellikle glutaminin peptid ve asetil türevlerinin kararlılık, biyoyararlanım ve klinik kullanım potansiyeli açısından değerlendirilmesi, bu tür EPR analizlerinin yalnızca yapısal değil, fonksiyonel yönüyle de önemli bilgiler sunduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, gama ışınlaması ile indüklenen serbest radikallerin karakterizasyonu, glutamin türevlerinin moleküler düzeyde anlaşılması, biyolojik davranışlarının modellenmesi ve farmasötik uygulamalar için güvenli ve kontrollü tasarım süreçlerinde önemli katkılar sağlamaktadır. Bu kapsamda EPR spektroskopisi, glutamin temelli yapıların fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin değerlendirilmesinde güçlü bir analitik araç olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Osmanoğlu, Y. E., & Sütçü, K. (2023). Electron Spin Resonance Study of Free Radicals Induced in Single Crystal of Oxcarbapentine. *Applied Magnetic Resonance*, 54(8), 751-759.
2. Sütçü, K., & Aydın, M. (2024). Gamma irradiation effects on diphenhydramine hydrochloride: an EPR study. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 1-10.
3. Osmanoğlu, Y. E., Sütçü, K., & Osmanoğlu, Ş. (2017). Radiation effect studies on some glycine derivatives in solid state. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 172(7-8), 621-628.
4. Sütçü, K., & Osmanoğlu, Y. E. (2024). EPR Investigation of Gamma-Irradiated Tiopronin. *Applied Magnetic Resonance*, 55(6), 585-597.
5. Sütçü, K. (2024). A study to identify and analyze the radiosensitivity of 4-piperidinecarboxylic acid using electron paramagnetic resonance spectroscopy. *Applied Magnetic Resonance*, 55(5), 537-549.
6. McKelvey, R. D. (1987). Huckel MO theory and electron spin resonance in the spectroscopy course. *Journal of Chemical Education*, 64(6), 497.
7. Başkan, M. H. (2008). EPR of γ -irradiated L-glutamine, glycyl-L-glutamine and N-glycyl-L-valine, *Radiation Effects & Defects in Solids*, 163(1), 35-39.
8. Aydın, M., Başkan, M. H., & Emre Osmanoglu, M. Y. (2009). EPR study of gamma induced radicals in amino and iminodiacetic acid derivatives. *Brazilian Journal of Physics*, 39, 583-586.
9. Aydın, M., Osmanoglu, Y. E., & Başkan, M. H. (2008). Electron paramagnetic resonance of γ -irradiated glycyl-L-glutamine monohydrate, iminodiacetic acid and methyliminodiacetic acid. *Radiation Effects & Defects in Solids*, 163(1), 47-53.
10. Aydın, M., Halim Başkan, M., Yakar, S., Ulak, F. Ş., Aydinol, M., Aydinol, B., & Büyüm, M. (2008). EPR studies of gamma-irradiated L-alanine ethyl ester hydrochloride, L-arginine and alanyl-L-glutamine. *Radiation Effects & Defects in Solids*, 163(1), 41-46.
11. Aydın, M., (2011). The identity and structure of free radicals in γ -irradiated amino acid derivatives. *Bulgarian Chemical Communications*, 43, 419-422.
12. Zincircioğlu, S. B., Canoruç, N., Osmanoğlu, Ş., Başkan, M. H., Dicle, I. Y., & Aydın, M. (2006). Electron paramagnetic resonance of some γ -irradiated amino acid derivatives. *Zeitschrift für Naturforschung A*, 61(10-11), 577-582.
7. Başkan, M. H., & Aydın, M. (2013). Electron paramagnetic resonance studies of gamma-irradiated DL-alanine ethyl ester hydrochloride, L-theanine and L-glutamic acid dimethyl ester hydrochloride. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 112, 280-282.
8. Aydın, M., Kartal, Z., Osmanoğlu, Ş., Başkan, M. H., & Topkaya, R. (2011). EPR and FT-IR spectroscopic studies of l-lysine monohydrochloride and

- l-glutamic acid hydrochloride powders. *Journal of Molecular Structure*, 994(1-3), 150-154.
 9. Osmanoğlu, Ş., Aydın, M., Osmanoğlu, Y. E., Dicle, I. Y., & Başkan, M. H. (2011). Structure and behaviour of the free radicals generated in gamma irradiated amino acid and iminodiacetic acid derivatives. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 78(5), 1611-1614.
 10. Başkan, M. H., Aydın, M., & Osmanoğlu, Ş. (2010). Investigation of ^{60}Co γ -irradiated l-(-) malic acid, N-methyl-dl-valine and l-glutamic acid γ -ethyl ester by electron paramagnetic resonance technique. *Journal of Molecular Structure*, 983(1-3), 200-202.
 11. Sütçü, K., & Osmanoğlu, Y. E. (2017). EPR study of gamma-irradiated N-methyl-L-alanine, DL-2-methyl glutamic acid hemihydrate and Di-leucine hydrochloride in solid state. *Journal of Molecular Structure*, 1149, 593-595.
 12. Aydın, M. (2010). EPR study of free radicals in amino acid derivatives gamma-irradiated at 300 K. *Indian J Pure & Appl Phys*, 48, 611-614.
 13. Aydın, M. (2010). Identification of free radicals induced by gamma irradiation in amino acid derivatives. *Brazilian Journal of Physics*, 40, 306-308.
 14. Aydın, M., Başkan, M. H., & Emre Osmanoglu, M. Y. (2009). EPR study of gamma induced radicals in amino and iminodiacetic acid derivatives. *Brazilian Journal of Physics*, 39, 583-586.
 15. Başkan, M. H., Osmanoğlu, Ş., & Dicle, I. Y. (2009). Radiation damage produced in powder of α -(methylamino) isobutyric acid, α -aminoisobutyric acid methyl ester hydrochloride and diethylmalonic acid. *Radiation Effects & Defects in Solids*, 164(11), 673-678.
 16. Aydın, M., Halim Başkan, M., Yakar, S., Ulak, F. Ş., Aydinol, M., Aydinol, B., & Büyüm, M. (2008). EPR studies of gamma-irradiated L-alanine ethyl ester hydrochloride, L-arginine and alanyl-L-glutamine. *Radiation Effects & Defects in Solids*, 163(1), 41-46.
 17. Aydın, M., Osmanoglu, Y. E., & Başkan, M. H. (2008). Electron paramagnetic resonance of γ -irradiated glycyl-L-glutamine monohydrate, iminodiacetic acid and methyliminodiacetic acid. *Radiation Effects & Defects in Solids*, 163(1), 47-53.
- Aydın, M. (2010). Study of the structure of free radicals in gamma: irradiated amino acid derivatives. *Brazilian Journal of Physics*, 40, 429-431.

Bölüm 4

**ACİD RED-52 BOYAR MADDESİNİN
SULU ORTAMDAN 106 MM (P[EG-CO-
VPDON]) KOPOLİMERİ İLE GİDERİMİ:
ADSORPSİYON ÜZERİNE PH VE BAŞLANGIÇ
KONSANTRASYONUNUN ETKİSİ**

Sude AKGÜL¹, Petek BALCI², Ali KARA³

1 Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Polimer Malzemeler Anabilim Dalı Bursa, Türkiye ORCID ID: 0009-0001-7279-8010 sudeakg35@gmail.com

2 MSc., Bursa Uludağ University Institute of Science and Technology Polymer Materials Department, Bursa, Türkiye ORCID ID: 0009-0009-0981-1647 petekbalci@outlook.com

3 Prof. Dr., Bursa Uludağ University Institute of Science and Technology Polymer Materials Department, Bursa, Türkiye ORCID ID: 0000-0003-2457-6314 akara@ulu-dag.edu.tr

GİRİŞ

Günümüzde çevresel kirlenme, sanayileşmenin doğrudan bir sonucu olarak önemli bir küresel sorun hâline gelmiştir. Sanayi devrimi ve endüstriyel üretimin artması ile, tekstil endüstrisi büyük bir ivme kazanmıştır. Tekstil endüstrisinin hızla gelişmesi, su kaynaklarının kirlenmesini ciddi biçimde artırmıştır. Tekstil endüstrisi, üretim süreçlerinde büyük miktarda su ve kimyasal madde kullanmaktadır. Kullanılan kimyasalların başında boyar maddeler gelir ve bu maddelerin önemli bir kısmı üretim sonunda atık sularla çevreye salınır (Robinson vd., 2001). Kullanılan boyar maddeler, işlem gören ürünlerin yalnızca %60'ına bağlanmakta, geri kalan kısmı ise atık su olarak doğrudan doğaya bırakılmaktadır (Forgacs, Cserhádi & Oros, 2004). Bu durum, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki tatlı su kaynaklarını tehdit etmekte ve ciddi ekolojik bozulmalara yol açmaktadır. Tekstil boyalarının büyük bir kısmı üretim süreci sonrasında atık suya geçmekte ve doğrudan alıcı ortamlara bırakılmaktadır. Bu durum hem sucul yaşamı tehdit etmekte hem de içme suyu kaynaklarının kalitesini düşürmektedir.

Boyar maddeler, yapılarındaki kromofor ve okzokrom grupları sayesinde yüksek renklilik özelliklerine sahip olan sentetik kimyasal bileşiklerdir. Bu maddelerin bazıları doğada kolayca parçalanamaz ve kararlı yapıları nedeniyle biyolojik arıtma sistemlerinde etkili bir şekilde giderilemez (Robinson, McMullan, Marchant & Nigam, 2001). Boyar maddelerin yapısında bulunan azo grupları ve diğer reaktif gruplar, çevre ve insan sağlığı üzerinde toksik etkiler gösterebilmektedir. Bu maddelerin doğaya karışmasıyla birlikte suda yaşayan canlılar olumsuz etkilenmekte, fotosentez faaliyetleri engellenmekte ve ekolojik denge ciddi anlamda bozulmaktadır (Ishak vd., 2020).

Bu nedenle tekstil endüstrisinde kullanılan atık suların arıtılması büyük önem taşımaktadır. Tekstil kaynaklı atık suyun arıtımında yaygın olarak kullanılan konvansiyonel yöntemler arasında kimyasal presipitasyon, koagülasyon-flokülasyon, membran prosesleri ve ozon bazlı oksidatif arıtım teknolojileri yer almaktadır. Ancak bu yöntemlerin çoğu yüksek maliyetli, düşük verimli veya ikincil atık oluşumuna neden olan süreçlerdir (Slokar & Le Marechal, 1998). Bu bağlamda adsorpsiyon yöntemi, ekonomik, etkili ve yeniden kullanılabilir özellikleri nedeniyle ön plana çıkmaktadır.

Adsorpsiyon yöntemi, boyar maddelerin polimerik malzemeler üzerine tutunarak sudan uzaklaştırılması esasına dayanır (Guembe-García vd., 2024). Son yıllarda adsorpsiyon yöntemi için özellikle interpenetran polimer ağları (IPN) ve yarı-IPN hidrojel sistemleri yoğun ilgi görmektedir.

dir. Bu sistemler hem doğal hem sentetik polimerlerin avantajlarını birleştirerek yüksek stabilite, biyoyumluluk ve çevresel sürdürülebilirlik sağlamaktadır (Ahmadian & Jaymand, 2023).

Adsorpsiyon, bir maddenin başka bir madde yüzeyine tutunması prensibine dayanan fiziksel bir arıtma yöntemidir. Bu süreç, özellikle aktif yüzeye sahip malzemeler kullanıldığında oldukça verimli olabilir. Günümüzde aktif karbon, zeolitler, biyokütle bazlı malzemeler ve polimerik adsorbanlar bu amaçla kullanılmaktadır. Polimerlerin kullanımı, yüzey modifikasyonlarının kolaylığı, mekanik kararlılıkları ve işlevselleştirilebilir olmaları sayesinde giderek yaygınlaşmaktadır (Gupta & Suhas, 2009).

Polimerler, makromoleküler yapıları sayesinde çeşitli endüstriyel ve çevresel uygulamalarda yer bulan bileşiklerdir. Monomer adı verilen küçük moleküllerin kimyasal bağlarla bir araya gelmesiyle oluşan bu yapılar, sahip oldukları fonksiyonel gruplar sayesinde boyar maddeler gibi kirleticilerin gideriminde önemli roller üstlenmektedir. Polimerlerin adsorban olarak kullanılabilirliği, içerdiği fonksiyonel gruplar ve çapraz bağ yapısıyla doğrudan ilişkilidir. Amin, hidroksil, karboksil ve sülfat grupları gibi iyonik veya polar özellik taşıyan gruplar, boyar maddelerin elektrostatik etkileşimler, hidrojen bağları ve Van der Waals kuvvetleri yoluyla tutulmasına olanak tanır (Zhang, Zhang & Gao, 2017). Polimerler, günlük yaşamımızda pek çok alanda yaygın olarak kullanılırlar. Bunlar arasında plastikler, lifler, elastomerler, yapıştırıcılar ve çeşitli kaplama malzemeleri bulunmaktadır. Polimerlerin özellikleri, molekül ağırlığına, zincir uzunluğuna, zincirlerin düzenine ve kullanılan monomerlerin türüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Bhattacharya & Shunmugam, 2020). Son yıllarda özellikle polimerik jeller, geniş uygulama alanları ve farklı kimyasal özellikleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu jeller, çapraz bağlanmış üç boyutlu ağ yapıları sayesinde büyük miktarda su veya diğer sıvıları tutabilirler (Ahmadian & Jaymand, 2023). Polimerlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri monomer türüne, zincir uzunluğuna ve zincirlerin düzenine bağlıdır. Polimerlerin bu özellikleri, onları özellikle çevresel uygulamalarda boyar maddelerin adsorpsiyonunda kullanışlı hâle getirmektedir.

Polimerlerin, boyar maddelerin adsorpsiyonundaki etkinliği, yüksek yüzey alanı ve işlevsel grupların varlığı ile açıklanabilir. Polimerlerin sahip olduğu amin, karboksil ve hidroksil gibi fonksiyonel gruplar, boyar maddelerle elektrostatik etkileşimler ve hidrojen bağları kurarak adsorpsiyon verimini artırır (Zhang vd., 2017). Çapraz bağlı polimerler, yüksek yüzey alanı ve gözenekli yapıları sayesinde boyar madde gibi büyük moleküllerin adsorpsiyonunda oldukça etkilidir. Bu polimerler, üç boyutlu

bir ağ yapısına sahip olup sulu ortamlarda şişme yetenekleriyle dikkat çeker. Özellikle akrilik asit, metakrilik asit ve vinil türevleri gibi monomerlerin çapraz bağlayıcı ajanlarla birlikte polimerleştirilmesi sonucu elde edilen yapılar, su arıtımı gibi çevresel uygulamalarda tercih edilmektedir (Zhang, Zhang & Gao, 2017). Bu yapılar, hidrofilik özellikleri sayesinde su içerisindeki kirleticilerle etkileşime geçerek yüksek verimli adsorpsiyon sağlar. Adsorpsiyon işlemlerinde kullanılan polimerik jellerin mekanik ve termal stabiliteleri de önemlidir. Bu stabiliteler, polimerlerin çapraz bağlanma derecesine ve kullanılan çapraz bağlayıcı ajanın türüne bağlıdır. İyi bir çapraz bağlama, polimerik yapının sağlamlığını artırarak adsorpsiyon kapasitesinin uzun süreli kullanımda korunmasını sağlamaktadır (Kyzas vd., 2013)

Termoplastik, termoset ve elastomerik olarak sınıflandırılabilen bu maddeler, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri bakımından geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Biyobozunur polimerlerin kullanımı, geleneksel sentetik polimerlere alternatif olarak öne çıkmaktadır. Biyobozunur polimerler, çevre koşullarında mikroorganizmaların etkisiyle karbondioksit, su ve biyokütleye dönüşebilen polimerlerdir. Bu tür polimerler özellikle tek kullanımlık uygulamalarda ve çevreyle doğrudan temas eden sistemlerde tercih edilmektedir (Niaounakis, 2013). Atık su arıtımında biyobozunur polimerlerin kullanımı, sadece kirleticilerin uzaklaştırılması açısından değil, aynı zamanda çevreye ek bir yük getirmemesi açısından da önemli bir avantaj sağlar. Çevresel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan polimer türleri arasında polivinil alkol (PVA), poliakrilamid, polietilen glikol (PEG), polianilin ve biyopolimerlerden kitosan öne çıkmaktadır (Crini, 2006).

Kitosan, kitin türevi bir polisakkarit olup, özellikle boyar madde adsorpsiyonunda yüksek verimliliği ile öne çıkmaktadır. Amin grubu içeriği sayesinde kitosan, anyonik boyar maddelerle elektrostatik etkileşim kurarak etkin bir şekilde tutunabilir (Crini & Badot, 2008). Selüloz ve türevleri ise yapısal kararlılıkları ve hidrofilik özellikleri sayesinde su arıtım uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu biyopolimerler, kimyasal olarak modifiye edilerek çapraz bağ yapısı kazandırıldığında, daha stabil ve yeniden kullanılabilir adsorbanlara dönüştürülebilmektedir (Li vd., 2016).

Polimerizasyon yöntemleri, polimerlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyen temel süreçlerdir. Serbest radikal polimerizasyonu, çözeltide polimerizasyon ve süspansiyon polimerizasyonu gibi yöntemler, belirli monomerlerin uygun koşullar altında polimer zincirlerine dönüşmesini sağlar. Örneğin, metakrilik asit ve etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) gibi maddelerin kullanıldığı çapraz bağlı sistemlerde, hem

yüksek mekanik dayanıklılık hem de yüksek adsorpsiyon kapasitesi elde edilebilir. Bu sistemlerde başlatıcı olarak genellikle azobisisobütironitril (AIBN) gibi radikal başlatıcılar kullanılmaktadır. Doğal polimerler arasında kitosan, selüloz, sodyum aljinat gibi biyopolimerler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu polimerler çevre dostu olmaları ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilmeleri nedeniyle avantaj sağlamaktadırlar. Örneğin, çapraz bağlanmış kitosan-polimer jellerin, reaktif boyaların sudan etkin biçimde uzaklaştırılmasında kullanıldığı rapor edilmiştir. Yapılan çalışmalar, kitosan-polimer jellerin, boyar maddeler ile güçlü iyonik etkileşimler kurarak adsorpsiyon etkinliğini artırdığını göstermektedir (Rosa vd., 2007). Bununla birlikte, doğal polimerlerin adsorpsiyon kapasitesi bazı durumlarda yetersiz kalabilmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için polimerlerin kimyasal veya fiziksel yöntemlerle modifiye edilmesi tercih edilmektedir. Polimerlerin modifikasyonu ile daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine ve daha hızlı adsorpsiyon kinetiklerine sahip malzemeler elde edilebilmektedir. Örneğin, poli(vinil alkol) (PVA) ve reaktif boyaların çapraz bağlanmasıyla gerçekleştirilen çöktürme işlemleri, hem PVA'nın hem de reaktif boyaların etkin biçimde giderilmesine olanak tanımıştır (Shen vd., 2019). Sentetik polimerlerin kullanımı da tekstil boyalarının gideriminde yaygındır. Poliakrilonitril (PAN) gibi sentetik nanolifler, yüksek yüzey alanları sayesinde reaktif boyaların adsorpsiyonunda oldukça etkili bulunmuştur. Özellikle siklodekstrin gibi fonksiyonel gruplarla modifiye edilen PAN/ β -CD mikroküreleri, misafir boyar madde molekülleriyle inklüzyon kompleksleri oluşturabilir ve bu sayede sulu çözeltiden boya giderim verimliliğini artırır (Zhang vd., 2014). Adsorpsiyon işlemlerini modellemek amacıyla çeşitli izoterm modelleri kullanılmaktadır. Adsorpsiyon izotermi, adsorban yüzeyinde gerçekleşen tutunma olayını matematiksel olarak modellemek amacıyla geliştirilmiş denklemlerdir. En yaygın kullanılan modeller Langmuir ve Freundlich izotermidir. Langmuir izotermi, yüzeyin homojen ve tek katmanlı olduğu varsayımıyla çalışır ve belirli bir maksimum adsorpsiyon kapasitesi tanımlar. Freundlich izotermi ise heterojen yüzeyler için geçerlidir ve adsorpsiyonun konsantrasyonla değişen bir eğilim izlediğini kabul eder (Foo & Hameed, 2010). Temkin izotermi ise adsorpsiyon ısısının tüm yüzey boyunca lineer olarak azaldığını kabul eder ve özellikle adsorpsiyon sürecinde ısı değişiminin önemli olduğu sistemlerde tercih edilir.

Adsorpsiyon kinetiği ise kirleticinin adsorban yüzeyine ne hızla ve hangi mekanizma ile bağlandığını incelemektedir. Pseudo-first order ve pseudo-second order gibi modeller, deneysel verilerin kinetik analizinde kullanılır. Bu modeller, süreçte kimyasal bağlanmanın mı yoksa fiziksel tutunmanın mı baskın olduğunu ortaya koyar. Ayrıca Weber-Morris di-

füzyon modeli, gözenek içi difüzyonun etkisini analiz etmek için yaygın olarak kullanılır. Özellikle gözenekli adsorbanlarda, boyar madde moleküllerinin adsorbanın iç kısımlarına taşınma hızı sınırlayıcı adım olabilir. Bu model, adsorpsiyonun farklı aşamalarını ayırt etme konusunda önemli bilgiler sağlar (Weber & Morris, 1963).

Adsorpsiyon sürecinde kullanılan polimerlerin mekanik ve termal kararlılıkları önemlidir. Bu kararlılıklar, polimerlerin çapraz bağlama derecesine ve kullanılan çapraz bağlayıcı ajanlara bağlıdır. Polimer karakterizasyonu, polimerlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen analizleri kapsar. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), fonksiyonel grupların tayininde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Scanning Electron Microscopy (SEM), yüzey morfolojisinin belirlenmesine olanak tanırken, Thermogravimetric Analysis (TGA) ısı kararlılık analizlerinde kullanılır. FTIR, SEM ve TGA gibi analitik yöntemler, polimerlerin yapısal ve kimyasal karakterizasyonunu yapmak ve adsorpsiyon mekanizmalarını anlamak için kullanılır (Crini vd., 2007). Bu analizler, adsorpsiyon öncesi ve sonrası polimerdeki değişimleri değerlendirmek açısından önemlidir (Arslan-Alaton, Gursoy & Schwegler, 2009).

Yasal düzenlemeler, adsorpsiyon teknolojilerinin gelişimini doğrudan etkiler. Avrupa Birliği'nin Su Çerçeve Direktifi ve Türkiye'deki Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, boyar maddelerin çevreye salınımını sıkı şekilde düzenlemekte ve adsorpsiyon tabanlı teknolojilerin önemini artırmaktadır (T.C. ÇŞİDB, 2015). Son olarak, boyar madde giderimi çalışmalarının yalnızca laboratuvar düzeyinde değil, aynı zamanda mevzuatsal ve çevresel boyutta da değerlendirilmesi gereklidir. Direktif, üye ülkeleri su kalitesini korumak ve iyileştirmekle yükümlü kılar. Bu kapsamda renkli atık suların doğrudan alıcı ortama verilmesi, ciddi yasal yaptırımlara neden olabilir. Türkiye'de ise bu konudaki düzenleme, Türkiye'de ise bu konuda yürürlükte olan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, ilgili bakanlık tarafından yayımlanarak uygulamaya alınmıştır. Yönetmelikte, atık suyun rengi, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), pH ve sülfat gibi parametreler sınırlandırılmıştır (T.C. ÇŞİDB, 2015).

Reaktif boyar maddelerin polimerik adsorbanlarla giderimi üzerine yapılan çalışmalar, bu yöntemin hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir olduğunu göstermektedir. Örneğin Zhang ve arkadaşları (2017), kitosan ve karboksimetilselüloz bazlı hidrojel boncuklarla metil oranj boyasının %98'e kadar giderilebildiğini rapor etmiştir. Benzer şekilde Kong ve arkadaşları (2013), yüzeyi modifiye edilmiş manyetik polimer mikrokürelerin, anyonik boyaların gideriminde etkili olduğunu ortaya koymuştur.

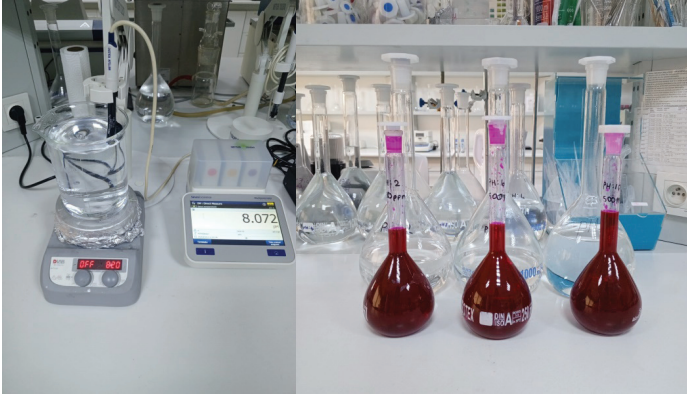
YAP (Yüzey Aktif Polimer) gibi sentetik malzemelerin adsorpsiyon verimliliği; çözeltideki pH düzeyi, etkileşim süresi, başlangıçtaki kirlenici konsantrasyonu ve ortam sıcaklığı gibi çeşitli çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenir. Düşük pH ortamlarında, polimer yüzeyindeki amin ve benzeri gruplar protonlanarak pozitif yük kazanmakta ve bu sayede anyonik boyar maddelerle güçlü elektrostatik etkileşimlere girmektedir (Şengil & Özacar, 2009). Bu durum, Reaktif Orange 122 gibi suda çözünür ve anyonik özellikteki boyar maddelerin gideriminde özellikle pH=3 gibi asidik koşullar altında daha başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Günümüzde sürdürülebilir çevre teknolojileri kapsamında yapılan araştırmalar, doğal ve sentetik polimerlerin atık su arıtımında daha fazla kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yaashikaa vd. (2022) tarafından derlenen literatürde, biyopolimer ve kompozit adsorbanların genişletilebilirlik, yeniden kullanılabilirlik ve yüksek adsorpsiyon performansı sayesinde çevresel kirliliği giderme potansiyelleri vurgulanmıştır. Bu materyaller, çevre dostu olmaları sayesinde ekolojik sürdürülebilirlik açısından da önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu nedenle polimer bilimi ve çevre mühendisliği disiplinlerinin iş birliği ile geliştirilen yeni nesil adsorban malzemeler, yalnızca tekstil endüstrisi için değil, aynı zamanda ilaç, gıda ve kozmetik sektörlerinin de atık yönetimi ihtiyaçlarına çözüm sunmaktadır. Gelecekte nanokompozit polimerler, metal-organik iskele sistemleri (MOF) ile entegre edilmiş polimerik yapılar ve biyobozunur polimer adsorbanlar gibi gelişmiş sistemlerin kullanımının artması beklenmektedir.

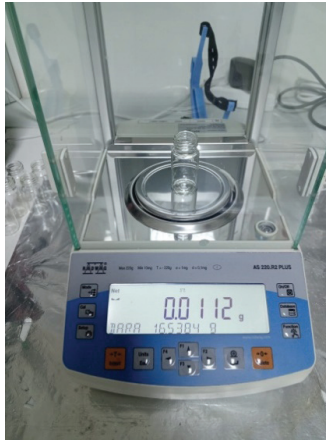
Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, 106 μM - (p[eg-co-vpdon]) bazlı polimerin Acid Red-52 (AR-52) boyar maddesinin sulu ortamdan adsorpsiyon verimliliği incelenmiştir. Deneysel tasarımda, pH değişiminin adsorpsiyon üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla pH 2, 6 ve 10 koşullarında adsorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, pH 2 ortamında yapılan konsantrasyon çalışması ile başlangıç boyar madde konsantrasyonunun adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.



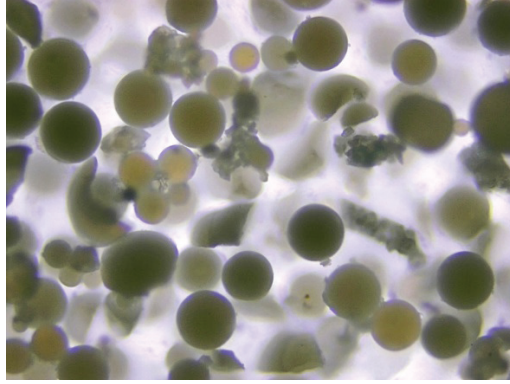
Şekil 1. pH ve boyar madde stok çözeltilerin hazırlanma aşaması

DeneySEL çalışmalarında, AR-52 boyar maddesinin 500 ppm’lik ana stok çözeltisi hazırlanmış ve bu çözeltiden 1, 2, 3 ve 4 ppm olacak şekilde seyreltilmiş numuneler elde edilmiştir. Her bir deney grubu için 0,01 g 106 μM - (p[eg-co-vpdon]) polimeri 20 mL hacmindeki viallere tartılmış ve üzerine belirlenen pH değerlerinde (2, 6 ve 10) 10 mL boyar madde çözeltisi eklenmiştir. pH ayarlamaları, hidroklorik asit (HCl) ve sodyum hidroksit (NaOH) çözeltileri ile yapılmıştır. Hazırlanan karanlık koşullarda ve oda sıcaklığında 24 saat boyunca bekletilmiştir. Bekleme süresinin ardından, UV-VIS spektrofotometresi aracılığıyla numunelerin 574 nm dalga boyundaki absorbans değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen verilere göre, özellikle pH 2, 6 ve pH 10 değerlerinde elde edilen sonuçlar kullanılarak absorbans-konsantrasyon grafiği çizilmiş (Şekil 8) ve analizler gerçekleştirilmiştir.



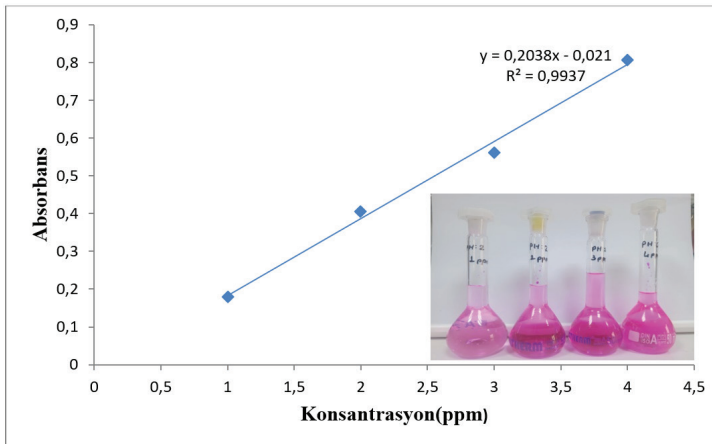
Şekil 2. Polimer tartım aşaması

pH 2 koşulunda gerçekleştirilen konsantrasyon çalışmasında ise 1, 2, 3 ve 4 ppm olmak üzere dört farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonu ile deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3 – Şekil 8). Her bir çözeltiden 10 mL'lik bir hacim vial içerisine aktarılmış, hazırlanan çözeltiler karanlık bir ortamda belirli bir süre bekletilmiştir. 24 saatlik temas süresinin ardından çözeltiler UV-VIS spektrofotometresinde analiz edilmiştir.

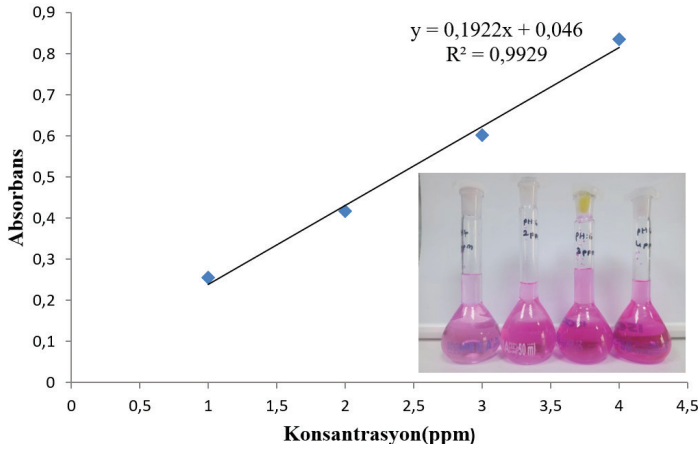


Şekil 3. Polimere ait mikroskop görüntüsü (400x)

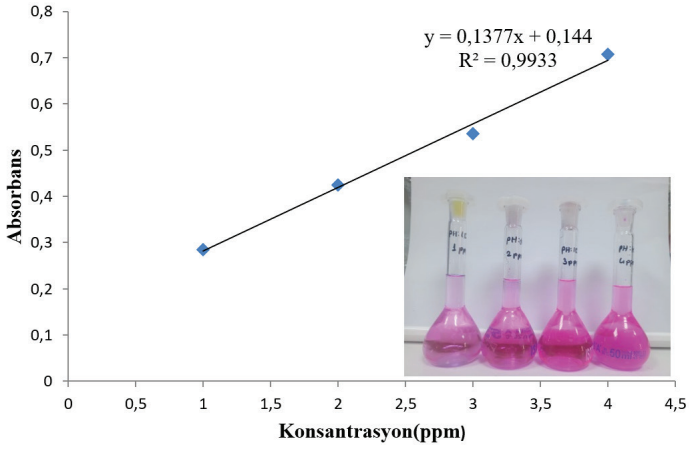
Polimere ait mikroskop görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir. Deneyler sonucunda, pH 2, 6 ve pH 10 değerlerinde gerçekleştirilen uygulamalardan elde edilen verilere dayanarak oluşturulan kalibrasyon grafikleri Şekil 4, 5 ve 6'da sunulmuştur.



Şekil 4. pH 2 Kalibrasyon Grafiği



Şekil 5. pH 6 Kalibrasyon Grafiği



Şekil 6. pH 10 Kalibrasyon Grafiği

SONUÇ

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilerle oluşturulan pH-q_e grafiği incelendiğinde, 106 µM - (p[eg-co-vpdon]) polimerinin Acid Red-52 boyar maddesinin adsorpsiyonunda en yüksek verimliliği pH 2 koşulunda gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 7).

$$Q_e = ((C_0 - C_{son}) \cdot V) / m$$

$$Q_e = C_0 - C_{son}$$

(1)

Bu formülde;

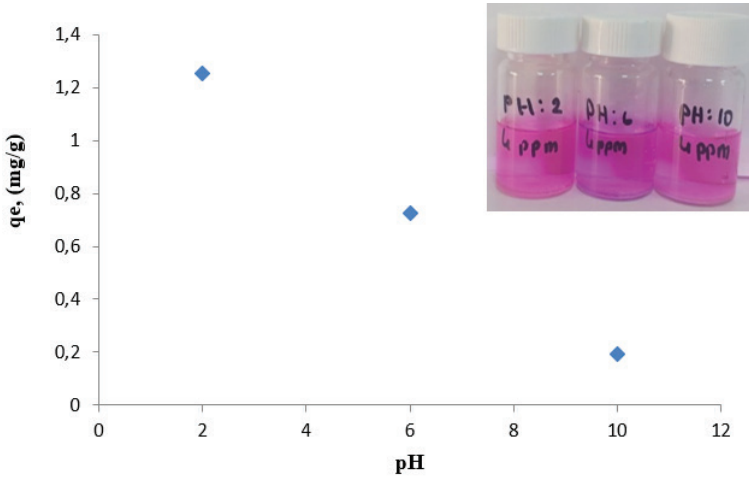
C₀: Başlangıçtaki çözelti konsantrasyon (mg/L),

C_{son}: 24 saat sonunda ölçülen son konsantrasyon (mg/L),

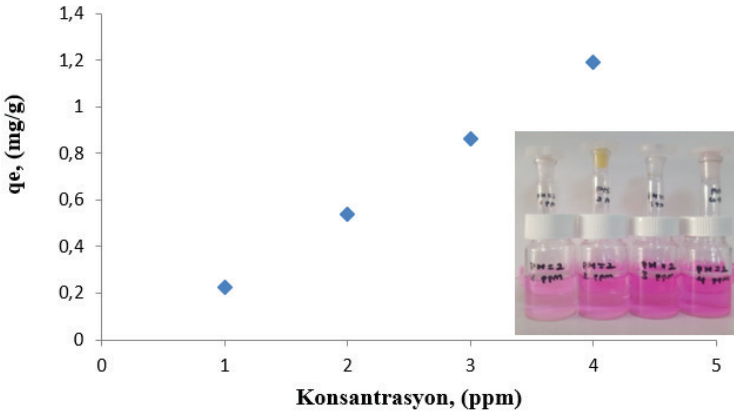
V: Kullanılan çözeltinin hacmi (mL),

m: Deneyde kullanılan polimer miktarı (g)

olmak üzere, adsorpsiyon kapasitesini ifade eden q_e değeri hesaplanmaktadır.



Şekil 7. Farklı pH koşullarında polimerin adsorpsiyon kapasitesindeki değişim grafiği



Şekil 8. Farklı konsantrasyon koşullarında polimerin adsorpsiyon kapasitesindeki değişim grafiği

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, (p[eg-co-vpdon]) polimerinin Acid Red-52 (AR-52) boyar maddesinin sulu çözeltilerden gideriminde etkili bir adsorban olduğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, adsorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerinde pH ve başlangıç konsantrasyonu değişkenlerinin önemli rol oynadığı görülmüştür. Özellikle pH 2 koşulunda, polimerin en yüksek adsorpsiyon kapasitesine ulaştığı (1,252 mg/g) belirlenmiştir. Bu durum, düşük pH ortamında polimer yüzeyinin protonlanarak pozitif yük kazanması ve anyonik karakterdeki AR-52 boyar maddesi ile elektrostatik etkileşimlerin artması ile açıklanabilir. pH 6 ve pH 10 ortamlarında ise q_e değerleri sırasıyla 0,727 mg/g ve 0,192 mg/g olarak ölçülmüş, bu da adsorpsiyon verimliliğinin alkalın koşullarda azaldığını göstermiştir. Sonuç olarak, pH 2 adsorpsiyon için optimum koşul olarak tanımlanmıştır.

Konsantrasyon deneylerinde ise başlangıç boyar madde konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin de arttığı tespit edilmiştir. 1 ppm'den 4 ppm'ye kadar yapılan uygulamalarda q_e değeri sırasıyla 0,225 mg/g'dan 1,194 mg/g'a yükselmiştir. Bu artış, polimerin daha yüksek boyar madde konsantrasyonlarında daha fazla adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu ve aktif yüzeylerin henüz doyumluğa ulaşmadığını göstermektedir. Ancak bu artışın belirli bir konsantrasyon seviyesinden sonra plato yapması ve sistemin doyumluğa ulaşması beklenmektedir.

Sonuç olarak:

- (p[eg-co-vpdon]) polimeri, AR-52 gideriminde etkin bir adsorban olarak değerlendirilmiştir.
- Adsorpsiyon için en uygun koşul pH 2 olarak belirlenmiştir.
- Başlangıç konsantrasyonu arttıkça q_e değerinde artış gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

1. Ahmadian, M., & Jaymand, M. (2023). Interpenetrating polymer network hydrogels for removal of synthetic dyes: A comprehensive review. *Coordination Chemistry Reviews*, 486, 215152.
2. Arslan-Alaton, I., Gürsoy, B. H., & Schwegler, S. (2009). Characterization and treatability of simulated reactive dye-bath effluents containing vinyl sulphone and azo dyes. *Chemical Engineering Journal*, 148(1), 89–96.
3. Bhattacharya, S., & Shunmugam, R. (2020). Polymer hydrogels—A versatile platform for multifunctional applications: A review. *Materials Science and Engineering*
4. Crini, G. (2006). Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Bioresource Technology*, 97(9), 1061–1085.
5. Crini, G., & Badot, P. M. (2008). Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes: A review. *Progress in Polymer Science*, 33(4), 399–447.
6. Crini, G., Peindy, H. N., Gimbert, F., & Robert, C. (2007). Removal of C.I. Basic Green 4 (Malachite Green) from aqueous solutions by adsorption using cyclodextrin-based adsorbent: Kinetic and equilibrium studies. *Separation and Purification Technology*, 53(1), 97–110.
7. Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10.
8. Forgacs, E., Cserháti, T., & Oros, G. (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters: A review. *Environment International*, 30(7), 953–971.
9. Guembe-García, M. vd. (2024). Efficient extraction of textile dyes using reusable acrylic-based smart polymers. *Journal of Hazardous Materials*, 476, 135006.
10. Gupta, V. K., & Suhas. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313–2342.
11. Ishak, S. A. vd. (2020). The application of modified natural polymers in toxicant dye compounds wastewater: A review. *Water*, 12(7), 2032.
12. Kong, S., Ji, Y., Liu, Y., & Zhang, Y. (2013). Removal of anionic dyes from aqueous solution by magnetic polymer multifunctional microspheres with surface modification. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 585–593.
13. Kyzas, G. Z., Lazaridis, N. K., & Bikiaris, D. N. (2013). Optimization of chitosan and β -cyclodextrin molecularly imprinted polymers synthesis for dye adsorption. *Carbohydrate Polymers*, 91(1), <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.08.016>
14. Li, Y. vd. (2016). Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on the adsorption of phenol onto graphene. *Materials Research Bulletin*, 71, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.11.034>
15. Niaounakis, M. (2013). Biopolymers: Reuse, recycling, and disposal.

- William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-02583-5>
16. Robinson, T. vd. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77(3), 247–255. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00080-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00080-8)
 17. Rosa, S. vd. (2007). Cross-linked quaternary chitosan as an adsorbent for the removal of reactive dye from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 143(1–2), 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.050>
 18. Shen, C. vd. (2019). A crosslinking-induced precipitation process for the simultaneous removal of poly(vinyl alcohol) and reactive dye: The importance of covalent bond forming and magnesium coagulation. *Chemical Engineering Journal*, 374, 904–914. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.203>
 19. Slokar, Y. M., & Le Marechal, A. M. (1998). Methods of decoloration of textile wastewaters. *Dyes and Pigments*, 37(4), 335–356. [https://doi.org/10.1016/S0143-7208\(97\)00075-2](https://doi.org/10.1016/S0143-7208(97)00075-2)
 20. Şengil, İ. A., & Özacar, M. (2009). The decolorization of C.I. Reactive Black 5 in aqueous solution by electrocoagulation using sacrificial iron electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2–3), 1369–1376. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.069>
 21. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2015). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Ankara: Resmî Gazete.
 22. Weber, W. J., & Morris, J. C. (1963). Kinetics of adsorption on carbon from solution. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, 89(2), 31–60. <https://doi.org/10.1061/JSEDAI.0000430>
 23. Yaashikaa, P. R., Rajendran, S. M., Singh, L., Saravanan, A., & Show, P. L. (2022). Review on biopolymers and composites as adsorbents in removal of environmental pollutants. *Environmental Research*, 212, 113114. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113114>
 24. Zhang, L., Bai, J., Liang, H., & Guo, L. (2014). Preparation and characterization of polyacrylonitrile and polyacrylonitrile/β-cyclodextrins microspheres. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 53(1), 54–68. <https://doi.org/10.1080/00222348.2013.808519>
 25. Zhang, W., Zhang, Z., & Gao, H. (2017). A novel crosslinked carboxymethyl cellulose–chitosan hydrogel beads for efficient removal of methyl orange dye. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1206–1214. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.064>

Bölüm 5

FEN BİLİMLERİ ALAN BECERİLERİ VE BİLEŞENLERİ

Çağın KAMIŞÇIOĞLU¹

¹ Doç. Dr., Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü,
ORCID:0000-0003-2610-6447, gunesc@ankara.edu.tr

Giriş

Fen bilimleri, doğal dünyanın işleyişini bilimsel yöntemlerle açıklamayı amaçlayan akademik disiplinler grubudur. Fizik, kimya, biyoloji, astronomi, jeoloji gibi alanları kapsamaktadır. Bunlar içinde fizik biliminin önemli bir yeri bulunmaktadır. Fizik, evrendeki doğal olayları inceleyen, modelleyen ve somutlaştıran deneysel bir bilimdir. Maddenin derinliklerine inmekte, uzay, zaman, madde ve enerji arasındaki ilişkileri araştırmaktadır. Atom, elektron gibi maddenin yapısını oluşturan en küçük yapı taşları ile evrendeki yıldız ve galaksilerin işleyişine kadar geniş bir alana yönelmektedir. Fizik bilimi sadece evreni incelemekle kalmaz, aynı zamanda bilimsel düşünme becerilerine de odaklanmaktadır. Bunlar araştırma, sorgulama, gözlem, deney, sınıflandırma, ölçme, tahmin, çıkarım, model oluşturma gibi beceriler olmaktadır. Bu becerilere bilimsel süreç becerileri de denilmektedir (Kamışcıoğlu 2020;2023).

Bilimsel süreç becerileri, bilim insanlarının çalışmalarında kullandıkları becerilerdir. Bunlara bilimsel yöntemlerle bilgiye ulaşma ve bilgi üretme becerileri de denilmektedir. Fen bilimlerinde önemli bir yeri bulunmaktadır. Alandaki kaynaklar incelendiğinde bu konuyla ilgili çok sayıda araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bu araştırmalarda bilimsel süreç becerilerinin fen bilimlerinde öğrenmeyi kolaylaştırdığı, öğrencilere bilimsel araştırma yol ve yöntemlerini kazandırdığı vurgulanmaktadır (Arslan & Tertemiz, 2004). Ayrıca her düzeydeki öğretim programlarına bu becerilerin yerleştirilmesi ve iyi öğretilmesi gerektiği dile getirilmektedir. Bazı araştırmalarda ise bilimsel süreç becerilerinin yeterince geliştirilemediği belirtilmektedir. Örneğin Temiz (2001) tarafından yapılan araştırmada, ilköğretimini başarıyla tamamlayarak liseye gelen öğrencilerin bilimsel süreç becerilerinin düşük düzeyde olduğu, lise 1. sınıf fizik dersinin öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştirmede yetersiz olduğu tespit edilmiştir (Temiz, 2001). Bir başka araştırmada ise öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini edinebilme düzeylerinin orta seviyede olduğu saptanmıştır (Karar, 2011). Bu nedenle fizik öğretiminin başarılı olması için nitelikli ve işlevsel bir program hazırlamak, öğrencilerin ilgi ve ihtiyaçları doğrultusunda beceriler belirlemek çok önemli olmaktadır.

Ülkemizde eğitim ve öğretimin niteliğini artırmak amacıyla okullarda uygulanan öğretim programları belirli aralıklarla güncellenmektedir. Programlardaki derslerin kapsam ve içeriklerinin bilimsel, güncel ve teknolojik gelişmelere göre yenilenmesi, öğrenci ihtiyaçlarına daha duyarlı olmasını getirmektedir. Bu anlayışla 2024 Ortaöğretim Fizik Dersi Öğretim Programı (9,10,11 ve 12.Sınıflar) ile 2024 Yılı Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (3,4,5,6,7 ve 8.Sınıflar) hazırlanmıştır. Programlarda MEB tarafından geliştirilen Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli temel

alınmıştır. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Öğretim Programları Ortak Metninde; *öğretim programlarının temel yaklaşımı, öğrenci profili, Erdem-Değer-Eylem Çerçevesi, Beceriler Çerçevesi bileşenlerinin bir araya gelerek oluşturduğu sistematik bir bütüncül eğitim modelidir*” cümlesiyle açıklanmıştır (MEB, 2025). Fizik Dersi Öğretim Programının girişinde ise Fizik Programının “*Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Ortak Metni*” temel alınarak yapılandırıldığı, belirtilmiştir. Ayrıca Fizik Dersi Öğretim Programı ile öğrencilerin fizik bilimini anlayarak bilimsel bakış açılarını ve düşünce yapılarını geliştirmeleri hedeflendiği, vurgulanmıştır (MEB, 2024b). Programlarda bazı yenilikler yapılmış, bilimsel süreç becerileri yerine Fen Bilimleri Alan Becerileri (FBAB) belirlenmiştir. Alan becerileri okul öncesinden lise kademesine tanımlanmış, her beceri alanını birbiriyle ilişkilendirerek ilkokul, ortaokul ve lise düzeyinde verilmesi öngörülmüştür.

Maarif Modeli Ortak Metninde; Fen Bilimleri Alan Becerileri (FBAB) başlığı altında öğrencilere kazandırılacak 13 beceri verilmiş, her biri açıklanmış ve süreç bileşenleri tek tek sıralanmıştır. Alan becerileri “*Öğrencilerden bilimsel araştırma süreçlerini yürütebilme ve değerlendirebilme, elde edilen kanıtları analiz edebilme, yorumlayabilme ve sonuçları farklı gösterim biçimleri ile temsil edebilme becerisine sahip olmaları beklenmektedir. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli’nde bilimsel gözlem, sınıflandırma, bilimsel gözleme dayalı tahmin, bilimsel veriye dayalı tahmin, operasyonel tanımlama, hipotez oluşturma, deney yapma, bilimsel çıkarım yapma, bilimsel model oluşturma, tümevarımsal akıl yürütme, tümdengelimsel akıl yürütme, kanıt kullanma ve bilimsel sorgulama olmak üzere on üç fen bilimleri alan becerisine yer verilmiştir*” cümlesiyle açıklanmıştır. Böylece Fen Bilimleri Alan Becerilerinin ilkokul 3. sınıftan lise son sınıfa kadar öğretim programlarında verilmesi öngörülmüştür (MEB, 2024a; MEB 2025).

Programlarda Fen Bilimleri Alan Becerilerinin öğretimine ilişkin açıklamalara da yer verilmiştir. Örneğin 2024 Fizik Programında; “*Fen bilimlerinde kazandırılması amaçlanan alan becerileri, kavramsal beceriler ve üst düzey düşünme becerileri; fen bilimlerine uygun STEM, 5E, problem dayalı öğrenme, argümantasyona dayalı öğrenme vb. model, yöntem ve tekniklerle programın yapısına uygun şekilde öğrenme-öğretme uygulamalarına yansıtılmalıdır*” denilmiştir. Ayrıca “*Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli’nde becerilerin gelişimi; zihinsel, sosyal-duygusal, fiziksel ve ahlaki boyutları içeren bütüncül bir yapıda ele alınmıştır*” açıklaması yapılmıştır (MEB, 2025). Yukarıdaki açıklamalardan hareketle Fen Bilimleri Alan Becerilerinin 2024 Fizik Dersi Öğretim Programı (9,10,11 ve 12.Sınıflar) ile bunun temeli olan 2024 Yılı Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programına (3,4,5,6,7 ve 8.Sınıflar) dağılım durumu merak konusu olmuştur. Araştır-

ma böyle bir ihtiyaçtan doğmuştur. Araştırmada “Millî Eğitim Bakanlığı 2024 Ortaöğretim Fizik Dersi Öğretim Programı ile 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programında verilen Fen Bilimleri Alan Becerilerinin türleri, bileşenleri ve sayıları nedir? Bunların okul kademelerine ve sınıflara dağılımı nedir? Program amaçlarıyla uyumlu mudur?” sorularına cevap aranmıştır.

Yöntem

Araştırmada ilkökul, ortaokul ve lise düzeyinde öğrencilere kazandırılacak fen bilimleri alan becerilerini belirlemek için 2024 yılında uygulamaya konulan öğretim programları incelenmiştir. Araştırmada nitel araştırma yöntemi benimsenmiştir. Bilindiği gibi nitel araştırma yöntemi görüşme, gözlem veya dokümanlar yoluyla nitel veriler toplanarak gerçekleştirilmektedir (Yıldırım ve Şimşek, 2008). Bu yöntem doğrultusunda Millî Eğitim Bakanlığı tarafından yayınlanan öğretim programları ve resmi dokümanlardan gerekli veriler toplanmıştır. Çalışma materyali olarak Millî Eğitim Bakanlığı 2024 Yılı Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (3,4,5,6,7 ve 8.Sınıflar), 2024 yılı Ortaöğretim Fizik Dersi Öğretim Programı (9,10,11 ve 12.Sınıflar) ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Öğretim Programları Ortak Metni ele alınmıştır. Bu Ortak Metinde öğrencilere kazandırılacak beceriler “Alan Becerileri, Kavramsal Beceriler, Eğilimler, Sosyal-Duygusal Öğrenme Becerileri ve Okuryazarlık Becerileri” başlıkları altında sıralanmıştır. Bu araştırmada alan becerileri üzerinde durulduğundan diğer beceriler ve eğilimler araştırma dışında tutulmuştur. Yani sadece Fen Bilimleri Alan Becerileri (FBAB) çalışma kapsamına alınmıştır. Lise düzeyinde ise sadece Fizik Dersi Öğretim Programı incelenmiştir. İlgili programlara MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı web sayfasından erişilmiştir. Programlardaki beceriler sırasıyla incelenmiş, beceri türleri, becerilerin okul ve sınıf düzeylerine göre dağılımı belirlenmiştir. Elde edilen nitel ve nicel bulgular tablolara aktararak yorumlanmıştır.

Bulgular

Araştırma sonucu elde edilen bulgular “Fen Bilimleri Alan Becerileri, Becerilerin Programlarla Uyumu, Becerilerin Kademelere ve Sınıflara Göre Dağılımı ” başlıkları altında sunulmuştur. Metin içinde ve tablo başlıklarında Fizik Dersi Öğretim Programı için 2024 FİDÖP, Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı için 2024 FEBDÖP kısaltması kullanılmıştır. Alan becerilerinin tablolarda kolay izlenmesi açısından Programdaki sıralama esas alınmıştır.

Fen Bilimleri Alan Becerileri: MEB Maarif Modeli Öğretim Programları Ortak Metni ile 2024 FİDÖP ve 2024 FEBDÖP’te verilen alan

becerileri Tablo 1’de sıralanmıştır.

Tablo 1’de de görüldüğü gibi öğrencilere kazandırılacak Fen Bilimleri Alan Becerileri 1’den 13 ‘e kadar, basitten karmaşığa doğru sıralanmış, her biri tek tek açıklanmış ve süreç bileşenlerinin alt işlemleri verilmiştir. Alt işlemler birbirine yakın, binişik ve ortak aşamaları içerdiğinden burada yer verilmemiştir. Bunların her öğretim kademesinde bütüncül olarak verilmesi öngörülmüştür. Ayrıca araştırmada alan becerilerinin bilimsel süreç becerilerini kapsama durumu incelenmiştir. Bilindiği gibi bilimsel süreç becerileri, bir problemi belirleme, üzerinde düşünme, çözüm üretme ve bilgiyi zihinde yapılandırma sürecinde kullanılan düşünme becerileridir. Bu beceriler uzmanlarca farklı başlıklar altında tanımlanmaktadır. Ancak genel olarak temel ve birleştirilmiş beceriler şeklinde iki başlık altında toplanmaktadır. Temel beceriler; gözlem yapma, ölçme, sınıflandırma, tahmin etme, çıkarım yapma ve bilimsel iletişim şeklinde verilmektedir. Birleştirilmiş beceriler ise değişkenleri belirleme ve kontrol etme, hipotez kurma, verileri yorumlama, deney yapma, model oluşturma gibi sıralanmaktadır (Kaptan, 1999). Bunlardan ölçme, bilimsel iletişim, değişkenleri belirleme ve kontrol etme, verileri yorumlama gibi becerilere Fen Bilimleri Alan Becerileri arasında doğrudan yer verilmediği görülmektedir. Buna karşın Tümevarımsal Akıl Yürütme gibi daha farklı beceriler bulunmaktadır.

No	Fen Bilimleri Alan Becerileri
1	Bilimsel Gözlem: Bilgiye ulaşmada veya bilgiyi yapılandırmada tüm duyularla doğrudan ya da dolaylı olarak nesne, olgu, olay ve süreçlerle ilgili veriler toplamayı ifade eder.
2	Sınıflandırma: Bir nesne, canlı, olay ve olguya ait niteliklerin belirlenmesi; benzerliklerinin, farklılıklarının ve aralarındaki (örüntüyle ilgili) ilişkilerin belirlenmesi ve bunlara göre gruplandırılması ya da ayrıştırılmasını ifade eder.
3	Bilimsel Gözleme Dayalı Tahmin: Mevcut durum/olay ile ilgili ön gözlemlerden veya deneyimlerden yola çıkarak çıkarım yapmayı ve buna ilişkin yargıda bulunmayı ifade eder.
4	Bilimsel Veriye Dayalı Tahmin: Mevcut durum/olaya ilişkin eldeki veriler üzerinden hesaplamalar yapılarak yargıda bulunmayı ifade eder.
5	Operasyonel Tanımlama: Örneklerin ilişkilendirilerek veya bir şeyin nasıl çalıştığına ilişkin düşüncelerin paylaşılarak bir kavramın anlaşılmasının gösterilmesini ifade eder.
6	Hipotez Oluşturma: Belirlenen bir problemi çözmek amacıyla değişkenler arasındaki ilişkileri açıklamaya çalışan bilimsel, basit ve sınanabilir özelliğe sahip önermeleri ifade eder.
7	Deney Yapma: Salt gözlemin ötesine geçerek ölçme verileri ve onların analizlerini kullanarak bir sonuca ulaşma sürecini ifade eder.
8	Bilimsel Çıkarım Yapma: Gözlem verilerine dayanan destekleyici kanıtlara ve geçmiş deneyimlere dayalı bir sonuca ulaşma ve bir yargıda bulunmayı ifade eder.
9	Bilimsel Model Oluşturma: Zihinsel aşamalar içeren bilimsel işlemler bütünü ifade eder.
10	Tümevarımsal Akıl Yürütme: Deneyimlere dayalı gözlemlerden veya deneyssel olarak çıkarılmış önermelerden genellemelere ulaşmak yani deneyimlerden genelleme yoluyla bilgi üretme yöntemini ifade eder.
11	Tümdengelim Akıl Yürütme: Mantıksal çıkarım adımları izlenerek genel önermelerden yola çıkılarak özel önermelerin elde edilme sürecini ifade eder.
12	Kanıt Kullanma: Bilimsel sorgulama, argümantasyon ve problem çözme süreçlerinin temel becerisini ifade eder.
13	Bilimsel Sorgulama: Bilim insanlarının gözlemlenebilir bilimsel nitelikteki bir konuyu, sorunu veya olayı anlamak ve kanıtlara dayalı olarak açıklamak için kullandıkları sistematik araştırma yöntemleri ve stratejilerinin bütünü ifade eder (MEB,2025).

Tablo 1. Fen Bilimleri Alan Becerileri

Becerilerin Programlarla Uyum: Araştırmada Fen Bilimleri Alan Becerileri ile 2024 FEBDÖP ve 2024 FİDÖP'te verilen Program amaçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen önemli bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı Amaçları	İstenilen Beceriler
Bilimin doğasına ilişkin anlayış ile bilimi takdir etmeleri, bilimsel etik ilkelere ve bilimsel düşünme becerilerine sahip olmaları,	Bilimsel düşünme becerileri
Sosyobilimsel konulara merak duymaları, araştırma yapmaları, sorgulamaları, disiplinler arası bakış açısıyla yenilikçi çözümler geliştirmeleri,	Araştırma, Sorgulama, Yenilikçi çözüm
Yaşadıkları çevreye ve karşılaştıkları olaylara ve durumlara bilimsel bakış açısını merkeze alarak veriye dayalı karar vermeleri	Bilimsel bakış, Veriye dayalı karar verme
Yüksek bilişsel ve duyuşsal farkındalığa sahip, okuryazarlık becerilerini etkin kullanan ve eleştirel bakış açısına sahip bireyler olmaları (MEB,2024a)	Eleştirel bakış ve düşünme
2024 Fizik Dersi Öğretim Programı Amaçları	İstenilen Beceriler
Bilimsel dayanakları olan kararlar vermeleri,	Karar verme
Fizik bilimine özgü alan becerilerini ve kavramsal becerileri kullanarak bilimsel bilgi üretmeleri ve problemleri çözmeleri,	Bilgi üretme
Alana özgü uygulamalarda fikirlerine ve zihinsel faaliyetlerine bilimsel bakış açısı ile yön vermeleri,	Problem çözme
Araştırma ve sorgulamaya dayalı fikirler üretmeleri,	Bilimsel bakış
Araştırma, inceleme, eleştirel düşünme, problem çözme ve karar verme becerilerini her alanda kullanabilmeleri (MEB,2024b).	Araştırma, Sorgulama
	Araştırma, İnceleme
	Eleştirel düşünme, Problem çözme, Karar verme

Tablo 2. Fen Bilimleri Alan Becerileri ile 2024 FEBDÖP ve 2024 FİDÖP Amaçları

Tablo 2’de 2024 FEBDÖP ve 2024 FİDÖP’te beceri içerikli amaç maddeleri sıralanmış, karşısına da istenilen beceriler yazılmıştır. Program amaçlarında kazandırılması istenen “*inceleme, araştırma, eleştirel düşünme, problem çözme, karar verme, bilimsel bakış, bilgi üretme*” gibi beceriler Fen Bilimleri Alan Becerileri içinde bulunmamaktadır. Bu durum Programların amaçlarıyla alan becerileri arasında yeterli uyum olmadığını göstermektedir. Bir başka ifadeyle Programların amaçlarını karşılayacak bazı önemli ve temel alan becerileri listede yer almamaktadır. Buradan alan becerilerinin Program amaçlarını gerçekleştirmeye sınırlı düzeyde katkı sağlayacağı söylenebilir.

Becerilerin Kademelere Dağılımı: Araştırmada Fen Bilimleri Alan Becerilerinin ilkökul, ortaokul ve lisede nasıl verildiği incelenmiş ve so-

nuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir.

No	Fen Bilimleri Alan Becerileri	İlkokul	%	Ortaokul	%	Lise	%
1	Bilimsel Gözlem	1	4.3	6	8.5	3	7.1
2	Sınıflandırma	2	8.7	12	16.9	4	9.5
3	Bilimsel Gözleme Dayalı Tahmin	3	13.1	3	4.2	1	2.4
4	Bilimsel Veriye Dayalı Tahmin	1	4.3	2	2.8	-	-
5	Operasyonel Tanımlama	1	4.3	2	2.8	1	2.4
6	Hipotez Oluşturma	1	4.3	5	7.1	-	-
7	Deney Yapma	4	17.5	9	12.7	4	9.5
8	Bilimsel Çıkarım Yapma	3	13.1	15	21.1	10	23.8
9	Bilimsel Model Oluşturma	1	4.3	9	12.7	2	4.8
10	Tümevarımsal Akıl Yürütme	2	8.7	4	5.6	13	30.9
11	Tümdengelimsel Akıl Yürütme	-	-	1	1.4	1	2.4
12	Kanıt Kullanma	1	4.3	1	1.4	2	4.8
13	Bilimsel Sorgulama	3	13.1	2	2.8	1	2.4
Toplam		23	100	71	100	42	100

Tablo 3. Fen Bilimleri Alan Becerilerinin Kademelere Göre Dağılımı

Tablo 3'te, 2024 FEBDÖP ve 2024 FİDÖP'te verilen Fen Bilimleri Alan Becerileri kademelere göre sıralanmıştır. İlkokul kademesinde 23, ortaokulda 71 ve lise düzeyinde 42 alan becerisi verilmiştir. En fazla alan becerisinin ortaokul düzeyinde olduğu görülmektedir. Ortaokulda diğer kademelere göre iki-üç kat fazla beceri verilmiştir. Bu farklı rakamlar alan becerilerinin dağıtımında öğrenci gelişim durumunun dikkate alınmadığını göstermektedir. Çünkü ortaokulda yoğun verilen beceriler lisede yarı yarıya düşmektedir. Bazı düzeylerde beceri sayısı ya çok yüksek ya da çok düşüktür. Örneğin “*Bilimsel Sorgulama*” becerisi ilkokulda 3 kez, ortaokulda 2 kez, lisede 1 kez verilmiştir. Oysa tam tersine öğrencilerde bu beceriyi geliştirmek için ortaokuldan liseye artırılarak verilmesi gerekirdi. Yine “*Hipotez Oluşturma*” becerisi, ilkokulda 1 kez, ortaokulda 5 kez, lisede ise hiç verilmemiştir. Benzer durum “*Bilimsel Veriye Dayalı Tahmin*, *Bilimsel Model Oluşturma* becerilerinde de görülmektedir. *Deney Yapma* ile *Operasyonel Tanımlama* becerileri ilkokul ile lise düzeyinde aynı sayıda verilmiştir. Bu durum alan becerilerinin kademelere göre sistemli bir şekilde artırılarak verilmediğini, rastgele dağıtıldığı ortaya koymaktadır. Oysa becerilerin verilmesinde kademe düzeylerine, öğrenci

gelişimine ve basitten karmaşığa doğru bir yol izlenmesi gerekirdi.

Becerilerin Sınıflara Dağılımı: Araştırmada Fen Bilimleri Alan Becerilerinin ilkökul, ortaokul ve lise düzeyinde sınıflara göre nasıl dağıtıldığı da incelenmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 4, 5 ve 6’da verilmiştir. Bulguların verilmesinde önce ilkökuldan başlanmış ardından ortaokul ve liseye geçilmiştir.

No	Fen Bilimleri Alan Becerileri	3. Sınıf	4.Sınıf	Toplam	%
1	Bilimsel Gözlem	1	-	1	4.3
2	Sınıflandırma	2	-	2	8.7
3	Bilimsel Gözleme Dayalı Tahmin	1	2	3	13.1
4	Bilimsel Veriye Dayalı Tahmin	1	-	1	4.3
5	Operasyonel Tanımlama	1	-	1	4.3
6	Hipotez Oluşturma	-	1	1	4.3
7	Deney Yapma	1	3	4	17.5
8	Bilimsel Çıkarım Yapma	2	1	3	13.1
9	Bilimsel Model Oluşturma	-	1	1	4.3
10	Tümevarımsal Akıl Yürütme	1	1	2	8.7
11	Tümdengelsel Akıl Yürütme	-	-	-	-
12	Kanıt Kullanma	1	-	1	4.3
13	Bilimsel Sorgulama	-	3	3	13.1
Toplam		11	12	23	100

Tablo 4.İlkokulda Fen Bilimleri Alan Becerilerinin Sınıflara Dağılımı

Tablo 4’te 2024 FEBDÖP’te verilen Fen Bilimleri Alan Becerileri 3. ve 4 sınıflara göre dağılımı sunulmuştur. Programdaki toplam 23 alan becerisi sınıflara göre dengeli olarak dağıtılmıştır. En fazla *Deney Yapma* becerisi verilmiş, bunu “*Bilimsel Gözleme Dayalı Tahmin, Bilimsel Çıkarım ve Bilimsel Sorgulama*” becerileri izlemiştir. Bu dağılım ilkökul düzeyi için uygun görülmüştür. Ortaokul düzeyinde sınıflara dağılım bulguları Tablo 5’te verilmiştir.

No	Fen Bilimleri Alan Becerileri	5. Sınıf	6. Sınıf	7. Sınıf	8. Sınıf	Toplam	%
1	Bilimsel Gözlem	1	2	2	1	6	8.5
2	Sınıflandırma	5	1	3	3	12	16.9
3	Bilimsel Gözleme Dayalı Tahmin	1	1	-	1	3	4.2
4	Bilimsel Veriye Dayalı Tahmin	-	2	-	-	2	2.8
5	Operasyonel Tanımlama	1	-	-	1	2	2.8
6	Hipotez Oluşturma	1	1	1	2	5	7.1
7	Deney Yapma	1	3	2	3	9	12.7
8	Bilimsel Çıkarım Yapma	3	5	2	5	15	21.1
9	Bilimsel Model Oluşturma	3	2	2	2	9	12.7
10	Tümevarımsal Akıl Yürütme	1	-	1	2	4	5.6
11	Tümdengelimsel Akıl Yürütme	-	1	-	-	1	1.4
12	Kanıt Kullanma	-	1	-	-	1	1.4
13	Bilimsel Sorgulama	-	-	1	1	2	2.8
Toplam		17	19	14	21	71	100

Tablo 5.Ortaokulda Fen Bilimleri Alan Becerilerinin Sınıflara Dağılımı

Tablo 5’te 2024 FEBDÖP’te verilen Fen Bilimleri Alan Becerilerinin 5-8.sınıflara dağılımı sunulmuştur. Programda ortaokul kademesinde 71 alan becerisi verilmiştir. Programdaki alan becerilerin % 21.1’ini “*Bilimsel Çıkarım Yapma*” becerisi oluşturmakta, bunu % 16.9 ile “*Sınıflandırma*” becerisi izlemektedir. Bu iki becerinin toplamı % 48’i bulmaktadır. Yani ortaokul kademesindeki becerilerin yarısını iki beceri oluşturmaktadır. Bunlara “*Deney Yapma ve Bilimsel Model Oluşturma*” becerileri de eklendiğinde 4 beceri toplam becerinin %73.4’ ünü oluşturmaktadır. Diğer 9 beceri ise çok az ve kesintili olarak verilmektedir. Alan becerilerinin lise düzeyindeki sınıflara göre dağılımına ilişkin bulgular Tablo 6’da verilmiştir.

No	Fen Bilimleri Alan Becerileri	9. Sınıf	10. Sınıf	11. Sınıf	12. Sınıf	Toplam	%
1	Bilimsel Gözlem	1	-	2	-	3	7.1
2	Sınıflandırma	2	1	-	1	4	9.5
3	Bilimsel Gözleme Dayalı Tahmin	-	1	-	-	1	2.4
4	Bilimsel Veriye Dayalı Tahmin	-	-	-	-	-	-
5	Operasyonel Tanımlama	-	1	-	-	1	2.4
6	Hipotez Oluşturma						
7	Deney Yapma	1	-	1	2	4	9.5
8	Bilimsel Çıkarım Yapma	3	2	3	2	10	23.8
9	Bilimsel Model Oluşturma	-	1	1	-	2	4.8
10	Tümevarımsal Akıl Yürütme	4	4	2	3	13	30.9
11	Tümdengelimsel Akıl Yürütme	-	-	1	-	1	2.4
12	Kanıt Kullanma	-	1	-	1	2	4.8
13	Bilimsel Sorgulama	-	-	1	-	1	2.4
	Toplam	11	11	11	9	42	100

Tablo 6. Lise FİDÖP Fen Bilimleri Alan Becerilerinin Sınıflara Dağılımı

Tablo 6’da görüldüğü gibi MEB 2024 Fizik Dersi Öğretim Programında verilen alan becerilerin %30,9’unu “Tümevarımsal Akıl Yürütme” becerisi oluşturmaktadır. Bunu % 23,8 ile “Bilimsel Çıkarım Yapma” becerisi izlemektedir. Bu iki beceri 23 kez tekrarlanmakta ve oran olarak % 54,7’e ulaşmaktadır. Bir başka ifadeyle 2024 FDÖP 4 yıl boyunca iki alan becerisine odaklandığı görülmektedir. Geriye kalan 9 becerinin oranı ise % 45,3’tür. Bunlar sınıflandırma, deney yapma, bilimsel gözlem, kanıt kullanma, bilimsel model oluşturma, tümdengelimsel akıl yürütme, operasyonel tanımlama, bilimsel gözleme dayalı tahmin ve sorgulama becerileridir. Bu durum alan becerilerinin verilişinde büyük bir dengesizlik olduğunu göstermektedir. İki beceri 23 kez tekrarlanırken 9 beceri toplam 19 kez verilmektedir. Ayrıca bu 9 becerinin sınıflara dağılımı rastgele yapılmıştır. Oysa fizik dersinin zorunlu ve temel becerisi olan “deney yapma, bilimsel gözlem, bilimsel model oluşturma, bilimsel gözleme dayalı tahmin, kanıt kullanma, sorgulama” gibi becerilerin her sınıf düzeyinde daha fazla tekrarlanması gerekirdi. Bu durum Programda Fen Bilimleri Alan Becerilerinin hem yetersiz hem de dengesiz verildiğini göstermektedir.

Araştırmada Fen Bilimleri Alan Becerilerinden 2'sinin 2024 Fizik Dersi Programında hiç verilmediği görülmüştür. Bunlar Fizik dersinde çok önemli ve temel olan “*Bilimsel Veriye Dayalı Tahmin ve Hipotez Oluşturma*” becerileridir. Bunların Programda verilmemesi önemli bir eksiklik olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Araştırmada Milli Eğitim Bakanlığı 2024 Ortaöğretim Fizik Dersi Öğretim Programı ile 2024 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programında verilen Fen Bilimleri Alan Becerilerinin türleri, bileşenleri ve sayıları, okul kademelerine ve sınıflara göre dağılımı ve Program amaçlarıyla uyumu incelenmiştir. Bu amaçla 2024 FİDÖP, 2024 FEBDÖP ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Öğretim Programları Ortak Metni analiz edilmiştir. Ortak Metinde öğrencilere kazandırılacak 13 Fen Bilimleri Alan Becerisi verilmiş, bunlar basitten karmaşığa doğru sıralanmış, her biri tek tek açıklanmış ve süreç bileşenlerinin alt işlemleri listelenmiştir. Bunların her öğretim kademesinde bütüncül olarak verilmesi öngörülmüştür.

Programlarda verilen Fen Bilimleri Alan Becerilerinin bilimsel süreç becerilerini tam olarak kapsamadığı, bunlardan *ölçme, bilimsel iletişim, değişkenleri belirleme ve kontrol etme, verileri yorumlama* gibi becerilere Fen Bilimleri Alan Becerileri arasında yer verilmediği görülmüştür. Buna karşın Tümevarımsal Akıl Yürütme gibi daha farklı beceriler ele alınmıştır. Araştırmada 2024 FİDÖP ve 2024 FEBDÖP Program amaçlarında öğrencilere kazandırılması istenen “*inceleme, araştırma, eleştirel düşünme, problem çözme, karar verme, bilimsel bakış, bilgi üretme*” gibi becerilerin de Fen Bilimleri Alan Becerileri içinde yer verilmediği saptanmıştır. Böylece Programların amaçları ile alan becerileri arasında yeterli uyumun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Fen Bilimleri Alan Becerilerinin kademelere göre dağılımında önemli sonuçlara ulaşılmıştır. İlkokul kademesinde 23, ortaokulda 71 ve lise düzeyinde 42 alan becerisi verildiği, en fazla alan becerisinin ortaokul düzeyinde olduğu görülmüştür. Buradan alan becerilerinin dağılımında öğrenci gelişim durumu ile kademelerin dikkate alınmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Ortaokulda verilen bazı becerilerin lisede yarı yarıya düştüğü, *bilimsel sorgulama* becerisinin ilkokulda 3, ortaokulda 2, lisede 1 kez verildiği, *hipotez oluşturma* becerisinin, ilkokulda 1, ortaokulda 5 kez, lisede ise hiç verilmediği saptanmıştır. Benzer durumlar “*Bilimsel Veriye Dayalı Tahmin ve Bilimsel Model Oluşturma*” becerilerinde de söz konusudur. *Deney Yapma* ile *Operasyonel Tanımlama* becerileri ilkokul ile lise düzeyinde aynı sayıda verilmiştir. Sonuç olarak alan becerilerinin kademelere göre ve düzeye uygun verilmediği, rastgele dağıldığı belirlenmiştir.

İlkokul düzeyinde Fen Bilimleri Alan Becerilerinin sınıflara dağılımının dengeli ve yeterli olduğu, ancak ortaokul düzeyinde dengesizlikler olduğu bulunmuştur. Programda Ortaokul kademesinde 71 alan becerisi verilmiştir. Bu becerilerin % 48'ini “*Bilimsel Çıkarım Yapma ve Sınıflandırma*” becerisinin oluşturduğu belirlenmiştir. Yani ortaokuldaki alan becerilerinin yarısı iki beceriden oluşmaktadır. Diğer 9 beceri ise çok az ve kesintili olarak verilmiştir. Alan becerilerinin lise düzeyindeki sınıflara dağılımında da benzer durumlar söz konusudur. MEB 2024 Fizik Dersi Öğretim Programında verilen alan becerilerin %30,9'unu “*Tümevarımsal Akıl Yürütme*” becerisi, % 23,8'ini ise “*Bilimsel Çıkarım Yapma*” becerisi almıştır. Bu iki beceri 23 kez tekrarlanmış ve toplam % 54,7'e ulaşmıştır. Bir başka ifadeyle 2024 FDÖP 4 yıl boyunca iki alan becerisine odaklanmış, geriye kalan 9 beceri ise % 45,3 oranında verilmiştir. Bunlar *sınıflandırma, deney yapma, bilimsel gözlem, kanıt kullanma, bilimsel model oluşturma, tümdengelimsel akıl yürütme, operasyonel tanımlama, bilimsel gözleme dayalı tahmin ve sorgulama* becerileridir. Bu 9 becerinin sınıflara dağılımı rastgele yapılmıştır. Oysa fizik dersinin zorunlu ve temel becerisi olan “*deney yapma, bilimsel gözlem, bilimsel model oluşturma, bilimsel gözleme dayalı tahmin, kanıt kullanma, sorgulama*” gibi becerilerin her sınıf düzeyinde daha fazla tekrarlanması gerekirdi. Kısaca Programda Fen Bilimleri Alan Becerilerinin hem yetersiz hem de dengesiz verildiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum önemli bir eksiklik olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, Fen Bilimleri Alan Becerileri yönüyle MEB 2024 Fizik Dersi Öğretim Programı (9,10,11 ve 12.Sınıflar) ile bunun temeli olan 2024 Yılı Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programının (3,4,5,6,7 ve 8.Sınıflar) gözden geçirilmesi, becerilerin kademeler ve sınıflar arasında dengeli dağıtılması, sadece birkaç beceriye odaklanmanın önlenmesi ve alan becerilerinin sayılarının artırılması önerilmektedir. Ayrıca gözlem, deney, araştırma, sorgulama, eleştirel düşünme, problem çözme, karar verme, bilimsel bakış, bilgi üretme gibi bilimsel süreç becerilerine daha fazla yer verilmesi, Program amaçlarıyla beceriler arasında uyumun sağlanması gerekmektedir. Böylece öğrencilerin fizik ve fen bilgisi derslerindeki başarıları daha da artırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Arslan, A.& Tertemiz, N. (2004). İlköğretimde Bilimsel Süreç Becerilerinin Geliştirilmesi. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 2(4), 479-492.
- Kamışcioğlu, Ç.(2020). *Parçacık Fiziğindeki Gelişmeler ve Yönelimler*, Güncel Fen Bilimleri Çalışmaları, Ankara: Akademisyen Kitabevi.E-ISBN978-605-258-877-2, 1.Baskı
- Kamışcioğlu, Ç. (2023). Learning Outcomes of Particle Physics. *Parçacık Fiziği Öğrenme Kazanımları.The Journal of Limitless Education and Research, Sınırsız Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 8(1) , 91-116 . DOI: 10.29250/sead.1243511.
- Kaptan, F. (1999). *Fen Bilgisi Öğretimi*. İstanbul: Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları.
- Karar, E.E.(2011). *İlköğretim 8. Sınıf Öğrencilerinin Bilimsel Süreç Becerilerinin Bazı Değişkenler Açısından İncelenmesi*. [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi.
- MEB (2024a). *Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (3,4,5,6,7 ve 8.Sınıflar), Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli*. MEB Yayınları.
- MEB (2024b). *Ortaöğretim Fizik Dersi Öğretim Programı (9, 10, 11 ve 12. sınıflar),Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli*. MEB Yayınları.
- MEB (2025). *Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Öğretim Programları Ortak Metni*. MEB.
- Temiz, B. K.(2001) *Lise 1. Sınıf Fizik Dersi Programının Öğrencilerin Bilimsel Süreç Becerilerini Geliştirmeye Uygunluğunun İncelenmesi*. [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2008). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Ankara: Seçkin Yayınları