



FİZİK ALANINDA GELİŞMELER

EDİTÖR

PROF. DR. ÖMER FARUK FARSAKOĞLU

Fizik Alanında Gelişmeler

Editör

Prof. Dr. Ömer Faruk Farsakoğlu

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editör
Prof. Dr. Ömer Faruk Farsakoğlu

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Aralık, 2024

Yayımcı Sertifika No
45813

Matbaa Sertifika No
47381

ISBN
978-625-6938-02-5

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin
alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres:Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B,
06480, Mamak, Ankara, Türkiye.
Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuskita.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



PLATANUS PUBLISHING®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....	5
Müonların Zaman Genleşmesi Jale Yılmazkaya Süngü	
BÖLÜM 2.....	19
Biyomalzeme Olarak Titanyum Alaşımları İman Huzeyfe & Selma Özarlan	
BÖLÜM 3.....	35
Üreteral Stenteler Üzerine Bir İnceleme Selma Özarlan	
BÖLÜM 4.....	47
Biyolojik Savaş Unsurlarının Temel Özellikleri Sezer Ongun & İrem Uluişik Yılmaz & Kübra Yakıncı	
BÖLÜM 5.....	67
CdSeS/ZnS Kuantum Nokta Katkılı Sıvı Kristal/Polimer Kompozit Yapının Dielektrik Özelliklerinin Voltaja bağlı Araştırılması Gülnur Önsal	
BÖLÜM 6.....	77
Şanlıurfa'nın İpek Yolu Bulvarında Elektromanyetik Radyasyon Kirliliği Ölçümü ve Radyasyon Risk Faktörünün Hesaplanması Ömer Söğüt & Selma Erdimez	
BÖLÜM 7.....	97
REMOTE SENSİNG İN SPACE TECHNOLOGY Muhammed Faruk Yıldırım	



BÖLÜM 1

Müonların Zaman Genleşmesi

Jale Yılmazkaya Söngü¹

¹ Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Fizik Bölümü, Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Ana Bilim Dalı,
ORCID: 0000-0002-1046-5755

Giriş

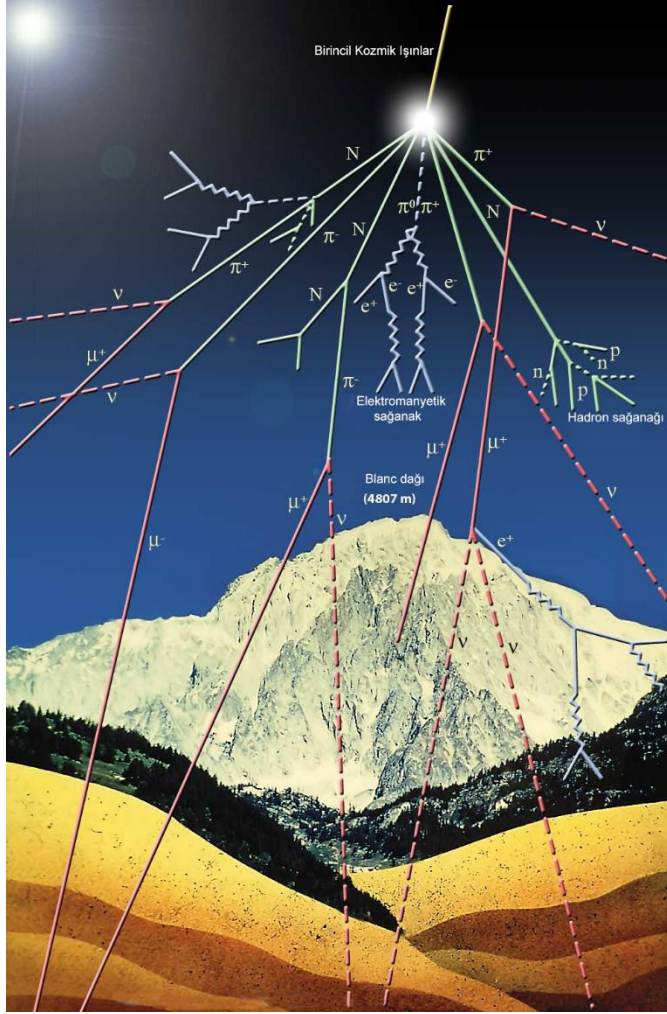
Albert Einstein'ın 1905 yılında öne sürdüğü Özel Görelilik teorisi, algılanması zor bir konudur. Bu teori cisimlerin hızının, uzayı ve zamanı nasıl etkilediğini açıklar. Yüksek hızlarda hareket eden bir cismin, hızının büyüklüğü ölçüsünde, uzunluğunda büzülme ve zamanda ise genişlemeye uğradığı görülmüştür. Ayrıca teori, ışık hızı, enerji ve madde arasındaki ilişkiyi tanımlamamızı da sağlar; $E=mc^2$ ile tanımlandığı gibi, küçük miktarlarda kütle (m), büyük miktarlarda enerji (E) 'ye dönüşebilir. Özel göreliliğin, yerçekimi ve kuantum etkilerinin önemsiz olduğu her hızda, hareketi en doğru şekilde tanımladığı anlaşılmıştır. Buna rağmen, Newton modeli, ışık hızına göre düşük hızlarda basit ve doğru bir yaklaşım olarak hala geçerliliğini korur. Diğer deyişle, limit durumunda Özel Görelilik teorisinden Newton mekaniğine geçiş yapılır. Bu da bir anlamda özel göreliliğin doğruluğunun test edilmesi anlamına gelir. Bu çalışmada, teorisinin en önemli deneysel kanıtlarından biri olan müonların ömrü özel görelilik teorisinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Yeryüzünde müonların tespit edilmesi Einstein' ın Özel Görelilik Teorisinin bir kanıtı mıdır?

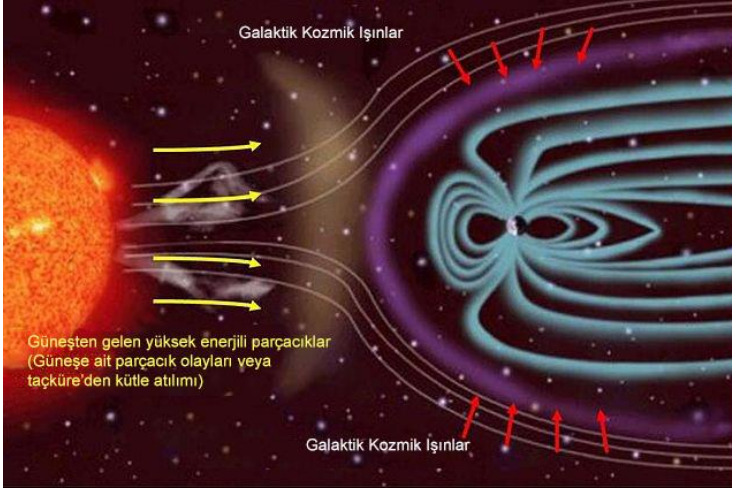
Bugünkü bilgimiz dahilinde evreni oluşturan maddenin, en küçük yapıtaşları kuarklar ve leptonlardır. 1960'lardan itibaren yüksek enerjili çarpışma deneylerinin kurulmaya başlanması ve elektron ve protonların lineer ve dairesel hızlandırıcılarda çarpıştırılması ile çok sayıda yeni parçacık keşfedilmiştir. Bu parçacıkların ömürleri oldukça kısadır [1].

Kozmik ışınlar, dış uzaydan gelen yüksek enerjili elektrik yüklü parçacıklardan oluşurlar. Çoğunlukla güneş rüzgarlarıyla dünyaya ulaşan kozmik ışınlar atmosferin üst katmanlarında hava molekülleri ile çarpışarak bozunurlar ve bu bozunmalar sonucunda çeşitli parçacıklar oluşur. Bu parçacıklardan biri olan müonlar, hemen hemen ışık hızına ($c = 3.00 \times 10^8$ m/s) yakın hızlarda hareket ederler ve durgun haldeki ömürleri yaklaşık $t_0 = 2.2 \times 10^{-6}$ saniyedir.

Peki bu parçacıklar atmosferde bu kadar hızlı hareket ediyorsa, nasıl oluyor da ömürleri bu kadar kısayken atmosferin üst katmanlarından yeryüzüne kadar ulaşabiliyorlar? Bunun nedeni nedir?



Şekil 1. Müonların ve diğer parçacıkların bozunarak yeryüzüne inmesi [2].



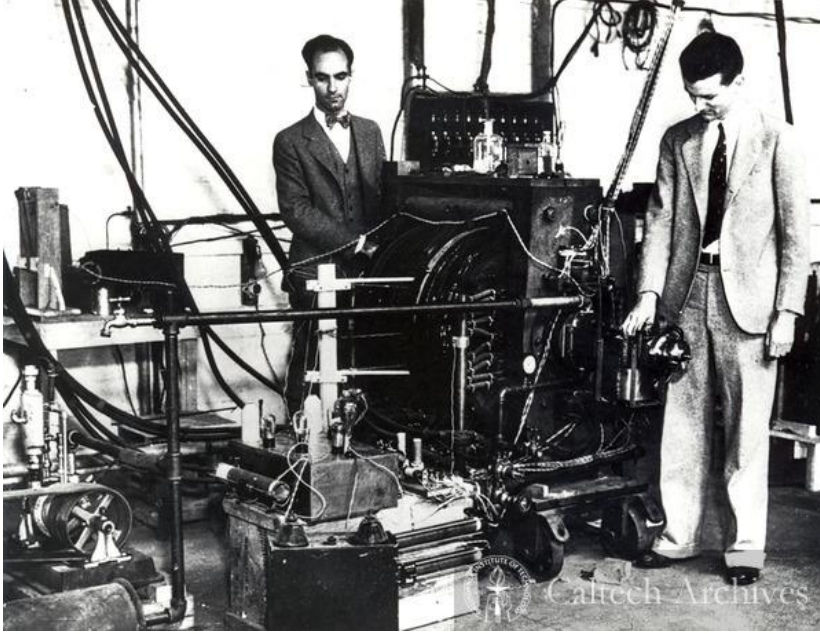
Şekil 2. Güneş rüzgarlarıyla dünya atmosferine giren kozmik ışınlar [3].

İşte bu sorunun cevabı, Albert Einstein'ın Özel Görelilik Teori'sinin sonuçlarından biri olan "Zaman Genleşmesi" ile açıklanabilmektedir. Zaman genleşmesi kavramı, Albert Einstein'ın özel görelilik ilkesinin öngördüğü oldukça ilginç etkilerinden biri olarak karşımıza çıkar. *Zaman* genleşmesi, çeşitli deneylerle doğrulanmış olan gerçek bir olgudur. Buna göre, göreceli yüksek hızlarda zaman kavramı, cismin hızına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Diğer deyişle, cismin hızı arttıkça zaman yavaşlar. Bu durum fizikte ikizler paradoksu ile açıklanır. Kısaca, ikizlerden biri dünyada, diğeri yüksek hızla hareket eden bir uzay aracında ise, belli bir süre sonunda karşılaşan ikizlerden dünyada kalan ikizin daha hızlı bir şekilde yaşlandığı tespit edilir. Bu da uzay aracındaki ikizin biyolojik saatinin daha yavaş işlediği, yani zamanın genleştiği anlamına gelir.

Müonların Tarihçesi

1935 yılında Japon fizikçi Hideki Yukawa tarafından güçlü etkileşimleri açıklayan bir kuram ortaya atıldı. Yukawa çekirdeklerdeki protonlar aynı cins elektrik yüküne sahip olmaları nedeniyle birbirlerini itmesi gerekirken, neden birbirlerini çekiyorlar diye düşündü. O'na göre protonlar arasında elektromanyetik etkileşimin itici gücünden daha güçlü bir çekim kuvveti olmalıydı ki protonlar bir arada kalıp çekirdeği oluşturabilsinler. Protonlar arasındaki etkileşmeyi sağladıklarını düşündüğü aracı-parçacıklara **pion** adını verdi. Bu çalışması ile Yukawa 1949 yılında Nobel Fizik Ödülünü aldı [4]. 10 Aralık 1949'da İsveç'in başkenti Stockholm'de Dr. Hideki Yukawa mezonların varlığı öngörüsü ile Nobel Fizik Ödülünü prens Gustaf Adolf'dan aldı.

Yukawa'nın öngörüsüyle o dönemdeki deneysel fizikçiler, Dünya atmosferine giren kozmik ışınları inceleyerek pionu deneysel olarak araştırmaya başladılar. 1937 yılında Carl Anderson ve grubu kütlesi $105.65 \text{ MeV}/c^2$ olan (elektronun kütlesinin yaklaşık 207 katı) bir parçacık keşfettiler.



Bu resimde, solda duran Carl Anderson ve sağda duran Seth Neddermeyer'dır. 1936 yılında Caltech'de müonu keşfettiler [6].

İlk olarak keşfettikleri bu parçacığın Yukawa'nın öngördüğü pion olduğunu düşündüler. Fakat bu parçacığın madde ile etkileşmesinin zayıf olduğunu gözlemlediler ve bu parçacığın çekirdek kuvvetinin aracı-parçacığı olamayacağını farkettiler. Peki, bu keşfedilen parçacık hangi parçacıktı?

1947 yılında **pi mezon (π)** veya kısaca pionun keşfedilmesiyle bu sorulara verilen cevaplar netleşti. Yük durumuna bağlı olarak üç çeşit pion mevcuttur: π^+ , π^- , π^0 parçacıklarının kütleleri yaklaşık $140 \text{ MeV}/c^2$ 'dir.

Çekirdekteki bir proton ve bir nötronun arasındaki kuvvete aracılık eden pion enerji korunumunu geçici olarak ihlal eder.

Heisenberg belirsizlik ilkesine göre; $\Delta E \Delta t = \hbar/2$ 'den, Δt çekilirse,

$\Delta t = \hbar/2\Delta E$ olur.

$\Delta E = m_{\pi}c^2$ pionun durgun kütle enerjisidir (m_{π} pionun kütlesi) ve Δt eşitliğinde yerine yazarsak, $\Delta t = \hbar/2m_{\pi}c^2$ pionun genleşmeye uğramış ömrüdür.

Pion ışıktan daha hızlı gidemeyeceği için alabileceği yol:

$$L = v \times \Delta t = c \times \Delta t = \hbar/2m_{\pi}c \quad (1)$$

Böylece, aşağıdaki eşitlik kullanılarak pionun durgun kütle enerjisi tespit edilebilir;

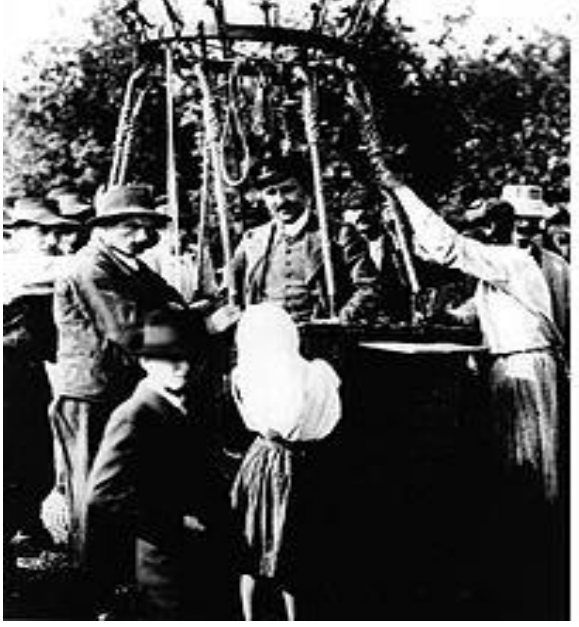
$$\begin{aligned} m_{\pi}c^2 &\approx \frac{\hbar c}{2r} = \frac{(1.05 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}) (3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{2 (1 \times 10^{-15} \text{ m})} \\ &= 1.6 \times 10^{-11} \text{ J} \approx 100 \text{ MeV} \end{aligned} \quad (2)$$

Burada, r çekirdek kuvvetinin menzildir [1].

Bu eşitliktende anlaşılacağı gibi pionun durgun kütle enerjisi ile kütlelerinin büyüklükleri aynıdır. Bu sonuç bize aynı zamanda pionun alan-parçacık modeline uyum sağladığını göstermektedir.

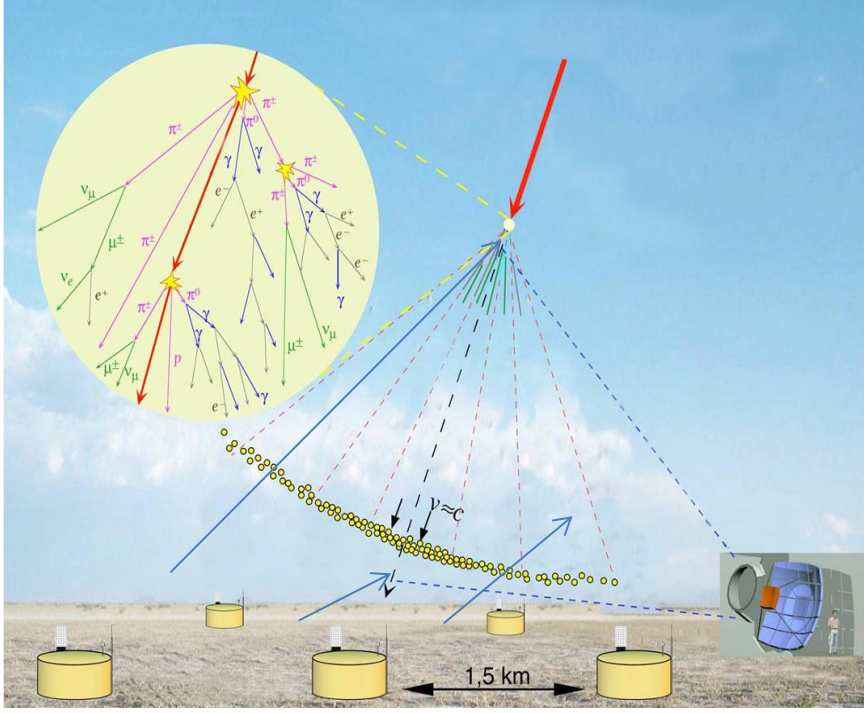
1937 yılında Anderson tarafından keşfedilen ve çok hızlı bir şekilde bozunan ve önceleri Yukawa'nın öngördüğü pion sanılan bu parçacığın gerçekte bir mezon olmadığı anlaşılmıştır. Bu parçacıklara **müon** (μ) adı verildi.

Müonlar da elektronlar gibi temel parçacıklardır. Yani müonları oluşturan başka atomaltı parçacıklar yoktur (örneğin proton ve nötronlar temel parçacık değildirler, üçlü kuark gruplarından oluşurlar). Fakat elektronun tersine müonlar kararsız parçacıklardır. Durgun olduklarında veya yavaş hareket ettiklerinde bir referans sisteminde ölçüldüğünde ömürleri $2.2\mu\text{s}$ 'dir. Ünlü İtalyan fizikçi C. Rubbia müonu keşfettiklerinde bu parçacığı kim sipariş etti (Who ordered the muon?) diyerek elektron varken neden ona bu kadar benzeyen başka bir parçacığın varolduğunu sorgulamıştır.



1912 yılında helyum balonu ile uçuş sonrası Hess'in fotoğrafl [7].

1931 yılında İsviçre’li ünlü fizikçi Auguste Piccard iyonosferi ve kozmik ışınları inceleyebilmek için helyum gazı balonu ile 16 km yüksekliğe çıkmayı başardı. O zamanlarda laboratuvar kurmak için gereken teknolojidен yoksun olduklarından bilim insanları helyum gazı balonlarını kullanmışlardır. Balonların çalışma prensiplerinden kısaca bahsedersen, ısınan hava molekülleri yükseldiğinden ve balona uygulanan kaldırma kuvveti yerçekim kuvvetinden büyük olduğundan balon yukarılara doğru çıkar. Bu bir nevi doğal laboratuvar ortamında yapılan araştırmalar sonucu, atmosferin üst kısımlarına çıkılarak pek çok yeni parçacık keşfedilmiştir.



Şekil 3. Dedektör ile gözlenen parçacık sağanağı [8].

İşte tüm bu zorluklar ile yeni parçacıkları tespit edebilmek için dedektörlere ihtiyaç duyulmuştur. Parçacıklar hızlandırıcılar kullanılarak çarpıştırıldığında enerjinin maddeye dönüşmesi sonucu yeni parçacıklar oluşur. Bu parçacıkları tanımak ve birtakım fiziksel parametrelerini ölçmek için dedektörler ve hızlandırıcılar kullanılır. Dedektörlerden, Özel Görelilik Kuramındaki zaman genişlemesi kavramından yararlanılarak müonların artan ömrü tespit edilir.

Şimdi müonun ömrünü Klasik Fizik ve Özel Görelilik Kuramı ile hesaplayalım:

1) Müonların Newton Mekaniğine göre, bozunmadan alabilecekleri yol:

L_0 : durgun haldeki parçacığın aldığı yol

V : durgun haldeki parçacığın hızı

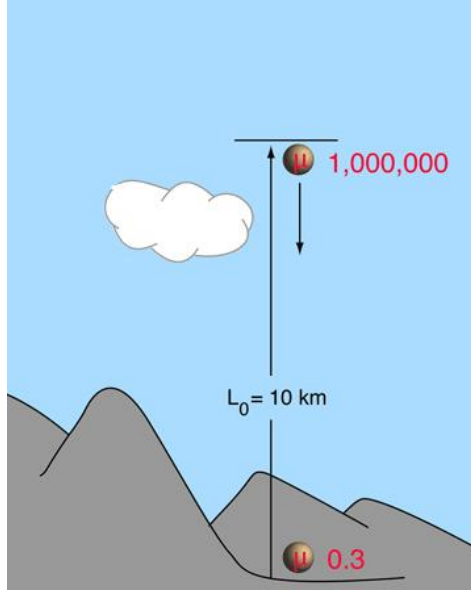
t_0 durgun haldeki parçacığın ömrü

Müonların hızı yaklaşık $0.98c$ ve durgun haldeki ömrü $2.2 \mu s$ alınırsa,

$$L_0 = v \times t_0 = 0.98 \times 3.10^8 \frac{m}{s} \times 2.2 \times 10^{-6} s = 647 m(3)$$

elde edilir.

Sonuç olarak müonlar 0.98 c hızı ile ancak 647m yol alabilirler. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, müonların ortalama ömür hesabından yere ulaşabilecek müon oranı tesbit edilebilir [1]:



Şekil 4. Müonların yeryüzeyine inişi [1].

10 kilometre yükseklikte bulunan 1 milyon tane müondan, kaç tanesi Dünya'ya ulaşır?

Müonların kütlesi $207m_e$, elektrik yükü ise pozitif veya negatiftir.

$L_0=10^4$ m seçilirse müonlar bu yolu alırken geçen süre hesaplandığında,

$$t_0 = \frac{L_0}{v} = \frac{10^4 \text{ m}}{0.98 \times 3.10^8 \text{ m/s}} = 34 \times 10^{-6} \text{ s} \quad (4)$$

elde edilir. Buradan hareketle müonların yarısının bozunması için gereken süre, yani yarıömrü $t_{1/2}$ cinsinden değeri, Radyoaktif bozunma yasasına göre, $t_{1/2} = 0.693 \tau$ olduğundan (τ , müonların ortalama ömrüdür),

$$t_0 = 34 \times 10^{-6} \text{ s} = 21.8 \times 0.693 \times 2.2 \times 10^{-6} \text{ s} = 21.8 \times t_{1/2} \quad (5)$$

olur. Aynı sonuç müonların bozunabilmesi için geçen ortalama yarıömür hesabından da tespit edilmiş olur. Bilinen Radyoaktif bozunma yasasına göre, k bozunma sabiti, t zaman ve I_0 başlangıçtaki çekirdek sayısı olmak üzere;

$$I = I_0 e^{-kt}. \quad (6)$$

$\frac{I}{I_0}$: Parçacığın hayatta kalma oranıdır ve müonlar için hesaplanacak olursa;

$$\frac{I}{I_0} = 2^{-21.8} = 0.27 \times 10^{-6}. \quad (7)$$

Sonuç olarak, 1 milyon tane müondan yeryüzüne inene kadar sadece 0.3' ü hayatta kalabilir.

Özel Görelilik Kuramına göre ise, yeryüzündeki gözlemciye göre müonların ömürleri

γ zaman genişlemesi için kullanılan bir çarpan olmak üzere:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8)$$

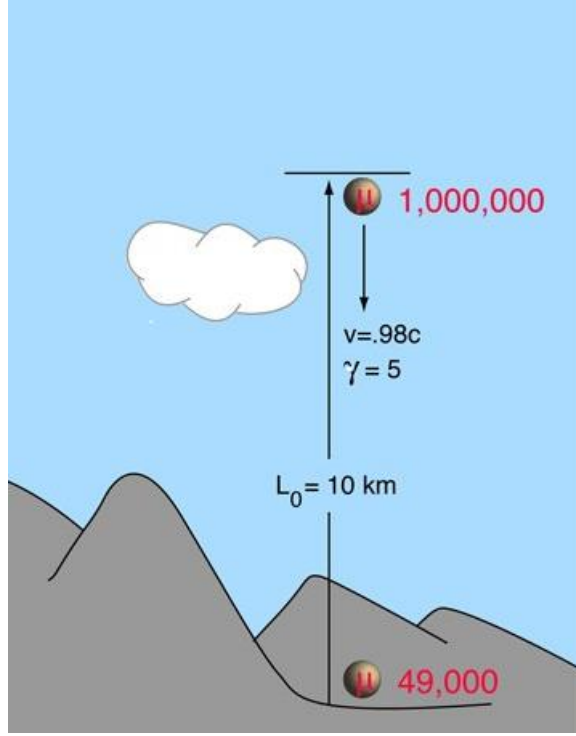
Burada $v = 0.98 c$ ise $\gamma = 5$ bulunur ve $t = \gamma t_0$ 'dır. Bu eşitlik bize hareketli bir parçacığın durgun olduğu duruma göre daha uzun süre yaşadığını söyler.

$t_0 \stackrel{?}{=} 2.2 \times 10^{-6}$ s ve bulduğumuz γ faktörü yerine yazılırsa, $t = 11 \times 10^{-6} \text{ s} = 11 \mu\text{s}$ elde edilir.

Bu sonuca göre hareketli bir parçacık durgun olduğu duruma göre daha uzun yol alır. Bu hesaba göre müonların $L = \gamma(vt_0) = 5 \times 647 \text{ m} = 3235 \text{ m}$ yol alabileceği görülür.

Bunu biraz daha açıklığa kavuşturmak istersek, Özel Görelilik Kuramına göre aşağıdaki şekilde verilen örneği inceleyelim [1]:

$$\frac{v^2}{c^2}$$



Şekil 5. Müonların yeryüzeyine inişi [1].

Müonların referans sisteminden bakıldığında uzunluk kısalması nedeniyle alınan yolu müonlar $L = L_0/\gamma = 0.2L_0 = 2km$ olarak görür.

Radyoaktif bozunma yasasına göre,

$$t = 6.8 \times 10^{-6}s = 4.36 \times t_{1/2} \text{ olarak bulunur.}$$

Müonların hayatta kalma oranını hesaplarsak;

$$\frac{I}{I_0} = 2^{-4.36} = 0.049. \quad (9)$$

Yani 1 milyon tane müondan yaklaşık olarak 49 bin tanesinin hayatta kaldığı tespit edilir.

Müonların ömrü, zaman genişlemesindeki γ faktörü kadar artar. Sonuç olarak hareketli referans sistemindeki gözlemci, durgun referans sistemindeki gözlemciye göre zamanı daha büyük ölçer ve böylece bilim adamları müonların bozunma hızıyla, yarı ömürlerini ve yeryüzüne inebilecekleri mesafeyi doğru bir şekilde bulabilirler. Bu örnek Einstein'ın Özel Görelilik Kuramının en güzel deneysel kanıtlarından biridir.

Referanslar:

1. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/relativ/muon.html>
2. <http://cds.cern.ch/record/40407>
3. https://www.nasa.gov/mission_pages/msl/multimedia/pia16938
4. Griffiths, D. (2015). *Temel Parçacıklara Giriş*, G. Öngüt (Ed.), J.Y. Söngü, Z. Kırca, B.B. Şirvanlı, N. Demir. Nobel Yayınevi.
5. <http://pdg.lbl.gov/2016/listings/rpp2016-list-muon.pdf>
6. https://oralhistories.library.caltech.edu/199/1/Neddermeyer_OHO.pdf
7. <https://cerncourier.com/a/a-discovery-of-cosmic-proportions/>
8. <https://www.in2p3.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/lobservatoire-pierre-auger-fete-ses-20-ans>



BÖLÜM 2

Biyomalzeme Olarak Titanyum Alaşımları

İman Huzeyfe¹ & Selma Özarıslan²

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, 31060, Antakya, HATAY
ORCID: 0000-0001-5671-3788

² Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 31060, Antakya, HATAY.
ORCID: 0000-0002-7225-1613

Biyomalzemeler

Biyomalzemeler, insan vücudundaki organ ya da dokuların işlevlerini yerine getirmek veya desteklemek amacıyla kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeler, vücut dokularıyla etkileşimde bulunabilen ve genellikle biyolojik olarak uyumlu özelliklere sahiptir. Biyomalzemeler; metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadır (Pasinli, 2004, Marin ve ark, 2020).

Biyomalzemeler, insanların hayat kalitesini artırmak amacıyla geliştirilmiş ve bu alanda büyük önem kazanmıştır. Biyomalzemeler çok eski zamanlardan beri kullanılmaya başlamıştır: ahşap dişler, cam gözler ve metalik diş implantları buna örnek olarak verilebilir (Langer ve pippas, 2003; Binyamin ve ark.,2006). Ancak o dönemdeki bilim insanlarının bilgi ve tecrübe yetersizliği nedeniyle biyomalzemelerin kullanımıyla yönelik atılımlar başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Çünkü o dönemlerde, malzemelerin biyolojik etkileşimleri ve korozyon süreçleri tam olarak anlaşılmamaktaydı (Ratner ve Bryant, 2004). Vücuda implant edilen biyomalzemeler, spesifik olmayan proteinlerin emilimini tetikler. Normal şartlarda vücut, protein emilimi ile tepki vermezken, biyomalzemeler implant edildiğinde vücut hücreleri bu malzemeyi yabancı bir cisim olarak algılar ve ona yapışmaya başlar. Bu durum inflamasyonun artmasına neden olur ve vücudun savunma mekanizmasını tetikler. İmplant edilen malzemenin etrafında oluşan inflamasyon ortadan kaldırılmaya çalışılırken, dokunun geri kalanıyla etkileşimi engelleyen ince bir fibröz kollajen tabakası oluşmaktadır (Salthouse,1984; Anderson,2001). Ayrıca, inflamasyonun artması ortamın pH seviyesini artırır ve bu durum korozyon direncini olumsuz olarak etkiler (Zampieri ve ark.2014).

Biyomalzemelerin sınıflandırılması

İnsan yaşam kalitesini artıran çeşitli uygulamalarda biyomalzemelere duyulan ihtiyaç, bu malzemelerin geliştirilmesinin ve özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalara olan talebi artırmaktadır. Bu süreçte, malzemelerin sınıflandırılması ve her bir sınıflandırmanın özelliklerini detaylı bir şekilde bilmek büyük önem taşımaktadır. Biyomalzemelerin sınıflandırılması, doğal ve sentetik biyomalzemeler olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Doğal biyomalzemeler, bitkisel, hayvansal veya mikrobiyal kaynaklardan elde edilen malzemeleri kapsar. Selüloz, kollajen ve kitosan buna örnek olarak verilebilir (Hasan ve ark, 2024; Balci ve Dağdelen,2022). Sentetik biyomalzemeler ise, metalik, polimer, seramik ve kompozit malzemeler gibi laboratuvar ortamında sentezlenen malzemeleri ifade eder.

Metalik Biyomalzemeler: Metalik biyomalzemeler atomların benzersiz dağılımı nedeniyle güçlü kimyasal, termal ve elektriksel özelliklerle karakterize edilir (Binyamin ve ark., 2006). Dünyada yaralanma ve kırık oranlarının artması, biyomalzeme alanında gelişmeler metalik biyomalzemelerin tıbbi alanda daha yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır. Kalp kapakları, kemik implantları, kateter ipi yapımında kullanılan klipsler, ortodontin kılavuz teli, diş dolguları, diş implantları, yüz-çene cerrahisinde teşhis ve tedavi amaçlı üretilen cihazlar metalik biyomalzeme olarak kullanılmaktadır (Gür ve Taşkın, 2004; Pasinli, 2004; Binyamin ve ark., 2006; Korgal ve ark., 2024). Bu malzemeler, diğer biyomalzeme türlerine göre: yüksek biyouyumluluk, kırılmadan veya deformasyona uğramadan baskıya dayanacak yeterli sertlik, yorulma gerilimi ve yüksek çekme dayanımı gibi üstün mekanik özelliklere sahiptir (Bharadwaji, 2021). Titanyum ve alaşımları, magnezyum ve alaşımları, çelik ve kobalt esaslı alaşımlar, hasar görmüş dokuları onarmak ve yaşam kalitesini artırmak için implant olarak kullanılmasının birkaç örneği vardır (Tang ve ark., 2021; Korgal ve ark., 2024). Malzemenin biyolojik ve mekanik gereksinimlerini göz önünde bulundurarak, ihtiyaç duyulan özellikleri ve kullanım alanının dikkate alınması gerekmektedir. Bir malzemenin mekanik bütünlüğünü sağlayan en önemli özelliklerinden biri biyouyumluluktur. Bu özellik, mekanik stabiliteyi, iltihabi ve bağışıklık tepkilerini, dokularla uyumluluğu ve kanla uyumluluğu gibi çeşitli yönleri içerir. Diğer biyomalzemelerin eklenmesi, malzemenin boyutunu ve yüzeyini değiştirerek biyouyumluluğu artırılabilir (Egbo, 2021; Bandyopadhyay ve ark., 2023).

Polimer Biyomalzemeler: Polimerler, biyomalzemelerin en geniş sınıflandırmasını oluşturur. Bu uzun zincirli organik moleküller, üstün özellikleri sayesinde cerrahi aletlerde, implante edilebilir cihazlarda, cihaz kaplamalarında, kateterlerde ve vasküler greftler gibi birçok tıbbi alanda kullanılmaktadır (Binyamin ve ark., 2006).

Seramik biyomalzemeler: Seramik biyomalzemeler, kemik tedavisinde metal implantlara alternatif olarak öne çıkmıştır. Doğal ve sentetik seramik biyomalzemeler olarak sınıflandırılabilir (Pina ve ark., 2018). Seramik biyomalzemeler, iyi mekanik özellikler, yüksek aşınma direnci ve mükemmel biyouyumluluk sağlayan oksit, nitrür, karbür ve sülfür bileşenlerinden oluşur (Subedi, 2013). Ancak, metalik biyomalzemelere kıyasla daha az elastik modülü ve kırılma dayanıklılığına sahiptir. Bu nedenle araştırmacılar tıbbi alanlarda kullanım daha uygun hale getirmek amacıyla bu malzemelerin esnekliğini ve kırılma direncini arttırmaya yönelik çalışmalara için devam etmektedir (Punj ve ark., 2021). Alümina, titanya,

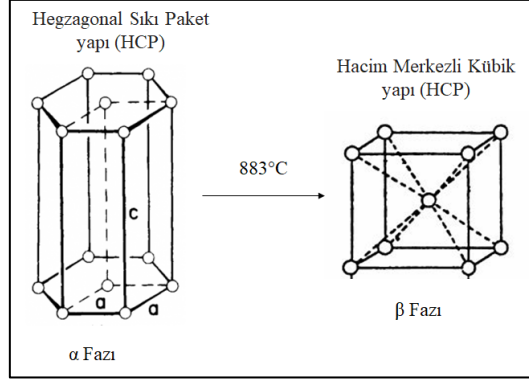
zirkonya, kalsiyum ve fosfor esaslı malzemeler birçok tıbbi uygulamada kullanılmıştır (Balasubramanian ve ark.,2017; Shanmugam ve Sahadevan, 2018; Punj ve ark., 2021).

Kompozit biyomalzemeler: Kompozit biyomalzemeler, biyolojik olarak farklı malzemelerin veya bir biyomalzeme ile tıbbi ürünün birleştirilmesiyle oluşturulan bileşiklerdir. Malzemenin özelliklerini ve biyouyumluluğun iyileştirilmesine, vücudun malzemeyi kabul etmesine ve kanla uyum sağlamasına yardımcı olur. Ayrıca benzersiz özelliklere sahip malzemelerin elde edilmesine katkıda bulunur (Davis ve Leach, 2008; Patel, 2021). Çok sayıda endüstriyel ve tıbbi alanda kompozit biyomalzemeler kullanılmaktadır. Avantajları nedeniyle tıbbi ortamlarda ve laboratuvarlarda yaygın olarak çalışmalar yapılmaktadır. En önemli özelliklerinden biri, üretim ve şekillendirme açısından kolay olmasıdır. Bu sayede bileşenlerin boyutu, dağılımı ve şekli kolayca değiştirilebilir ve bu da ona benzersiz mekanik özellikler kazandırır (Patel, 2021). Bu nedenle, fiziksel ve kimyasal özellikler, mikroyapı özellikleri, işlem performansı ve farklı işleme gibi araştırmalar önem taşımaktadır.

Titanyum

Titanyum, tüm elementler arasında yer kabuğunda en bol bulunan dokuzuncu ve metaller arasında dördüncü sıradadır. Saf titanyumun yoğunluğu, erime sıcaklığı, sertliği, çekme mukavemeti ve Young modülü sırayla: 4,506 g/cm³, 1668°C, 100 HV 240 MPa ve 120 GPa'dır (Nhlapo, 2020). Titanyum; rutil, brookit ve anataz gibi titanyum oksitleri içeren birçok kaynaktan çıkarılabilir (Yılmaz ve ark., 2019; Balcı ve Dağdelen, 2022). Hafifliği ve dayanıklılığı nedeniyle havacılık ve uzay alanlarında kullanılmaktadır. Ayrıca, çeşitli koşullarda, yüksek sıcaklıklarda ve tuzlu ortamlarda yüksek korozyona karşı dayanıklı olduğu için gemi yapımı ve deniz ekipmanlarında da kullanılmaktadır (Wu ve ark., 2024). Young modülü, diğer malzemelere kıyasla yüksek biyouyumluluğu nedeniyle daha sonra tıbbi alanlarda, özellikle cerrahi implantlarda kullanılmıştır. Ayrıca biyoinert olduğu için vücutta toksisiteye neden olmaz (Geetha ve ark., 2009; Kaur ve Singh, 2019). Bu nedenle fiziksel ve kimyasal özellikler, mikroyapı özellikleri, işlem performansı ve farklı işleme gibi araştırmalar önem taşımaktadır. Titanyumun birçok benzersiz özelliğine rağmen, mekanik özelliklerini iyileştirmek ve performansını geliştirmek için çalışmalar devam etmektedir (Korgal ve ark., 2024). Titanyumun diğer bir özelliği ise, yapısını değiştirerek özelliklerini iyileştirme yeteneğine sahip olmasıdır; sıcaklığa bağlı olarak kristal formdan diğerine geçebilir. Titanyum, hegzagonal sıkı paket yapıya (HCP) sahip olup oda sıcaklığında alfa fazına sahipken, yüksek sıcaklıkta yaklaşık 883°C'ye (beta geçiş sıcaklığı) hacim merkezli kübik yapıya (BCC) dönüşür ve beta fazı olarak adlandırılır

(Kaur ve Singh, 2019). Şekil 1'de alfa ve beta fazlarının yapısı ve ısıl değişimi gösterilmektedir.

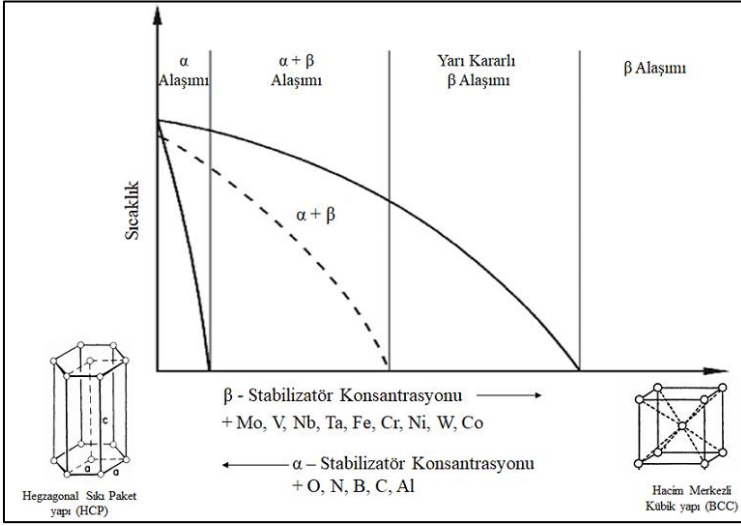


Şekil 1. Alfa ve beta fazların yapısı

Titanyum Alaşımları

Modern teknoloji, uzay, havacılık, otomobil ve biyomedikal endüstrilerinde giderek yeni malzemelerin geliştirilmesine dayanmaktadır. Titanyum ve alaşımları, çeşitli teknolojik alanlarda yeni malzemelerin temelini oluşturma potansiyeline sahiptir. Titanyum ve alaşımları, yüksek mukavemet ve sertlik, yüksek aşınma direnci ve vücut dokularıyla biyouyumluluk gibi benzersiz mekanik özellikleri sayesinde bu endüstrilerde temel malzemeler olarak öne çıkmaktadır. Bu iyi özelliklerine rağmen, çeşitli uygulamalarda kullanılma ihtiyacı, mekanik özelliklerinin daha iyi geliştirilmesi ve iyileştirilmesine gereksinim duyulmaktadır. Titanyum alaşımlarının sorunlarından biri yığılma gerilmesidir ve bu sorunu çözmek için, alaşımlar birbirine bağlı küçük deliklerden üretilmektedir. Bu yöntem sayesinde, kemiklerin ve dokuların alaşımın içinde büyümesine ve implant ile kemiklerin kaynaşmasını artırmaktadır. Böylece yığılma gerilmesi azaltıp, kemiklerin ve dokuların büyümesini teşvik etmektedir (Kumar ve ark., 2019; Korgal ve ark., 2024). Saf titanyumun mekanik özellikleri alaşım yapılararak geliştirilmiştir. En yaygın kullanılan titanyum alaşımlarından bazıları ise, Ti-6Al-4V, Ti-6Al-6V-2Sn ve Ti-10V-2Fe-3Al'dir (Kaur ve Singh, 2019). Titanyum alaşımları, hızlı ve güçlü bir şekilde oksijenle reaksiyona girerek yüzeyinde ince bir titanyum oksit (TiO_2) tabakası oluşturur. Bu tabaka, oksijen ve diğer maddelerle reaksiyona girmesini engelleyerek onu izole eder ve böylece korozyona karşı direncini büyük ölçüde artırmaktadır. Bu tabaka zarar veya hasar gördüğünde hemen yenilenerek, titanyum alaşımlarının biyouyumluluğu iyileşmesine yardımcı

olmaktadır (Kulkarni ve ark., 2014; Warlimant, 2018; Korgal ve ark., 2024). Titanyum alaşımları diğer biyomalzemelerle karşılaştırıldığında, en uygun özelliklere sahip biyomalzeme olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle tıbbi ve diş implantları, kalp kapakçıkları, kalp pilleri, yüz ve kafa taşı plakaları, koklear implantlar, kemik plakaları, vidalar ve sabitleme cihazları gibi birçok tıbbi alanda kullanılmıştır (Abd-Elaziem ve ark., 2024). Titanyum alaşımları en genel haliyle 5'e ayrılır: alfa, alfa'ya yakın, beta, beta'ya yakın ve alfa+beta tipleridir (Nhalpo, 2020; Abd-Elaziem ve ark., 2024). Titanyum alaşımlarının fazlarını gösteren diyagram Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Titanyum alaşımların faz diyagramı: (Arrazola ve ark., 2009)

Alfa Alaşımları: Tek fazlı alaşımlar, HCP yapıdadır. Olağanüstü bir korozyon direncine sahiptir. Mekanik ve korozyon özellikleri: Sn, Al, O, C, B gibi alfa stabilizatörleri eklenerek artırılabilir, Ti-5Al-2,5Sn, Ti-20Cu, Ti-20Ag, Ti-20Au alaşımlar α alaşımlarından sayılmaktadır (Kikuchi ve ark., 2006; Najafzadeh ve ark., 2024). Alfaya yakın alaşımlar ise, temelde alfa fazlarından oluşur, çok az miktarda beta fazı ve beta stabilizatörü bulunur, yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemeti ve kolay şekillendirilebilir özelliklere sahiptir. Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si alaşımı bu kategoriye girmektedir (Abd-Elaziem ve ark., 2024). Alfa ve alfa ya yakın alaşımlar, korozyon direnci ve yüksek mukavemet gibi benzer özelliklere sahiptir. HCP yapısına sahip oldukları için daha kararlıdır. Bu da ısıl işlemle iyileştirilmesini zorlaştırır. Bu nedenle yüksek sıcaklık uygulamaları için bu alaşım grubu uygun görülmektedir (Zhang ve Chen, 2019).

Beta Alaşımları: Tek fazlı (monofazik) yüksek sıcaklıklarda oluşur ve BCC yapısına sahiptir. Alfa alaşımlarına kıyasla yüksek süneklikle karakterizedir. Bu özellik sayesinde tıbbi implantlar için temel malzeme olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca şekillendirme yeteneğine sahip olup, ısıtılma işlemi görme imkânı vardır. Kaynaklama ve döküm gibi çeşitli yöntemlerle üretilmektedir. Ticari olarak en popüler alaşım türlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Diğer alaşımlara kıyasla kemiklerin elastik modülüne yakın bir değeri vardır. Cr, V, Nb, Mo, Co, Pd, Ni, Cu, Ta, Si, Fe ve W gibi elementler beta fazını stabilize eden elementler olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımların yorulma direnci, alfa + beta alaşımlara kıyasla nispeten zayıftır. Ancak ZrO_2 , SiO_2 , Y_2O_3 gibi malzemelerin eklenmesiyle yorulma direnci artırılabilir, bu da dispersiyon oluşturarak alaşımları güçlendirir (Prakasam ve ark., 2017; Abd-Elaziem ve ark., 2024). Beta alaşımları kararlı ve yarı kararlı olmak üzere iki türe ayrılmaktadır. Mo, V, Cr gibi stabilizatör içeren alaşımlar, alaşımın şeklini, yapısını ve özelliklerini düşük sıcaklıklarda korumaktadır. Yarı Kararlı beta alaşımları ise, az miktarda beta stabilizatörleri içerdiğinden sıcaklık değiştiğinde kararsız hale gelir. Yüksek mukavemet ve düşük elastik modülüne sahiptir ancak ısıtılma işlemi uygulayarak özellikleri iyileştirilebilmektedir (Prakasam ve ark., 2017; Yumak ve Aslantaş, 2020).

Alfa + Beta Alaşımları: Alfa ve beta alaşımlarının özelliklerini bir araya getirir, yapısı da her iki fazından oluşmaktadır. Daha hafif olması, yüksek güç, kolay işlenebilirlik, yüksek sertlik ve kırılma direnci gibi birçok özelliği sayesinde havacılık alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, iyi bir alaşım yapısına sahip olup, kırılmadan bükülüp kaynaklanabilir ve ısıtılma işlemiyle özellikleri iyileştirilebilmektedir. Beta stabilizatörlerin oranı, alfa'ya yakın alaşımlara kıyasla daha yüksektir. İçindeki beta fazının oranı yaklaşık olarak hacminin dörtte birini oluşturmaktadır. Oda sıcaklığında yüksek mukavemete sahipken, yüksek sıcaklıkta orta mukavemete sahiptir. Tablo 1'de titanyum alaşımlarının bazı mekanik özelliklerinin değerleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde bu alaşımların mekanik özelliklerinin insan kemiğinkinden çok farklı olduğundan, kemik erimesi veya implantların gevşemesi nedeniyle tıbbi implantlar için uygun değildir. Bu alaşımlara, Zr ve Mo gibi toksik olmayan, düşük elastik modülü ve iyi biyouyumluluklara sahip elementler eklenmesiyle özelliklerini geliştirebilmektedir (Arrazola ve ark., 2009; Zhang ve Chen, 2019; Najafizadeh ve ark., 2024).

Tablo 1: Titanyumun alaşımları, mekanik değerleri ve kullanım alanları:

Alaşım		Sertlik değeri (HV)	Akma daya- nımı (MPa)	Çekme mu- kavemeti (MPa)	Elastik modülü (GPa)	T _β (°C)	Uygulama alanı	Ref.
Krotikal kemik		33 - 43	30–70	194–195	5–23	-		
α fazı	99,98 Ti	100	70 -74	240	100 - 145	883	Diş İmp- lantları	Nichol- son, 2020
	Ti-5Al- 2.5Sn	300	827	861	109	1040	Havacılık	(Baba- remu ve ark., 2022)
α ya ya- kın	Ti-6Al- 2Sn-4Zr- 2Mo-0.1Si	340	990	1010	114	995	Otomobil sektö- ründe	(Veiga ve ark., 2012)
β fazı	Ti-13Nb– 13Zr	295- 308	836– 908	973–1037	79–84	-	Vücut implant- ları	(Shukla ve Balasubra- maniam, 2006; Di- mić ve ark., 2016)
	Ti-45Nb	210	438	527	64	-	Vücut implant- ları	(Ozaltin ve ark., 2014; Abd-Ela- ziem ve ark., 2024)
β ya ya- kın	Ti-4.5Al- 3V-2Mo- 2Fe	300- 500	900	960	110	900	Havacılık	(Takeda ve ark., 2004)
α + β	Ti-6Al-4V	300 - 400	800- 1100	900-1200	110-140	995	Diş İmp- lantları	(Nichol- son, 2020)
	Ti-6Al- 2Sn-4Zr- 6Mo	300- 400	1000- 1100	1100-1200	114	940	Havacılık	(Joseph ve ark., 2018)

Kullanım Alanları

Teknolojinin gelişimi ve yenilik ihtiyacı ile birlikte, titanyum alaşımlarının özelliklerini modern gereksinimlere uyumlu hale getirmek amacıyla yeni alaşımların geliştirilmesi için araştırmalar devam etmektedir. Titanyum alaşımlarının üretimini ve uygulamalarını genişletmek için yenilikçi teknikler ve yöntemler keşfederek gerçekleştirilmektedir. Benzersiz özellikleri nedeniyle birçok alanda yer alır ve her alan farklı özellikler gerektirmektedir.

1. Tıbbi uygulamalarda: Titanyum alaşımları yüksek korozyon direnci, sertliği ve biyouyumluğunun yanı sıra biyoinert olması nedeniyle tıbbi kullanım için iyi bir seçenek olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, Young modülünün düşürülmesiyle diğer implantlara göre yığılma gerilmesi etkisini azaltır ve kemiklerin daha iyi büyümesini teşvik eder. Bu nedenle, titanyum alaşımların implantları, yüz plakları, kraniyotomi, koklear implantlar ve omurga füzyon cihazları ile kalp pili gibi diğer uygulamalarda kullanılmaktadır. (Brunette ve ark., 2001; Kulkarni ve ark., 2014; Abd-Elaziem ve ark., 2024).

2. Havacılık alanında: Titanyum alaşımları, havacılık sektöründe ve uçak yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Uçak motorlarında ve uçağın yapısında ağırlığı azaltmak ve bu alaşımların üstün gücü nedeniyle tercih edilmektedir. Titanyum alaşımları, uçak gövdelerindeki yorgunluk çatlaklarının büyümesini durdurmak için kullanılmaktadır (Peters ve ark., 2003).

3. Denizcilik alanında: Titanyum alaşımlarının su ve tuzlu ortamlarda yüksek korozyon direnci özelliği sayesinde, birçok deniz endüstrisinde kullanılmaktadır. Denizaltı ve yer altı boruları, gemi yapısının parçaları, denizcilikte bağlantı elemanları, deniz suyu ile çalışan enerji santrallerinde su arıtma tesisleri ve soğutma sistemlerindeki ısı değiştiricileri cihazlarında kullanılmaktadır (Schutz ve Watkins, 1998; Yan ve ark., 2018).

4. Otomobil Sektöründe: Titanyum alaşımları, yüksek dayanıklılıkları ve düşük ağırlıkları sayesinde otomobillerin yakıt tasarrufu ve performans verimliliğinin artmasını sağlamıştır (Veiga ve ark., 2012; Kulkarni ve ark., 2014).

5. Diş implantlarında: Titanyum alaşımları diş implantları alanında en çok tercih edilen malzemelerin başında gelmektedir. Yüksek gücü sayesinde, eksik dişlerin yerini almak, sabit veya çıkarılabilir yedek dişler için sağlam implant olarak kullanılmaktadır (Nicholson, 2020; Abd-Elaziem ve ark., 2024).

Bazı Titanyum Alaşım Grupları

Ti-6Al-4V (Grade 5): Ti-6Al-4V alaşımları orta sıcaklıklarda yüksek mukavemet, işlenmesinin kolaylığı, yüksek biyouyumluluğu ve nispeten düşük maliyeti nedeniyle, günümüzde en yaygın olarak üretilen ve kullanılan titanyum alaşımı olmaya devam etmektedir. Uçaklarda, deniz araçlarda ve ortopedik uygulamalarda kullanılmaktadır (Nguyen ve ark., 2022). Titanyuma Al eklenerek çekme dayanımı, korozyon direnci ve elastik modülü mekanik özellikleri bakımından iyileştirilmektedir. Kırılabilirliği önlemek için alüminyum ilavesi %7'yi geçmemelidir (Ronoh ve ark., 2022). Araştırmalara göre, alüminyum eklenmesi, titanyumun beta fazından alfa fazına geçiş sıcaklığını arttırıp, dönüşüm süresini uzatmaktadır. Eklenen her yüzde çekme dayanımını 35-70 GPa arttırmaktadır (Weiss ve Semiatin, 1999). Bu alaşımların dezavantajlarından biri, yüksek Young modülü (110 GPa) nedeniyle insan kemiklerinde (30 GPa) gerilme yığılmasına yol açmasıdır. Ayrıca, zamanla kan dolaşımına alüminyum ve vanadyum iyonlarının salınması, Alzheimer, osteoporoz ve nöropati gibi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Eisenbarth ve ark., 2004; Gepreel ve Niinomi, 2013). Bu nedenle, alaşımların özelliklerini iyileştirmek amacıyla titanyum alaşımlarına Ta, Mo, Nb gibi farklı elementlerin eklendiği araştırmalar devam etmektedir (Sidhu ve ark., 2021).

Ti-13Nb-13Zr: Son zamanlarda Ti-6Al-4V alaşımlarına alternatif olarak Ti-13Nb-13Zr alaşımları da kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra alüminyum ve vanadyum oksitlere göre Nb, Zn ve Ta gibi elementlerin eklenmesinde daha az oksit çözünme olmaktadır. İmplantın yüzeyi daha inerttir ve bu da implant için koruma sağlamaktadır. (Alagic ve ark., 2011). Bu nedenle bu alaşımlar, yüksek biyouyumlulukları ve yüksek mekanik dayanıklılıkları nedeniyle biyomedikal alanda diş ve kemik implantlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca herhangi bir olumsuz reaksiyona neden olmamaktadırlar. Dolayısıyla bu durum onları tıbbi uygulamalar için ideal kılmaktadır. Oda sıcaklığında Ti, Nb, Zr beta fazı bir kristal altıgen hegzogonal yapıya sahiptir. Araştırmacılar yaptıkları deneylerin sonucunda, mekanik özelliklerde, korozyon direncinde ve biyouyumlulukta iyileşme olduğu göstermektedir. Zirkonyum ve niyobyumun eklenmesi, taneler arası fazları güçlendirerek yapısal özellikleri iyileştirip, biyouyumluluğu ve korozyona karşı direncini artırmaktadır. Paslanmaz çelik ve saf titanyum gibi geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında, Ti-13Nb-13Zr alaşımının kullanımı güvenli ve etkili bir alternatif sunar ve böylece eklemlerin ve dişlerin değiştirilmesi için dayanıklı ve etkili çözümler sağlayarak hastaların yaşam kalitesini artırmaktadır (Mu ve ark., 2021; Fellah ve ark.2024).

Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo: Titanyum alaşımları, mükemmel ağırlık ve mukavemeti nedeniyle uçak bileşenlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Beta tipi titanyum alaşımı olarak bilinen Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo maksimum 450°C işlem sıcaklığına kadar dayanabilmektedir. Bu derecelerin üzerinde, alaşımlar oksijen içeren ortamlarda 480 °C üzerindeki yüksek sıcaklıklarda oksitlendiğinden mekanik özellikleri bozulmaktadır. Bu durum, yorulma mukavemeti ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerde bozulmaya yol açan, yüksek oksijen içeriğine sahip sert ve kırılgan bir tabaka olan alfa durumunun oluşması ile sonuçlanmaktadır (Leyens ve Peters, 2006; Gaddam ve ark., 2013).

Ti-5553 (Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr): Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr beta fazından alaşım olup, ısıtılma işlemle büyük değişiklikler gösteren ince yapılarıyla karakterizedir, bu da kimyasal özelliklerin değişmesine yol açmaktadır. Yüksek dayanıklılığı ve mükemmel korozyon direnci sağlamasıyla bilinir ve bu özellikler sayesinde tıbbi implantlar için ideal bir seçenektir (Zhang ve Liu, 2022).

Kaynakça:

- Abd-Elaziem, W., Darwish, M. A., Hamada, A., & Daoush, W. M. (2024). Titanium-Based alloys and composites for orthopedic implants Applications: A comprehensive review. *Materials & Design*, 112850.
- Anderson, J. M. (2001). Biological responses to materials. *Annual review of materials research*, 31(1), 81-110.
- Arrazola, P. J., Garay, A., Iriarte, L. M., Armendia, M., Marya, S., & Le Maître, F. (2009). Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555. 3). *Journal of materials processing technology*, 209(5), 2223-2230.
- Babaremu, K. O., Tien-Chien, J., Oladijo, P. O., & Akinlabi, E. T. (2022). Mechanical, corrosion resistance properties and various applications of titanium and its alloys: a review. *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, 32(1), 11.
- Balasubramanian, S. B. G. B., Gurumurthy, B., & Balasubramanian, A. (2017). Biomedical applications of ceramic nanomaterials: a review. *Int J Pharm Sci Res*, 8(12), 4950-9.
- Balci, E., & Dağdelen, F. (2022). Biyomalzeme Türleri ve Biyouyumlu Metalik Elementler. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 1179-1195.
- Bandyopadhyay, A., Mitra, I., Goodman, S. B., Kumar, M., & Bose, S. (2023). Improving biocompatibility for next generation of metallic implants. *Progress in materials science*, 133, 101053.
- Bharadwaj, A. (2021, April). An overview on biomaterials and its applications in medical science. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 1116, No. 1, p. 012178). IOP Publishing.
- Binyamin, G., Shafi, B. M., & Mery, C. M. (2006, November). Biomaterials: a primer for surgeons. In *Seminars in pediatric surgery* (Vol. 15, No. 4, pp. 276-283). WB Saunders.
- Brunette, D. M., Tengvall, P., Textor, M., & Thomsen, P. (2001). Titanium in medicine: material science, surface science, engineering, biological responses and medical applications (p. 232). Berlin: Springer.
- Cvijović-Alagić, I., Cvijović, Z., Mitrović, S., Panić, V., & Rakin, M. (2011). Wear and corrosion behaviour of Ti–13Nb–13Zr and Ti–6Al–4V alloys in simulated physiological solution. *Corrosion science*, 53(2), 796-808.
- Davis, H. E., & Leach, J. K. (2008). Hybrid and composite biomaterials in tissue engineering. *Topics in multifunctional biomaterials and devices*, 10, 1-26.
- Dimić, I., Cvijović-Alagić, I., Völker, B., Hohenwarter, A., Pippan, R., Veljović, Đ., ... & Bugarski, B. (2016). Microstructure and metallic ion release of pure titanium and Ti–13Nb–13Zr alloy processed by high pressure torsion. *Materials & design*, 91, 340-347.

- Egbo, M. K. (2021). A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 33(8), 557-568.
- Eisenbarth, E., Velten, D., Müller, M., Thull, R., & Breme, J. (2004). Biocompatibility of β -stabilizing elements of titanium alloys. *Biomaterials*, 25(26), 5705-5713.
- Fellah, M., Assala, O., Labaïz, M., Dekhil, L., & Iost, A. A. (2013). Friction and wear behavior of Ti-6Al-7Nb biomaterial alloy. In 25ème JIFT 2013 (Vol. 4, pp. 374-384). Centre pour la Communication Scientifique Directe.
- Fellah, M., Hezil, N., Bouras, D., Habeeb, M. A., Hamadi, F., Bouchareb, N., ... & El-Hiti, G. A. (2024). Microstructural and photocatalytic properties of nanostructured near- β Ti-Nb-Zr alloy for total hip prosthesis use. *Kuwait Journal of Science*, 51(4), 100276.
- Gaddam, R., Sefer, B., Pederson, R., & Antti, M. L. (2013, December). Study of alpha-case depth in Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo and Ti-6Al-4V. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 48, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- Geetha, M., Singh, A. K., Asokamani, R., & Gogia, A. K. (2009). Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants—a review. *Progress in materials science*, 54(3), 397-425.
- Gepreel, M. A. H., & Niinomi, M. (2013). Biocompatibility of Ti-alloys for long-term implantation. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 20, 407-415.
- Gür, A. K., & Taşkın, M. (2004). Metalik biyomalzemeler ve biyoyum. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 106-113.
- Hasan, M. M., Ahmad, A., Akter, M. Z., Choi, Y. J., & Yi, H. G. (2024). Bioinks for bioprinting using plant-derived biomaterials. *Biofabrication*, 16(4), 042004.
- Joseph, S., Lindley, T. C., Dye, D., & Saunders, E. A. (2018). The mechanisms of hot salt stress corrosion cracking in titanium alloy Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo. *Corrosion Science*, 134, 169-178.
- Kaur, M., & Singh, K. (2019). Review on titanium and titanium based alloys as biomaterials for orthopaedic applications. *Materials Science and Engineering: C*, 102, 844-862.
- Kikuchi, M., Takahashi, M., & Okuno, O. (2006). Elastic moduli of cast Ti–Au, Ti–Ag, and Ti–Cu alloys. *Dental Materials*, 22(7), 641-646.
- Korgal, A., Shettigar, A. K., Karanth P, N., & Prabhakar, D. A. P. (2024). Advances in micro electro discharge machining of biomaterials: a review on processes, industrial applications, and current challenges. *Machining Science and Technology*, 28(2), 215-265.

- Kulkarni, M., Mazare, A., Schmuki, P., Iglič, A., & Seifalian, A. (2014). Biomaterial surface modification of titanium and titanium alloys for medical applications. *Nanomedicine*, 111(615), 111.
- Kumar, K.; Singh, V.; Katyal, P.; Sharma, N. (2019) EDM μ -drilling in Ti-6Al-7Nb: Experimental investigation and optimization using NSGA-II. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(5-8): 2727–2738. doi:10.1007/s00170-019-04012-6
- Langer, R., & Peppas, N. A. (2003). Advances in biomaterials, drug delivery, and biotechnology. *AIChE Journal*, 49(12), 2990–3006.
- Leyens, C., & Peters, M. (Eds.). (2006). *Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications*. Wiley-vch.
- Marin, E., Boschetto, F., & Pezzotti, G. (2020). Biomaterials and biocompatibility: An historical overview. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 108(8), 1617–1633.
- Mu, J., Wang, H., Qin, B., Zhang, Y., Chen, L., & Zeng, C. (2021). Improved wear and corrosion resistance of biological compatible TiZrNb films on biomedical Ti6Al4V substrates by optimizing sputtering power. *Surface and Coatings Technology*, 428, 127866.
- Najafizadeh, M., Yazdi, S., Bozorg, M., Ghasempour-Mouziraji, M., Hosseinzadeh, M., Zarrabian, M., & Cavaliere, P. (2024). Classification and applications of titanium and its alloys: A review. *Journal of Alloys and Compounds Communications*, 100019.
- Nguyen, H. D., Pramanik, A., Basak, A. K., Dong, Y., Prakash, C., Debnath, S., ... & Buddhi, D. (2022). A critical review on additive manufacturing of Ti-6Al-4V alloy: Microstructure and mechanical properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 4641–4661.
- Nhlapo, M. (2020). *Impact of Equal Channel Angular Pressing Operational Parameters on the Mechanical Properties of Characterized Titanium-Based Powders* (Master's thesis, Vaal University of Technology (South Africa)).
- Ozaltin, K., Chrominski, W., Kulczyk, M., Panigrahi, A., Horky, J., Zehetbauer, M., & Lewandowska, M. (2014). Enhancement of mechanical properties of biocompatible Ti–45Nb alloy by hydrostatic extrusion. *Journal of Materials Science*, 49, 6930–6936.
- Pasinli, A. (2004). Biyomedikal uygulamalarda kullanılan biyomalzemeler. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(4), 25–34.
- Patel, H. (2021). Blood biocompatibility enhancement of biomaterials by heparin immobilization: a review. *Blood Coagulation & Fibrinolysis*, 32(4), 237–247.
- Peters, M., Kumpfert, J., Ward, C. H., & Leyens, C. (2003). Titanium alloys for aerospace applications. *Advanced engineering materials*, 5(6), 419–427.

- Pina, S., Rebelo, R., Correlo, V. M., Oliveira, J. M., & Reis, R. L. (2018). Bioceramics for osteochondral tissue engineering and regeneration. *Osteochondral Tissue Engineering: Nanotechnology, Scaffolding-Related Developments and Translation*, 53-75.
- Prakasam, M., Locs, J., Salma-Ancane, K., Loca, D., Largeteau, A., & Berzina-Cimdina, L. (2017). Biodegradable materials and metallic implants—a review. *Journal of functional biomaterials*, 8(4), 44.
- Punj, S., Singh, J., & Singh, K. J. C. I. (2021). Ceramic biomaterials: Properties, state of the art and future prospectives. *Ceramics International*, 47(20), 28059-28074.
- Ratner, B. D., & Bryant, S. J. (2004). Biomaterials: where we have been and where we are going. *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, 6(1), 41-75.
- Ronoh, K., Mwema, F., Dabees, S., & Sobola, D. (2022). Advances in sustainable grinding of different types of the titanium biomaterials for medical applications: A review. *Biomedical Engineering Advances*, 4, 100047.
- Salthouse, T. N. (1984). Some aspects of macrophage behavior at the implant interface. *Journal of biomedical materials research*, 18(4), 395-401.
- Schutz, R. W., & Watkins, H. B. (1998). Recent developments in titanium alloy application in the energy industry. *Materials Science and Engineering: A*, 243(1-2), 305-315.
- Shanmugam, K., & Sahadevan, R. (2018). Bioceramics—An introductory overview. *Fundamental biomaterials: ceramics*, 1-46.
- Shukla, A. K., & Balasubramaniam, R. (2006). Effect of surface treatment on electrochemical behavior of CP Ti, Ti-6Al-4V and Ti-13Nb-13Zr alloys in simulated human body fluid. *Corrosion Science*, 48(7), 1696-1720.
- Sidhu, S. S., Singh, H., & Gepreel, M. A. H. (2021). A review on alloy design, biological response, and strengthening of β -titanium alloys as biomaterials. *Materials Science and Engineering: C*, 121, 111661.
- Subedi, M. M. (2013). Ceramics and its importance. *Himalayan Physics*, 4, 80-82.
- Takeda, J., Niinomi, M., & Akahori, T. (2004). Effect of microstructure on fretting fatigue and sliding wear of highly workable titanium alloy, Ti-4.5 Al-3V-2Mo-2Fe. *International journal of fatigue*, 26(9), 1003-1015.
- Tang, G., Liu, Z., Liu, Y., Yu, J., Wang, X., Tan, Z., & Ye, X. (2021). Recent trends in the development of bone regenerative biomaterials. *Frontiers in Cell and Developmental biology*, 9, 665813.
- Veiga, C., Davim, J. P., & Loureiro, A. J. R. (2012). Properties and applications of titanium alloys: a brief review. *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 32(2), 133-148.
- W. Nicholson, J. (2020). Titanium alloys for dental implants: A review. *Prosthesis*, 2(2), 11.

- Warlimont, H. (2018). Titanium and Titanium Alloys. Springer Handbooks. . doi:10.1007/978-3-319-69743-7_7
- Weiss, I., & Semiatin, S. L. (1999). Thermomechanical processing of alpha titanium alloys—an overview. *Materials Science and Engineering: A*, 263(2), 243-256.
- Wu, Y., Zhao, W., & Wang, L. (2024). State of the art and current trends on the metal corrosion and protection strategies in deep sea. *Journal of Materials Science & Technology*.
- Yan, S., Song, G. L., Li, Z., Wang, H., Zheng, D., Cao, F., ... & Zhou, L. (2018). A state-of-the-art review on passivation and biofouling of Ti and its alloys in marine environments. *Journal of materials science & technology*, 34(3), 421-435.
- Yılmaz, Y., Avcı, B., & Demirören, H. (2019, December). Biyomalzeme sektöründe kullanılan titanyum ve alaşımları. In *SETSCI-Conference Proceedings* (Vol. 9, pp. 357-362). SETSCI-Conference Proceedings.
- Yumak, N., & Aslantaş, K. (2020). A review on heat treatment efficiency in metastable β titanium alloys: the role of treatment process and parameters. *Journal of materials research and technology*, 9(6), 15360-15380.
- Zampieri, F. G., Kellum, J. A., Park, M., Ranzani, O. T., Barbeiro, H. V., de Souza, H. P., ... & Pinheiro da Silva, F. (2014). Relationship between acid–base status and inflammation in the critically ill. *Critical Care*, 18, 1-8.
- Zhang, L. C., & Chen, L. Y. (2019). A review on biomedical titanium alloys: recent progress and prospect. *Advanced engineering materials*, 21(4), 1801215.
- Zhang, T., & Liu, C. T. (2022). Design of titanium alloys by additive manufacturing: A critical review. *Advanced Powder Materials*, 1(1), 100014.



BÖLÜM 3

Üreteral Stentler Üzerine Bir İnceleme

Selma Özarslan¹

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 31060, Antakya, HATAY,
ORCID: 0000-0002-7225-1613

Giriş

Üriner sistem; böbrekler, üreterler, mesane ve üretra olmak üzere tipik olarak 4 kısımdan oluşur (Wallace, 1998). Üreterler, ortalama 25 cm uzunluğunda renal pelvisi idrar kesesine bağlayan kasılabilir, tübüler bir kanaldır. Üreter duvarı, tamamı geçiş epiteli (ürotelyum) ile kaplı, proksimalde renal pelvikalisial sistemin ürotelyumu ile ve distalde idrar kesesinin ürotelyal astarı ile sürekli olan bir iç mukozal tabakadan oluşur (Mahadevan, 2019). Üriner sistemde en sık görülen sağlık sorunlarının başında üretra darlığı gelmektedir. Üretra darlıklarının yaklaşık %75'inin iatrojenik yaralanma ve radyasyon tedavisi sonucu oluştuğu bildirilmiştir (Abboudi ve ark., 2013). Üretra darlığı, böbrekten mesaneye idrar akışını engelleyerek hidronefroz, enfeksiyon ve hastalık gibi bir dizi komplikasyona neden olur ve bu da hastaların yaşam kalitesini ciddi şekilde etkiler (Fiuk ve ark., 2015). Üreter darlıklarının semptomları, tam tıkanıklık durumlarında hafif rahatsızlıktan şiddetli böbrek yetmezliğine kadar değişebilir (Gao ve ark., 2024). Üretra darlıklarının tedavisi zordur. İki işlevsel böbrek ünitesinin varlığında tanı gecikebilir çünkü bir böbrek ilerleyici asemptomatik tıkanıklık nedeniyle sessizce işlevini kaybedebilir (Kulkarni, R., 2014). Tıkanıklığın zamanında giderilmesi üretra darlıklarının tedavisinde oldukça önemlidir. Şu anda açık cerrahi, laparoskopik veya robotik rekonstrüksiyon cerrahisi, endoskopik üreterotomi, nefrostomi ve stent yerleştirilmesi dahil olmak üzere çeşitli tedavi seçenekleri mevcuttur (Wang ve ark., 2021). Üretra darlığının tedavisinde, hastanın başka hastalıkları, yaşı, hastanın uyumu ve cerrahin kendi becerisi gibi faktörler tedavinin algoritmasında rol oynar. Fakat kabul görmüş bir gerçek vardır ki o da seçilen tedaviden bağımsız olarak üretra darlıklarının çoğunun tedavi sırasında bir noktada stent gerektireceğidir (Borin, ve McDougall, 2006).

Üreter stentlerin tarihinin eski Mısır'a kadar uzandığı bilinmektedir (Mosayebi, 2018). Fakat "Stent" kelimesi ilk olarak diş hekimi Charles Thomas Stent'in 1800'lü yıllardan beri kullanılan "gutta-perka" malzemesini don yağı ve talk ile bir karışım hazırlayarak kullanması ve buna adını vermesi ile birlikte ortaya çıkmıştır (Roguin, A., 2011). Stenler, Birinci Dünya Savaşı sırasında askerlerin deri greftlerinin sabitlenmesi için kullanılmış ve bundan sonra kardiyovasküler uygulamalardan beyin anevrizma tedavisinden üroloji de dahil olmak üzere farklı tıbbi alanlara yayılmıştır (Khan ve ark., 2024). Açık mesane cerrahisi yoluyla idrar sisteminin içine bir tüp yerleştirilmesini içeren üreter kateterizasyonunun ilk prosedürü 1900 yılında Gustav Simon tarafından gerçekleştirilmiştir (Pansota ve ark., 2013). 1960'larda, tüpün sterilizasyonuna izin veren ve böylece enfeksiyon riskini azaltan termal dirence ek olarak yumuşak yapıları nedeniyle silikon üreter

tüpleri tasarlanmıştır (Schulze ve ark., 1985). Tıp alanındaki malzeme arayışı tarihin en eski zamanlarından bugüne teknolojinin de gelişimi ile birlikte önemli ilerlemelere sahne olmuştur. Günümüzde halen üreter stentlerin gelişimi büyük bir hızla devam etmektedir.

Stentlerin biyolojik bütünlüğü, dış tabakası ile idrar arasındaki yüzey koruyucu proteinlerin uygunluk derecesindeki değişiklikler tarafından etkilenmektedir. Bu nedenle ideal bir üreteral stent tasarlanırken aşağıda ifade edilen temel özellikleri göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Bernascon ve ark., 2023).

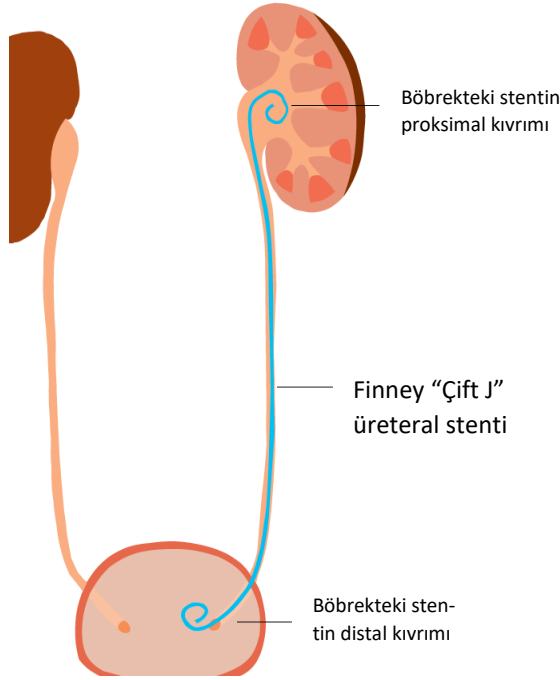
- Elastikiyet ve hafıza
- Çekme mukavemeti ve uzama kapasitesi
- Biyodayanıklılık
- Biyouyumluluk
- Sürtünme katsayısı
- Radyoopasite

Mühendisler ve bilim insanları son yıllarda özellikle mekanik mukavemet, esneklik, biyouyumluluk, yüzey pürüzlülüğü ve maliyet etkinliğine odaklanarak üreter stentleri için optimum yapısal malzemeleri belirlemek için çalışmalar gerçekleştirmektedirler (Mosayyebi, 2018). Üreter stentler, yapılan çalışmalar ışığında polimerler ve metaller olarak iki ana grupta toplanmıştır. Chew ve ark., 2010, Wei-Jun ve ark., 2012). Fakat biyobozunur malzemeler üzerine gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda biyobozunur üreteral stentlerde üçüncü bir malzeme grubu olarak değerlendirilecektir.

Polimerik Üreteral Stentler

Geleneksel polimer üreteral stentler için polietilen, silikon ve poliüretan gibi bozunmayan malzemeler klinik olarak kullanılmaktadır. Geleneksel polimer stentler, mükemmel biyouyumlulukları, rahat kullanımları, mükemmel kimyasal stabilite ve düşük maliyetleri nedeniyle klinik tedavide yaygın olarak kullanılmaktadır (Mosayyebi ve ark., 2018). İlk üreter stentler migrasyon, enfeksiyon ve kabuklanma gibi komplikasyonlarla ilişkilendirilen üreter kateterleri olarak bilinmektedir. Polietilen stentlerin insanlarda kullanımı ilk olarak 1952'de Tulloch tarafından gerçekleştirilmiştir. Polietilenin dayanıklılığı ve su itici yapısı ne-

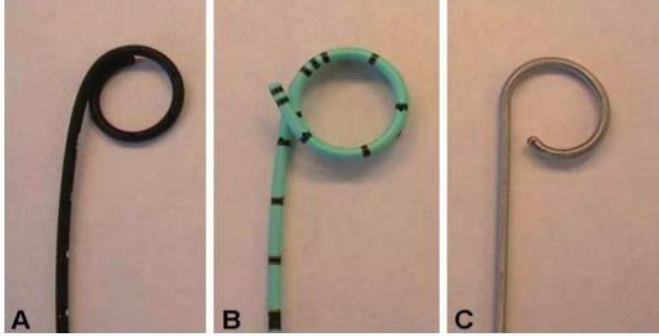
deniyle umut vadeden bir malzeme olduğu düşünülüyordu. Fakat, yukarıda belirtilen sonraki on yıllarda stentlerle ilişkilendirilecek sorunlara maruz kalmıştır. İlk silikon üreter stentleri 1960’larda Zimskind tarafından geliştirilmiş ve uzun süreli, etkili drenaj sağlamıştır. Fakat stentin migrasyonu önemli bir soruna neden olmuştur. Şekillerinin düz olması onları yer değiştirmeye yatkın hale getirdiğinden bu hareketi önlemek için yakalar, kanatlar, flanşlar ve dikenler geliştirilmiştir. Finney, 1970’lerde hem proksimal hem de distal hareketi önlemeye yardımcı olan çift 'pigtail' stent geliştirmiş ve böylelikle modern üreter stentler ortaya çıkmıştır (Williams ve ark., 2018) (Şekil 1).



Şekil 1. Çift J üreteral stent gösterimi (A brief history of ureteral stents Dr. Mike Nguyen, October 29, 2013)

Finny ve arkadaşları tarafından geliştirilen silikondan yapılan bu çift J stentler uzun bir süre üreter stent pazarına hâkim olmuştur. Çift J stenti yerleştirmek kolaydır, migrasyona karşı koyar ve üretimi uygun maliyetlidir. Temel tasarımı polimerik, metalik ve ilaç salan stentlerde uygulama için temel olmuştur (Lundeen ve ark., 2020). Fakat bu son derece biyouyumlu biyomalzeme, düşük çekme dayanımı ve yüksek sürtünme katsayısının stent yerleştirilmesini sıklıkla engelle-

mesi nedeniyle son on yılda kullanımdan kalkmıştır. Silikon stentler şu anda yalnızca vakaların yaklaşık %6'sında kullanılırken, yakın zamanda avantajlı biyouyumlulukları hakkında raporlar ortaya çıktığı için, yeniden bir canlanma yaşayabilmeleri de mümkün görünmektedir (Janssen ve Tailly, 2022). Şekil 2'de bazı çift pigtail stent çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Çift pigtail stent çeşitleri: A. Slikon, B. Poliüretan, C. Metal (Altunay, 2012)

Metalik Üreteral Stentler

İdrar yolu tıkanıklığını açmak için kullanılan ilk malzemelerin başında metaller gelse de piyasada en sık kullanılan stentler polimerik olanlardır. Fakat polimerlerde karşılaşılan sorunlar nedeniyle araştırmalar tekrar metaller üzerine yoğunlaşmıştır. Üreterde kullanılan ilk metalik stentler paslanmaz çelikten (Wallstent, Palmaz-Schatz) yapılmıştır ve sonrasında esas olarak nitinol (nikel titanyum oksit) ve diğer alaşımlar (tantal, platin, niyobyum, kobalt vb.) ile PTFE (politetrafloroetilen) veya polimer kaplamalı veya kaplamasızlar olmuştur (Rako, 2022).

Metalik stentlerin polimerik stentlerle karşılaştırıldığında mekanik olarak üstün özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Metal içeren stentler daha sünek, işlenebilir, kalıplanabilir ve sıkıştırmaya daha dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda birçoğu kendiliğinden genişleyebilir, balonla genişletilebilir veya şekil hafızalı özellik kazandırılabilir. Metalik stentler çift J stentler ile karşılaştırıldığında daha az morbidite ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Fakat metalik stentlerde epitel hiperplazisine ve bu hiperplastik dokunun içe doğru büyümesine neden olurlar ve stent değişimi zor olabilir (Bernascon ve ark., 2023). Metal stentler yerleştirme ve çıkarma prosedürlerinin karmaşık ve pahalı olması, metal mal-

zemenin diğer bozunabilir malzemelerle karşılaştırıldığında doku uyumluluğunun olmaması ve yabancı cisim olarak implantasyondan sonra iltihaplanma gibi bir dizi komplikasyona neden olmasının kolay olması gibi de javantajlara sahiptir. Bu nedenle bozunmayan metaller yerine biyobozunur metaller iyi bir alternatif olarak düşünülmektedir (Elsamra ve ark., 2015; Wen ve ark., 2024).

Biyobozunur Üreteral Stentler

Üreter stentler hastalığın tedavisinde etkili olarak kullanılmasına rağmen hala enfeksiyon, stent yüzeyinde kabuklanma, morbidite ve hematüri gibi çeşitli komplikasyonlara sahiptir (Xia vd., 2023). Çift J üreter stentleri ürolojik uygulamada oldukça önemli bir malzemedir. Endikasyona bağlı olarak bir stent geçici veya kalıcı olarak yerleştirilebilir. Ancak uzun süreli stent takılması durumunda, uzun süreli kalma süreleriyle ilişkili komplikasyonları önlemek için düzenli değiştirilmeleri gereklidir. Bu nedenle stentler genellikle 3 ila 6 ay sonra değiştirilir (Geavlete ve ark., 2021). En yaygın görülen üreteral komplikasyonlardan biri hasta tarafından unutulmuş stentlerdir (Şekil 4). Kabuklanma ve taş oluşumları olan unutulmuş stentlerin çıkarılması ise oldukça zordur (Aboutaleb, 2021). Üreteral stentlerin çıkarılması sistoskopi ile ikinci bir invaziv prosedür gerektirmektedir. Bu ikincil cerrahi, hematüri ve üreter darlığı gibi postoperatif komplikasyon riskini artırır. Pediatrik hastalarda, stentin çıkarılması ek genel anestezi gerektirir (Monga vd., 1995). Yapılan çalışmalarda stentlerin erken çıkarılmasının enfeksiyon riskini de önemli derecede azalttığı bildirilmiştir (Wang ve ark., 2022). Dolayısıyla hem ikinci bir operasyon riskini hem de ameliyat maliyetini ortadan kaldırmak amacıyla yeni üreteral stentlerin tasarlanması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Biyobozunur malzemeler sağlık alanında uygulama bulmasıyla birlikte üroloji de de polimerik üreteral stentlere bir alternatif olarak değerlendirilmiştir. Bu açıdan bakıldığında ideal bir üreteral stent, üst kanal drenajını optimize etmek için idrar akışını mükemmel bir şekilde sürdürebilmeli, enfeksiyona ve kabuklanmaya karşı dirençli olmalı ve emilebilir olmalıdır (Lange vd., 2015).



Şekil 3. Resimde, soyulmuş dış tabakası ve üzerinde çok sayıda taş çakıl bulunan çıkarılmış unutulmuş çift J stenti görülmektedir ((Aboutaleb, 2021).

Ürologların çoğu üreteral dilatasyondan sonra stent yerleştirilmesini rutin olarak uygulamaktadır (Huang vd., 2020). Bazı çalışmalar, ürologların yaklaşık %60-85'inin stenti yedi günden az bir süre için kullandığını göstermiştir (Auge vd., 2007; Lange ve Chew, 2009). Dolayısıyla bu geçici ihtiyaç üreteral stent kullanımında biyobozunur malzeme arayışını gündeme getirmiştir. Biyobozunur üreteral malzemeler doğal polimerler, sentetik polimerler ve metalik malzemeler olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Bu malzemelerin üreter stent olarak kullanımı halen deneysel aşamadadır. Biyobozunur üreteral stentlerin bozunma hızının ayarlanması ve bozunma parçalarının boyutunun yönetilmesi aşılması gereken zorlukların başında gelmektedir. Bununla birlikte, biyomalzeme özelliklerini ve biyoyumluluğu iyileştirerek stent tasarımında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Hala deneysel araştırma aşamasında olmasına rağmen, biyobozunur üreteral stentler gelecekteki klinik uygulamalar için umut vaat etmektedir (Hu ve ark., 2024).

Üreter stentler için doğal biyobozunur malzemeler arasında aljinat, jelatin, kitosan ve hiyaluronik asit bulunurken, sentetik polimer malzemeler arasında polilaktik asit, poliglikolik asit ve polilaktik asit-glikolik asit bulunur. Doğal stentlerden ve/veya onların karışımından elde edilen üreteral stentlerin başarılı olduğu deneyler ile gösterilmiştir. Aynı zamanda doğal biyobozunur polimerler ile ilaç salınımlarında da başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Hu ve ark., 2024). Sentetik biyobozunur polimerlerin ise yapılan in vivo deneylerle farklı bozunma oranlarına sahip olduğu bildirilmiştir. Bu malzeme araştırmalarında önemli gelişmelere rağmen,

men, çeşitli PLGA üreter stentleri hala sertlik, yüksek kırılmalık, zayıf şekil hafızası, içsel stabilite eksikliği ve bozunma süreci sırasında üreter tıkanıklığına yol açan çoklu kırılma olayları gibi dezavantajlara sahiptir (Wang ve ark., 2015; Hu ve ark., 2024). Bununla birlikte, polimerik stentler, malign bir dış üreter obstrüksiyonunda oluşturulanlar gibi dış kompresyon kuvvetlerine direnme konusunda sınırlı bir yeteneğe sahiptir. Bunun nedeni, çoğu zaman bozunmayan alaşımlardan yapılmış metal bir iskelet ile takviye edilmelerine neden olan içsel düşük mukavemetleridir (Pedro vd., 2007; Hendlin vd., 2011).

Bu noktada korozyona uğrayabilen metaller, biyobozunur üreteral stentler için ideal malzemeleri oluşturmaktadır. Mg, Fe ve Zn gibi biyomalzemelerin kardiyovasküler ve ortopedi alanında başarılı uygulamalar sonrasında üreteral stent arayışı içinde bir çözüm olarak araştırmaların bu alaşımlar üzerinde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Biyobozunur metaller arasında Fe esaslı alaşımların bozunma hızı genellikle çok yavaştır, bunun sonucunda implantlar klinik rollerini bitirdikten sonra bile insan vücudunda çok uzun süre kalırlar.

Lock vd. (2014), Mg, Mg-Y ve Mg-3Al-1Zn'nin (AZ31) yapay idrardaki bozunma ve antibakteriyel özellikleri üzerine bir çalışma yürütmüş ve bu çalışma ürolojik uygulamalar için biyobozunur metallerin potansiyelini ilk gösteren çalışma olmuştur. Zhang vd. (2016; 2017) Mg, Mg-6Zn ve Mg-5.4Zn-0.5Zr (ZK60) implantasyonunun, implantı çevreleyen sıçanın mesane dokusunda herhangi bir yan etki göstermediğini ve karaciğer ve böbreklere karşı hiçbir toksisite belirtisi göstermediğini bildirmişlerdir. Tie vd. (2020) yapay idrar solüsyonunda Mg'nin korozyon direncini araştırmak için ön korozyon testleri gerçekleştirmiştir. Sonuçlar Mg'nin biyobozunur üreteral stent olarak kullanımı için uygun olduğunu göstermiştir. Bozunma testleri, saf Mg'nin, yapay vücut sıvılarında ve yapay idrarda ve sıçanların mesanesinde alaşımlardan çok daha hızlı aşındığını göstermiştir. Bununla birlikte, daha önceki korozyon çalışmaları, korozyon tabakasının oluşumunu değerlendirmemiştir. İdrarın iyonik içeriği ile reaksiyona girerek üreteral stent yüzeyi kolaylıkla kalsifiye olabilir. Enkrustasyon olarak bilinen bu durum, üreteral stentlerle ilgili olarak şu anda karşılaşılan temel sorunlardan biridir (Lange ve Chew, 2009). Dolayısıyla yapılan araştırmalar ışığında magnezyum ve magnezyum alaşımlarının biyobozunur üreteral stent uygulamasında geliştirilebilir ve ümit vadeden bir malzeme olduğu düşünülmüştür.

Üreteral stentler ile ilgili mevcut durum

Günümüzde halen klinik uygulamalarda bozunmayan üreteral stentler kullanılmaktadır. Bu tür stentlerin kullanımı oldukça fazla komplikasyon ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Biyobozunur üreteral stentler geliştirme aşamasında olup henüz ideal üreteral stent geliştirilmemiştir. Bu nedenle araştırmacıların yüksek biyouyumluluğa sahip, orta düzeyde mekanik dayanım sergileyen, bozunma ürünlerinin neden olduğu tıkanıklığın görülmediği bozunma gösteren, migrasyonu engelleyen, işlenebilir malzemelerin geliştirilmesi yönünde çalışmalarına devam etmesi gerekmektedir.

İlerleyen zamanlarda tıp ve malzeme bilimi araştırmacılarının multidisipliner çalışmaları ile ideal biyobozunur üreteral stentlerin mevcut gereksinimleri karşılayacak ölçüde geliştirileceği ve bu yönde ümit vadeden bir malzeme olacağı düşünülmektedir. Özellikle biyobozunur üreteral stentlerin geliştirilmesiyle ikincil ameliyat risklerinin, ameliyat maliyetlerinin, uzun süreli stent kullanımından kaynaklanan kabuklanma, enfeksiyon ve migrasyon gibi sorunların ve stent unutulması vakalarının önüne geçilmesi sağlanacaktır.

Kaynaklar

- Abboudi, H., Ahmed, K., Royle, J., Khan, M. S., Dasgupta, P., & N'dow, J. (2013). Ureteric injury: a challenging condition to diagnose and manage. *Nature Reviews Urology*, 10(2), 108-115.
- Aboutaleb, H. (2021). A neglected double J ureteral stent for 10 years: a rare case report. *Urology case reports*, 36, 101570.
- Altunal, L. N. (2012). Üreteral stent takılan hastalarda üriner sistem enfeksiyonunun risk faktörlerinin, etkenlerinin ve antibiyotik duyarlılıklarının saptanması.
- Bernasconi, V., Tozzi, M., Pietropaolo, A., De Coninck, V., Somani, B. K., Tailly, T., ... & Talso, M. (2023). Comprehensive overview of ureteral stents based on clinical aspects, material and design. *Central European Journal of Urology*, 76(1), 49.
- Borin, J. F., & McDougall, E. M. (2006). Ureteral stent for ureteral stricture. *Interventional Management of Urological Diseases*, 75-86.
- Chew, B. H., Lange, D., Paterson, R. F., Hendlin, K., Monga, M., Clinkscales, K. W., ... & Hadaschik, B. A. (2010). Next generation biodegradable ureteral stent in a yucatan pig model. *The Journal of urology*, 183(2), 765-771.
- Elsamra, S. E., Leavitt, D. A., Motato, H. A., Friedlander, J. I., Siev, M., Keheila, M., ... & Okeke, Z. (2015). Stenting for malignant ureteral obstruction: Tandem, metal or metal-mesh stents. *International Journal Of Urology*, 22(7), 629-636.
- Fiuk, J., Bao, Y., Calleary, J. G., Schwartz, B. F., & Denstedt, J. D. (2015). The use of internal stents in chronic ureteral obstruction. *The Journal of urology*, 193(4), 1092-1100.
- Gao, X., Di, X., Chen, G., Wang, W., Peng, L., Chen, J., & Wei, X. (2024). Metal ureteral stents for ureteral stricture: 2 years of experience with 246 cases. *International Journal of Surgery*, 110(1), 66-71.
- Geavlete, P., Georgescu, D., Muțescu, R., Stanescu, F., Cozma, C., & Geavlete, B. (2021). Ureteral stent complications—experience on 50,000 procedures. *Journal of Medicine and Life*, 14(6), 769.
- Hendlin, K., Korman, E., & Monga, M. (2012). New metallic ureteral stents: improved tensile strength and resistance to extrinsic compression. *Journal of endourology*, 26(3), 271-274.
- Hu, K., Hou, Z., Huang, Y., Li, X., Li, X., & Yang, L. (2024). Recent development and future application of biodegradable ureteral stents. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1373130.
- Janssen, P., & Tailly, T. (2022). New stent technologies. *Urologic Clinics*, 49(1), 185-196.

- Khan, S. A., Rahman, Z. U., Javed, A., Ahmad, Z., Cai, Z., Jiang, O., & Xu, G. (2024). Natural biopolymers in the fabrication and coating of ureteral stent: An overview. *Biomaterials Advances*, 214009.
- Kulkarni, R. (2014). Metallic stents in the management of ureteric strictures. *Indian Journal of Urology*, 30(1), 65-72.
- Lange, D., & Chew, B. H. (2009). Update on ureteral stent technology. *Therapeutic advances in urology*, 1(3), 143-148.
- Lock, J. Y., Wyatt, E., Upadhyayula, S., Whall, A., Nunez, V., Vullev, V. I., & Liu, H. (2014). Degradation and antibacterial properties of magnesium alloys in artificial urine for potential resorbable ureteral stent applications. *Journal of biomedical materials research Part A*, 102(3), 781-792.
- Lundeen, C. J., Forbes, C. M., Wong, V. K., Lange, D., & Chew, B. H. (2020). Ureteral stents: the good the bad and the ugly. *Current Opinion in Urology*, 30(2), 166-170.
- Mahadevan, V. (2019). Anatomy of the kidney and ureter. *Surgery (Oxford)*, 37(7), 359-364.
- Mosayyebi, A., Manes, C., Carugo, D., & Somani, B. K. (2018). Advances in ureteral stent design and materials. *Current urology reports*, 19, 1-9.
- Pansota, M. S., Rasool, M., Saleem, M. S., Tabassum, S. A., & Hussain, A. (2013). Indications and complications of double J ureteral stenting: our experience. *Gomal Journal of Medical Sciences*, 11(1).
- Pedro, R. N., Hendlin, K., Kriedberg, C., & Monga, M. (2007). Wire-based ureteral stents: impact on tensile strength and compression. *Urology*, 70(6), 1057-1059.
- Rako, D. (2022). Indications, complications and side effects of metallic ureteral stents. In *Urinary Stents: Current State and Future Perspectives* (pp. 21-29). Cham: Springer International Publishing.
- Roguin, A. (2011). Stent: the man and word behind the coronary metal prosthesis. *Circulation: Cardiovascular Interventions*, 4(2), 206-209.
- Schulze, K. A., Wettlaufer, J. N., & Oldani, G. (1985). Encrustation and stone formation: complication of indwelling ureteral stents. *Urology*, 25(6), 616-619.
- Tie, D., Liu, H., Guan, R., Holt-Torres, P., Liu, Y., Wang, Y., & Hort, N. (2020). In vivo assessment of biodegradable magnesium alloy ureteral stents in a pig model. *Acta Biomaterialia*, 116, 415-425.
- Wallace, M. A. (1998). Anatomy and physiology of the kidney. *AORN journal*, 68(5), 799-820.
- Wang, X., Shan, H., Wang, J., Hou, Y., Ding, J., Chen, Q., ... & Chen, X. (2015). Characterization of nanostructured ureteral stent with gradient degradation in a porcine model. *International Journal of Nanomedicine*, 3055-3064.

- Wang, Z., Xiao, M., Guo, F., Yan, Y., Tian, H., Zhang, Q., ... & Yang, L. (2023). Biodegradable polyester-based nano drug delivery system in cancer chemotherapy: a review of recent progress (2021–2023). *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1295323.
- Wang, W., Gao, X., Chen, J., Liu, Z., Peng, L., & Wei, X. (2021). Metal stent for the ureteral stricture after surgery and/or radiation treatment for malignancy. *BMC urology*, 21, 1-7.
- Fu, W. J., Wang, Z. X., Li, G., Cui, F. Z., Zhang, Y., & Zhang, X. (2012). Comparison of a biodegradable ureteral stent versus the traditional double-J stent for the treatment of ureteral injury: an experimental study. *Biomedical materials*, 7(6), 065002.
- Wen, K. C., Li, Z. A., Liu, J. H., Zhang, C., Zhang, F., & Li, F. Q. (2024). Recent developments in ureteral stent: substrate material, coating polymer and technology, therapeutic function. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 113916.
- Williams, K. G., Blacker, A. J., & Kumar, P. (2018). Ureteric stents: the past, present and future. *Journal of Clinical Urology*, 11(4), 280-284.
- Xia, K., Shen, X., Ang, X., Hou, B., Chen, Y., Zhang, K., & Hao, Z. (2023). Surface modification of ureteral stents: development history, classification, function, and future developments. *Expert Review of Medical Devices*, 20(5), 401-416.
- Zhang, S., Bi, Y., Li, J., Wang, Z., Yan, J., Song, J., ... & Li, Y. (2017). Biodegradation behavior of magnesium and ZK60 alloy in artificial urine and rat models. *Bioactive Materials*, 2(2), 53-62.
- Zhang, S., Zheng, Y., Zhang, L., Bi, Y., Li, J., Liu, J., ... & Li, Y. (2016). In vitro and in vivo corrosion and histocompatibility of pure Mg and a Mg-6Zn alloy as urinary implants in rat model. *Materials Science and Engineering: C*, 68, 414-422.



BÖLÜM 4

Biyolojik Savaş Unsurlarının Temel Özellikleri

Sezer Ongun¹ & İrem Uluişik Yılmaz² & Kübra Yakıncı³

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik Nükleer Tehditler Yönetimi Anabilim Dalı, İskenderun/Hatay, Türkiye. ORCID:0009-0004-1963-3358

² İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İskenderun/Hatay, Türkiye. ORCID: 0000-0001-8880-4078

³ İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, İskenderun/Hatay, Türkiye. ORCID: 0000-0003-1257-1532

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin başlangıcından beri çeşitli gruplar, devletler veya milletler arasında kendini savunmak, su ve yiyecek kaynaklarını korumak, yeni topraklar elde etmek veya toplum arasında korku ve panik yaratmak gibi türlü amaçlarla savaşlar veya saldırılar gerçekleştirilmiştir. İnsanoğlu savaş ve saldırılarda karşı-sındaki gruplardan daha güçlü hale gelmek için çeşitli silahlar kullanmış ve buna bağlı olarak sürekli farklı silah arayışı içinde olmuştur. Bu bağlamda, eski çağlarda henüz mikroorganizma, virüs ve bakteri kavramları hakkında bilgi sahibi değilken dahi bunları savaş silahı olarak kullanmayı başarmış ve bu silahların büyük kitleleri etkilediklerini gözlemleyerek tarih boyunca da kullanmaktan vazgeçmemişlerdir.

İnsanların, hayvanların ve bitkilerin ölümüne ya da hastalanmalarına neden olan organizmalar ya da bu organizmaların ürettiği zehirli maddeler “*Biyolojik ajanlar*” olarak bilinmektedir. Biyolojik ajanların yukarıda belirttiğimiz canlı popülasyonunda ölüm ya da hastalık şeklinde kasıtlı olarak uygulanması ve beraberrinde yayılmasının sağlanması ise “*Biyolojik saldırı*” olarak ifade edilmektedir. En korkutucu yönleri ise biyolojik ajanların doğada mevcut olup hastalık yapma kabiliyetlerinin arttırılması, mevcut ilaçlara dirençli hale getirilmesi ya da çevrede yayılma yeteneklerinin arttırılması gibi değişikliklere uğratılabilmeleridir. Biyolojik ajanların, havaya püskürtülmeleri, hastalığı insanlara taşıyan hayvanların enfekte edilmesi ya da su kaynakları ile gıdaların biyolojik ajanlarla kirletilmesi suretiyle hızla yayılmaları sağlanabilmektedir. Dolayısıyla, tespit edilmeleri oldukça zor olup, hastalığa neden olmaları zaman aldığından biyolojik saldırılar ciddi tehlike oluşturmaktadır.

1.1. Biyolojik Savaş tarihi

Biyolojik ajanların milletler ve halklar tarafından silah olarak kullanılması oldukça eski zamanlara dayanmaktadır. Hatta ilk biyolojik vaka, yaşadığımız coğrafya olan Anadolu’da karşımıza çıkmaktadır. M.Ö. 1500-1200 yıllarındaki Hitit metinlerinde geçen Tularemi kurbanlarının düşman topraklarına sürülüp salgına yol açtığı şeklinde gerçekleşen vaka tarihteki ilk biyolojik silah kullanma olayı olarak bilinmektedir. M.Ö. önce 3. yüzyılda Kartacalı komutan Hannibal ise Bergamon Kralı II. Eumenes’e ait düşman filosunun üstüne zehirli yılanlarla dolu kapları attırmıştır. Yine, M.Ö. 6.yüzyılda İskitlerin, savaşçılarının gömülü olduğu kurganlarda yapılan araştırmalarda ise oklarının yılan zehriyle bezenmiş olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 6. yüzyıl dolaylarında antik Mısır’da akrep zehiri ile çeşitli silahlar kullanılmıştır. M.Ö. 326 yılında Siciliyalı Diodorus Büyük İsken-

der'in ordusuna karşı Pakistan ve Hindistan'da zehirli silahlarla saldırıldığı açıklanmıştır. Benzer bir olay Selçukluların kendilerinden çok daha güçlü olan Gaznelilerle girdikleri mücadelede su kuyularını zehirlemeleri şeklinde gerçekleşmiştir. Bizans ile yapılan Miryakefolon Savaşı'nda da 2. Kılıçarslan su kuyularına hayvan leşleri atarak düşmanları yıpratmıştır. Avrupada da yaşanan benzer bir olay Tortona Kuşatması'nda Kutsal Roma İmparatoru Frederick Barborossa, kaleyi ele geçirebilmek için kalenin su kaynağını cesetlerle ve farklı maddelerle tahrip etmesidir. Tarihçi Jean Fraissart ise 100.yıl Savaşları anılarında kale kuşatmalarında hayvan leşlerinin kullanıldığı bilgisini vermiştir. Kısacası eski ordular yılan, akrep zehri, mikroplu oklar atarak ya da su kaynaklarını kirleterek farkında olmadan bir biyolojik savaş ortaya çıkarmışlardır.

Aslında biyolojik silah kullanımının tarihçesine ilişkin birçok kaynakta 1346 yılında Kefe kuşatmasında Tatarların salgın oluşturmak için vebadan ölmüş insan cesetlerini mancınkla şehrin içine attıkları geçer. Günümüzde Ukrayna sınırları içinde kalan ve Feodosya olarak bilinen Kefe şehrinde o zamanlar bir veba salgını ortaya çıkmıştır. Bu salgın bazı tarihçiler tarafından Tatarların saldırılarıyla ilişkilendirilir. Fakat farelerin yaygınlaşması gibi diğer epidemiyolojik unsurlar da bu salgından sorumlu olmuş olabilir. Bir diğer olay, 1756-1763 yılları arasında İngiltere ve Fransa arasında yapılan Yedi Yıl Savaşlarında çiçek virüsünün kullanımıdır. İngilizler çiçek virüsü bulaştırılmış battaniyeleri Kızılderililere dağıtarak bir salgın oluşturmuş ve bu şekilde Kızılderili kabilelerinin İngiliz yerleşimcilere karşı mücadele etmelerini engellemişlerdir. Bu metot Amerikan İç Savaşı'nda da kullanılmıştır. Konfederasyonu destekleme amacıyla çiçek ve sarıhumma bulaştırılmış elbiseler Birlik Kuvvetlerine satılmıştır.

Tarihte biyolojik ajanların kullanımı etkinliği artarak devam etmiştir. Birinci Dünya Savaşı'nda Almanlar düşmanlarının at ve sığırlarına gizlice şarbon ve ruam hastalıklarını bulaştırmıştır. Almanların Ruslara karşı 1915 yılında veba kullandıklarına ve İtalya'ya karşı kolera kullanma girişimde bulunduklarına dair raporlar da mevcuttur. 1932 ve 1945 yılları arasında Japonya 731. Birim adı verilen birimde biyolojik silah araştırmaları gerçekleştirmiş ve üzerinde araştırma yaptığı on binin üstünde savaş esirinin şarbon, menenjit, kolera ve vebadan ölmesine sebep olmuştur. Japonya deneylerine Çin halkına karşı kullandığı biyolojik ajanlarla devam etmiş ve en az 11 Çin şehrine yaptığı biyolojik saldırılarla tifo, kolera ve veba salgınları oluşturarak on binlerce insanın ölümüne sebep olmuştur. Saldırıları suların ve gıda kaynaklarının biyolojik ajanlarla kirletilmesi, bakteri içerikli bomba atılması gibi yöntemlerle gerçekleştirilmiştir.

Mançurya bölgesinde Japonlar tarafından kullanılmış metotlardan biri uçaklardan veba mikrobi taşıyan pirelerle dolu pirinç atılması olmuştur. Bu pirinci

yiyecekler ve mikrobu taşıyıcı hale gelmiştir. Böylece hastalığın insanlar üstünde geniş bir coğrafya boyunca yayılması için gerekli koşullar yaratılmıştır. Milletler Cemiyeti Japonya'nın Mançurya'da gerçekleştirdiği bu faaliyetleri araştırmak için bölgeye bir heyet gönderdiği zaman Japon askerleri heyetin gıdalarına kolera bulaştırma girişiminde bulunmuşlardır.

İkinci Dünya Savaşı'nın sonunda Japonya biyolojik savaş programına son vermiş ve tüm biyolojik silah tesislerini imha etmiştir. 1982 yılında Japonya hükümeti tarafından yayınlanan raporda biyolojik savaş ile ilgili deneylerin olağanüstü savaş zamanında meydana geldiği ve insanlık açısından üzücü olduğu belirtilmiştir. İkinci Dünya Savaşı'nı ve Japonya'nın biyolojik savaş programını takiben Amerika Birleşik Devletleri de kendi biyolojik silah programını başlatmıştır. Programda ilk olarak tahıl ürünlerine karşı kullanılacak bitki yok edici patojenler üstüne çalışılmıştır.

ABD tarafından insanlara karşı kullanılmak üzere silaha dönüştürülmüş ilk ajan, hayvanları da enfekte eden Brusella bakterisi olmuştur. Amerikan ordusu tarafından silahlaştırılan ve stoklanan diğer ajanlar; antraks (şarbon), botulinum toksini, tularemi, Q ateşi, stafilokokal enterotoksin B (SEB), Venezuela At Ensefaliti olmuştur. 1969 yılında ABD biyolojik silah programını durdurduğunu ilan etmiştir. Toplumlar ve hükümetlerin biyolojik silahlara karşı gösterdikleri tepkiler uluslararası bir anlaşmanın ortaya çıkmasını sağlamıştır. 1972 yılında, genelde Biyolojik Silahlar Anlaşması olarak adlandırılan "Bakteriyolojik ve Toksin Silahlarının Geliştirilmesi, Üretimi ve Depolanması ve İmhası"na dair anlaşma 79 ülke tarafından imzalanarak 1975 yılında yürürlüğe girmiştir. Bugün 170'den fazla ülkenin taraf olduğu bu anlaşma biyolojik ajanların saldırı amaçlı geliştirilmesi, üretilmesi, stoklanması, temin edilmesi ve kullanılmasını yasaklamaktadır. Ancak bu anlaşmaya rağmen dünyamızda biyolojik silahların kullanımı devam etmiştir. Yakın Tarih Sovyetler Birliği de bu anlaşmayı imzalamış olmasına rağmen şarbon ve çiçek virüsü gibi ajanları üreterek ve stoklayarak geniş bir biyolojik silah programı yürütmeye devam etmiştir. Programın eski başkan yardımcısı Rus ordusunun çiçek virüsü taşıyan bombalar ve kıtalararası balistik füzeler ürettiğini bildirmiştir.

1979 yılında Sverdlovsk askeri üssünde çalışan Sovyet teknisyenler kritik hava filtrelerini çalıştırmada başarısızlığa düşünce yaklaşık bir gramlık şarbon sporları kazara havaya karışarak etrafa yayılmış ve 68 kişinin ölümüne, yaklaşık 100 hektarlık bir alanın yerleşime kapanmasına sebep olmuştur. Bu olay da biyolojik ajanlarla çalışmanın ne kadar tehlikeli olduğunu göstermektedir. Ancak ne yazık ki, 20. yüzyılın başlarından itibaren ordular artık biyolojik savaş için birimler kurmaya hatta insanlar üzerinde deneyler yapmaya başlamıştır.

1990'larda dini bir terörist örgüt olan Aum Shinrikyo Tokyo'da şarbon ve botulinum toksini ile saldırı yapma girişimlerinde bulunmuş fakat başarılı olamamıştır. 1995 yılında bu örgüt Japonya'da kimyasal maddeler ile gerçekleştirdiği saldırılarda 5.000 kişinin etkilenmesine, 1.000 kişinin hastaneye kaldırılmasına, 19 kişinin de ölmesine sebep olmuştur. Bu saldırı en kötü şöhretli terörist saldırılardan biri olarak tarihe geçmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde de yakın tarihte biyolojik saldırılar gerçekleştirilmiştir. 1984 yılında Rajneeshe mezhebine ait teröristler Oregon'da 10 tane yerel restoranda salata barlarına *Salmonella typhimurium* bulaştırmışlardır. Olayda 751 kişide bağırsak enfeksiyonu olduğu rapor edilmiştir. Mezhebin amacı oy vermeye gidecek vatandaşların sayısını azaltarak yerel seçimi etkilemek olmuştur. Yetkililer mezhebin bu olaydan sorumlu olduğunu bir sene sonra başka bir soruşturma sırasında tespit etmişlerdir. Bu örnek biyolojik saldırıların tespit edilmesinin güçlüğü ve denetleme metotlarının bu tür olayların sebebini belirlemedeki yetersizliğini göstermektedir.

1997-1999 yılları arasında belirli kurum ve kuruluşlara yaklaşık 50 tane şüpheli toz içeren posta gönderilmiş, fakat bu postaların hiç birinin gerçek şarbon taşımadığı tespit edilmiştir. Bu olaylar halk arasında korku yaratmış ve kamusal sağlık kaynaklarına zarar vermiştir. 11 Eylül saldırılarını takip eden haftalarda değişik kurumlara gönderilen postaların ise şarbon içerdiği tespit edilmiş ve bu olaylar toplamda 22 kişinin enfekte olmasına ve 5 kişinin de ölümüne sebep olmuştur. 2014 Kasım ayında ülkemizde de farklı başkonsolosluklara ve Ankara Adliye Sarayı'na sarı renkli toz madde içeren mektuplar gönderilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda şüpheli toz materyalde herhangi bir biyolojik ajana rastlanmamıştır. Biyoterörizm günümüzde giderek büyüyen bir tehdittir. Bugün 17 ülkenin aktif olarak yürüttüğü biyolojik silah programı olduğu düşünülmektedir.

2. Biyolojik Savaş Unsurları

Biyolojik savaş unsurlarının tarihsel gelişimi süresince savaşlarda sık sık kullanıldığı anlaşılmaktadır. Günümüzde özellikle biyoloji, biyoteknoloji ve genetik alanındaki hızlı gelişmeler ülkelerin bu ajanlar üzerinde daha çok çalışmalar yapmasına ve geliştirmesine sebep olmaktadır. Bunun sonucunda biyolojik savaş aracı olarak kullanılabilecek 12 binden fazla ajan olduğu ifade edilmektedir (STM). Bu ajanların diğer kitle imha silahlarından daha çok tercih edilmesinin ve üzerinde çalışılmasının bazı sebepleri aşağıda sıralanmaktadır;

- Geniş bir alanda farklı canlı türleri için çoklu ölüme ve yaralanmaya yol açabilirler,

- Biyolojik savaş ajanların üretimi düşük maliyetlidir ve diğer silah sistemlerine göre kolay elde edilebilmektedir. Birleşmiş Milletler'in (BM) 1969'da yaptırdığı bir araştırmaya göre biyolojik silahın sivil-lere karşı kullanımının maliyeti kilometrekare başına 1 dolarken kim-yasal silahların maliyeti 600 dolar, nükleer silahların 800 dolar, kon-vansiyonel silahların ise 2.000 dolardır (STM),
- Varlıkları ancak özel cihazlarla tespit edilebilir,
- Ani etkilidir, kullanıldığı tespit edilemeden dahi etkileri hızla görüle-bilir,
- Çok hızlı çoğalırlar,
- Bulaşma özelliği sebebi ile çok geniş alan ve canlılara yayılabilirler.

Biyolojik savaş ajanları genellikle diğer canlı organizmaları öldürmek, sekel bırakmak veya kapasitelerini bozmak amacıyla kullanılan; virüs, bakteri ve tok-sinler olmak üzere 3 sınıfa ayrılır (Tablo 1).

Bakteriler	Virüsler	Toksinler
Şarbon (<i>Bacillus anth-racis</i>)	Çiçek (Vari-ola)	Risin
Veba (<i>Yersinia pestis</i>)	Maymun Çi-çeği	Botilunum Tok-sinleri
Kolera (<i>Vibrio chole-rae</i>)	Ensefalitler	Mikotoksinler
Tularemi (<i>Francisella tularensis</i>)	Viral Hemora-jik Ateşler (Arenavindoe, Filoviridae)	Stafilokokal En-terotoksin B
Q Ateşi (<i>Coxiella bur-netii</i>)		

Tablo 1. Biyolojik Ajanların Sınıflandırılması (AFAD)

i. Bakteriler

Bakteriler yaklaşık 4 milyar yıl önce dünyada gelişen ilk yaşam biçimi olup tek hücreli mikroorganizmalardır. Son derece yaygındırlar, dünyada hemen he-men her yerde bulunurlar. -90°C'lik buzullar içerisinde yaşayabildikleri gibi 80°C'lik kaplıcalarda yaşayabilen bakteri türleri de mevcuttur. Hava ve su damla-cıkları yoluyla çok uzun mesafelere yayılabilirler. Besin döngüsünde çok önemli rollere sahip yararlı bakteriler olduğu gibi hayvansal ve bitkisel organizmalarda hastalık yapan zararlı bakteriler de vardır.

ii. Toksinler

Toksinler canlı organizmaların (bakteri, bitki, mantar vb.) ürettiği zehirler olup beslenme, solunum ya da fiziksel temas ile vücuda alınıp hastalıklara sebep olabilirler. Kimyasal zehirlerden farklı olarak canlılar tarafından üretilirler.

iii. Virüsler

Yeryüzünde hemen hemen her ekosistemde bulunan sadece diğer organizmaların canlı hücrelerinde çoğalamayan protein ve genetik malzemeden oluşan çok küçük parçacıklardır. Virüsler tarih boyunca insanlarda çeşitli ölümcül salgınlara yol açmışlardır. Ortalama bir virüs bakterinin %1'i kadar küçüktür. (Özdoğan 2024) Bundan dolayı kuduz aşısının mucidi Louis Pasteur aşığı bulmasına rağmen kuduzla neden olan bir ajan bulamamıştır. 1898 yılında tütün mozaik virüsünü keşfetmesinden beri 6000'den fazla virüs detaylı bir şekilde tarif edilmişse de dünyada hala keşfedilmeyen milyonlarca virüs vardır. Virüsler antibiyotik ile tedavi edilemez. Tek tedavi yolu bağışıklık kazanmak için aşılanmaktır.

Biyolojik savaşta veya biyoterörizmde biyolojik silah olarak kullanılan bakteri, virüs ve toksinler ABD 'deki hastalık kontrol ve önleme merkezi (CDC) tarafından hastalık oluşturma, yayılma ve öldürücü özelliklerini göz önüne alarak 3 kategoride incelenmektedir. Bunlar Tablo 2' de özetlenmektedir.

Kategori	Ajanlar	Özellikleri
A	➤ <i>Variola major</i> (Smallpox, çiçek) ➤ <i>Bacillus anthracis</i> (şarbon) ➤ <i>Yersinia pestis</i> (veba) ➤ <i>Clostridium botulinum</i> toksini ➤ <i>Francisella tularensis</i> (tularemi) ➤ <i>Filovirüs</i> ➤ <i>Ebola hemorajik ateşi</i> ➤ <i>Marburg hemorajik ateşi</i> ➤ <i>Arenavirüs Lassa</i> ➤ <i>Junin vb.</i>	Ulusal güvenlik açısından yüksek risk oluşturan biyolojik ajanlar; ✓ Ortamda kolayca yayılabilmesi ve insandan insana bulaşma özelliği ile ikincil üçüncül vakaların gelişmesi, ✓ Yüksek mortalite ve halk sağlığını tehdit potansiyeli, ✓ Halk arasında panik ve sosyal karışıklıklara neden olması, ✓ Halk sağlığı açısından özel hazırlıklar gerektirmesi.
B	➤ <i>Coxiella burnetti</i> (Q humması) ➤ <i>Brusella sp.</i> ➤ <i>Burkholderia mallei</i> ➤ <i>Aplha virüs</i> ➤ <i>Venezuela ensefalomiyeliti</i> ➤ <i>Ricin toksini</i>	İkincil öneme sahip ajanlar; ✓ Orta dereceli yayılım, ✓ Orta düzeyde morbidite ve düşük mortalite, ✓ Spesifik CDC tanı kriterleri ile surveys sisteminin geliştirilmesine ihtiyaç.

	➤ <i>Clostridium perfringens</i> toksin ➤ <i>Staphylococcus enterotoksin B</i> ➤ <i>Salmonella spp</i> ➤ <i>Shigella dysenteriae</i> ➤ <i>Eschericia coli O157:H7</i> ➤ <i>Vibrio cholerae</i> ➤ <i>Criptosporidium parvum</i>	
C	➤ <i>Nipah virüs</i> ➤ <i>Hanta virüs</i> ➤ <i>Tickborne hemorajik ateş virüsü</i> ➤ <i>Tickborne ensefalit virüsü</i> ➤ <i>Sarihumma virüsü</i> ➤ <i>Çoğul ilaç dirençli tüberküloz</i>	Üçüncül öneme sahip ajanlar; ✓ Kolay elde edilebilir olmaları ✓ Üretimi ve yayılımının kolay olması ✓ Yüksek morbidite ve mortalite potansiyeli ✓ Yüksek halk sağlığını tehdit potansiyeli

Tablo 2. Biyolojik ajanlar ve kategorileri (ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi, CDC Biyoterörizm ajanları/hastalıkları)

2.1. Çiçek

Çiçek hastalığı, *Ortopoxvirüs* ailesinden bir DNA virüsü olan *Variola* 'nın neden olduğu, insanlık tarihindeki en büyük katillerden biridir. Çiçek hastalığı terimi ilk olarak 15. yüzyılda Avrupa'da ortaya çıkmış latince 'Variola' adıyla bilinip 'lekelenmiş' veya 'cilt üzerindeki iz' anlamına gelir (Henderson DA, Moss B.). Tarih boyunca çiçek hastalığının 300 ile 500 milyon insanı öldürdüğü bilinmektedir. Virüs variola majör ve variola minör olmak üzere iki ayrı klinik formda görülmektedir. Variola majör enfeksiyonu, variola minöre göre daha şiddetlidir ve %30 öldürücülük oranına sahiptir. Kökeni tam olarak bilinmemekte olup Mısır'dan yayıldığı tahmin edilmektedir. Solunum yoluyla bulaş ve enfekte olan hastanın son döküntülerinin düşene kadar bulaştırıcı olması sebebi ile çok hızlı yayılan bir salgındır. Kuluçka dönemi yaklaşık 12-14 gün sürer. 38,3 derece ile 40,5 derece arasında yüksek ateşle başlayıp halsizlik, baş ağrısı, sırt ağrısı, gibi belirtiler gösterir. Ateş düştükçe lezyonlar dil üzerinde lekeler ve ağız mukoza zarlarında yaralar şeklinde gelişir (Paharia, 2023). Sonrasında vücutta düz kırmızı lekeler belirir. İlk önce yüz, kollar ve bacaklar etkilenir. 2 gün içinde lekelerin çoğu berrak sıvıyla dolu küçük kabarcıklara dönüşür. Kabuklanma ve uyuz oluşumu genelde döküntülerin 9. Gününde başlar ve kabuklar döküntünün başlamasından yaklaşık 14. Gün sonunda dökülür (Paharia, 2023). Klasik çiçek hastalığı lezyonları yerleşmiş, sert, yuvarlak, iyi tanımlanmış veziküller veya püsküllerdir. CDC' ye göre birincil tanı kriteri döküntü başlamadan 1-4 gün önceki 38,5 dereceyi aşan ateştir.

Başarılı bir aşılama kampanyasından sonra çiçek hastalığının 1980’de Dünya Sağlık Örgütü tarafından ortadan kaldırıldığı bildirilmiştir. En son vaka ise 1977’de görülmüştür. Bugün dünyada çiçek hastalığı virüsünü araştırmak için onaylanmış iki laboratuvar bulunmaktadır. Bunlar ABD’deki CDC ve Rusya Devlet Viroloji ve Biyoteknoloji Araştırma Merkezidir (BCM). *Variola* virüsü aerosol formundaki bulaşıcılığı ve %30’luk yüksek vaka ölüm oranı nedeniyle en tehlikeli biyoterörist silah olarak kabul edilir. Ayrıca aşılamanın durdurulması sebebi ile nüfusun giderek hastalığa karşı duyarlı hale geldiği bilinmektedir. Nüfusun sadece %20’si şu anda bağışıklığa sahiptir (Meštrović 2023). *Variola* virüsü var olduğu sürece ABD ile Rusya’nın birbirine karşı gizli olarak yürüttüğü biyolojik silahlanma yarışı insanları korkutmaya devam edecektir. Ayrıca kesin bir kanıt olmasa da batılı istihbarat teşkilatlarının ABD ve Rusya harici Kuzey Kore ve Irak’ın da şu anda çiçek hastalığını biyolojik savaş ajanı olarak kullanma kapasitesine sahip olduğunu düşünmektedirler.

2.2. Veba (*Yersinia pestis*)

Veba hastalığının etkeni *Enterobacteriaceae* familyasından olan *Y.pestis*’tir. *Y.pestis* yüksek ölüm oranlarına sahip şiddetli, akut ve hızla ilerleyen ateşli hastalığa sebep olmaktadır (Ansari, Grier, Byers). Bubonik, pnömonik, septisemik, meningeal ve faringial olmak üzere beş farklı türü vardır. İnsanlara bulaşması ise enfekte kemirgenler veya enfekte kemirgenlerle beslenen pireler tarafından ısırıldıktan sonra gerçekleşir. İnsanlarda genelde bubonik veba şeklinde belirtiler görülür. Belirtiler ve semptomlar vebanın türüne göre farklılık gösterir. Bubonik, septisemik ve pnömonik en yaygın veba türleridir. Tablo 3’te veba türleri bulaşma yolları ve belirtileri verilmektedir.

Veba dünya tarihi boyunca 3 büyük yıkıma yol açmıştır. Bubonik vakanın ilk raporu ‘Justinianus Büyük Vebası’dır. (Kılıç) Hastalık MS 532’de Mısır’da ortaya çıkmış ve oradan Kuzey Afrika, Avrupa ve Güney Asya’nın her yerine yayılmıştır. On yılda tahmini olarak nüfusun %50’sini yok ettiği düşünülmektedir.

Veba Türü	Bulaşma Yolu	Belirtiler
Bubonik veba (en yaygın)	Enfekte pirelerin ısırması, çoğunlukla Doğu sıçan piresi	Pire ısırığı bölgesinin yakınında şişmiş, hassas lenf düğümleri (yani "bubo") Ateş, titreme, halsizlik, baş ağrısı Semptomlar temastan 2-8 gün sonra başlar
Akciğer vebası	Hasta bir hayvandan veya insandan yayılan solunum damlacıklarının solunması yoluyla	<i>Kuluçka süresi genellikle 1 ila 3 gündür ve titreme, ateş, baş ağrısı, yaygın vücut ağrıları, güçsüzlük ve göğüs rahatsızlığı</i> Hastalık ilerledikçe, en belirgin klinik özellikler öksürük, balgam üretimi, artan göğüs ağrısı, dispne, hipoksi ve hemoptizidir.
Septisemik veba	Pire ısırığının doğrudan <u>damar sistemine</u> girmesi	Birkaç gün içinde hızla ölümcül olabilir, yüksek ateş, hızla gelişen <u>sepsis</u> ve hipotansiyon ve <u>şoktan kaynaklanan çoklu organ yetmezliği</u>
Menenjit veba	Son zamanlarda geçirilmiş bubonik, pnömonik veya septisemi veba enfeksiyonu	Sert boyun vebalı bireylerin %6'sında mevcuttur. Semptom başlangıcı akut veba enfeksiyonunun başlangıcından 9-14 gün sonra gelişir
Pnömonik veba	<i>Memelilerin dışarı atılan solunum damlacıklarından kaynaklanan Y. pestis'in aerosolize damlacıklarının doğrudan solunması</i>	1-4 gün içinde akut bir başlangıçla hızla ilerler. <u>Başlangıçtaki hastalık, korizal semptomlar, ateş, baş ağrısı</u> , titreme ve halsizlik ile gribe çok benzer. Başlangıçtaki pürülan <u>balgam</u> kanla renklenebilir veya akut olarak hemorajik olabilir

Tablo 3. Veba türleri, bulaşma yolları ve belirtileri.

İkinci salgın ise daha yakın tarih olduğu için belgelerle daha çok bilgi sahibi olduğumuz “Kara Ölüm” denilen büyük salgındır. Hastalık 1334’te Çin’de ortaya çıktıktan sonra ticaret yollarının da etkisiyle Hindistan’dan Kırım’a ve ardından İtalya’ya kadar bulaşmıştır. Avrupa’da 20 milyondan fazla insan ölmüştür. Bu, Avrupa’nın nüfusunun 1/3’inden fazlasıdır. Üçüncü büyük salgın ise yine Çin’de 1855 yılında başlamıştır. Geçmişe göre gemilerin ve ticaret yollarının hızlanmasıyla dünyaya çok hızlı bir şekilde yayılmıştır. Sadece Çin’de 12 milyon ölüm sayısı vardır. Alexandre Yersin 1894’te bakteriyi tanımlamıştır. Antibiyotik ile tedavi edilir. 2002 ve 2003’te hala Mozambik ve Hindistan gibi ülkelerde salgınlar görünmüştür.

1970 yılında Dünya Sağlık Örgütü (WHO), nüfuslu alanlarda biyolojik silahların olası kullanımının sonuçları hakkında kapsamlı bir rapor yayınlanmıştır. En kötü senaryoda 5 milyonluk bir şehre 50 kg *Y.pestis*'in aerosolize edilmiş halde kasıtlı olarak salınması durumunda zatürelî vebanın 150.000 kişiye kadar çıkabileceği ve bunların 36.000'inin hastalıktan ölmesinin beklendiği bildirilmiştir (Riedel, 2005). Bu nedenle akciğer vebası biyolojik silah olarak kullanıldığında insanlarda sessiz ve ölümcül bir hastalığa yol açan çeşitli yayılma yollarına müsaittir (Ansari, Grier, Byers).

2.3. Şarbon

Bacillus anthracis (*B.anthraxis*) şarbon hastalığının etkeni olan gram-pozitif çubuk şeklinde bir bakteridir (FBI 2001). Bu bakteri spor üretme yeteneğine sahip bir mikroorganizmadır (Medicalpark). Bu sporlar toprakta yıllar hatta yüzyıllar boyunca kalabilir (Doğancı, Baysallar, 2001). Şarbon sporları çevresel etkilere karşı oldukça dirençlidir (Tarım B). Ancak uygun bir ortama vardıklarında sporlar çimlenebilir ve saatler içinde hızla büyümeye devam edebilir (FBI 2001). Bu misafirler sığır, koyun, at gibi otçullar olup şarbon genellikle otçulların hastalığıdır. Bu hayvanlar enfeksiyonu kirli topraklardan otlarak edinirler. Bakteri kolay ve çabuk ürer. İnsanlar enfekte hayvanlarla temas ve kontamine hayvan ürünlerine maruz kalarak enfekte olurlar (Erkekoğlu, Koçer Gümüşsel 2018). İnsanlara bulaşması solunum, deri, veya gastrointestinal yolla olabilir. İnsanda doğrudan oluşan bir şarbon vakası yoktur. İnsan şarbonu vakalarının çoğu deri lezyonlarını (kutanöz şarbon) içerir burada enfeksiyon genellikle enfekte hayvan postları veya yünlerinin elle tutulması sonucu edinilir ve bu da deri sıyrıklarının *B.anthraxis* ile kontamine olmasına yol açar. Hastalığın en az ölümcül türü deri şarbonudur. Ancak antimikrobiyal tedavi ile tedavi edilmezse %20'ye kadar ölüme neden olabilir. Enfekte olmuş etin tüketilmesi ile gastrointestinal şarbon oluşur. Solunum yoluyla bulaşan şarbon ise tedaviyle dahi yüksek ölüm oranına sahiptir.

Şarbon vakalarının %95'i dermal şarbon olup kuluçka süresi 1-5 gündür (BUHASDER). Küçük bir papülle başlayıp 2 günde siyah ve büyük bir yaraya dönüşür. Baş ağrısı, kas ağrısı, ateş ve lenf düğümlerinde şişlik ortaya çıkabilir. Sindirim sistemi şarbonu belirtileri ise süt veya etin iyi pişirilmeden tüketilmesi sonucu gelişir. Bulantı, kusma, ateş, karın ağrısı ve kanlı ishal ile kendini gösterir. Akciğer şarbonunun belirtileri ise ölüm oranı ile orantılı olarak çok ağır seyretmektedir. Şok, menenjit, nefes darlığı, kan tükürme bunlar arasındadır. Teşhisi ise çeşitli test ve tahliller sonucu yapılır. Akciğer şarbonunun yüksek ölüm oranına sahip olması şarbonu ciddi bir biyolojik silah veya biyoterörizm ajanı haline getirir. Solunum yoluyla bulaşması ve insan vücuduna girdiğinde gerekli besini

kanda bulmasıyla hızlıca üremesi tercih edilme sebebidir. 2001’ de şarbon bakterisinin olduğu mektupların ABD’ de dağıtılmasıyla 22 kişinin enfekte olup 5 kişinin ölümüne sebebiyet verilmiştir. Bu da neden biyolojik savaş ajanı olarak tercih edilmesinin yakın zamanda en büyük kanıtıdır. Tablo 4’ te Şarbon virüsü diğer Kitle İmha Silahları İle karşılaştırılmaktadır.

Saldırı Türü	Kullanım Yöntemi	Tahmini Ölüm Sayısı
300 kg Sarin Gazı	Scud Füzesi	60-100
30 kg Şarbon Sporu	Scud Füzesi	30.000-100.000
1000 kg Sarin Gazı	Uçaktan Salınarak	400-800
100 kg Şarbon Sporu	Uçaktan Salınarak	420.000-1.400.000
12,5 Kiloton Tnt Eş Değeri	Atom Bombası	23.000-80.000
1 Megaton Tnt Eşdeğeri	Hidrojen Bombası	570.000-1.900.000

Tablo 4. Biyolojik savaş ajanı olarak Şarbonun diğer Kitle İmha Silahları İle karşılaştırılması (Uzman Dr. Gamze BOZKUŞ)

2.4. Botulizm

Clostridium botulinum bakterisi tarafından üretilen botulinum toksini bilinen en güçlü toksindir. *Clostridium botulinum* tarafından 7 tane farklı botulinum nörotoksin serotipi üretilir. Bunlar A, B, C, D, E, F diye isimlendirilip A, B, E, F insanlarda zehirlenmeye sebep olur (Soğancı, Yağcı 2016). Vücuda alınma çeşitlerine göre 4 adet klinik tablo oluşur. Bunlar infant botulizmi, gıda kaynaklı botulizm, yara botulizmi, ve biyoterörizm ile olabilecek olan aerosol yolla oluşan botulizmdir. Bilinen en ölümcül toksin olan botulinumun 1 gramı bir insanı kısa sürede öldüreceği anlaşıldıktan sonra özellikle 2. Dünya savaşında tüm devletlerin ilgisini çekmiş ve çalışmalar yapmışlardır. Ama Japonya’da 1995’deki başarısız Tokyo saldırısı hariç hiçbir zaman kullanılmamıştır. Zaten ABD’nin başını çektiği 1972’de imzalanan Biyolojik ve Zehirli Silahlar Sözleşmesi ile hem araştırılması hem üretilmesi yasaklanmıştır. Üretmesi kolaydır ama toksini aerosol haline getirme konusundaki zorluklar biyoterörizm ajanı olarak kullanımı için engeldir. Bu engel ortadan kaldırılsa çok az miktarı dünyadaki tüm insanların ölümüne yol açabilecek tehlikededir. Kuluçka süresi 1-5 gündür. 24-72 saat içinde ölümle sonuçlanabilir. Ani başlayan, ateşsiz, simetrik ve diplopi, pitoz, bulanık görme, midriyasis, fotofobi, fasiyal paralizi, disfoni, disfaji ve disartri ile başla-

yan desendan flask paralizi belirtileri ile başlar (Kılıç 2006). Diyafram ve yardımcı solunum kaslarının ilerleyici flask paraliziye katılmasıyla solunum yetmezliği aniden gerçekleşebilir. Bu durumda kas yetmezliği sonucu ölüm gelişir.

2.5.Tularemi

Tularemi, *Francisella tularensis*'in neden olduğu bir enfeksiyon hastalığı olarak bilinir (S. Bakanlığı 2024). Aynı zamanda halk arasında tavşan hastalığı olarak tanınıp, “francis hastalığı, ohara hastalığı, tavşan ateş vebası, at sineği ateşi, Sibirya ülseri ve avcı hastalığı” gibi farklı isimlerle de anılır (Arslanyılmaz, Aslan Akın, Aktaş).

Tularemi Tipleri	Bulaşma şekli
Ülseroglandular yada glandular	Vektör aracılığı ile ya da direkt temas
Okuloglandular	Göz kontaminasyonu/bulaşı
Orofaringeal	Kontamine su ya da gıdanın ağız yolu ile alınması
Respiratuvar/ pnömonik	Kontamine toz ya da laboratuvar kaynaklı enfeksiyonun inhalasyonu
Tifoidal	Bilinmemektedir (oral ya da respiratuvar olduğu düşünülür)

Tablo 5. Tularemi tiplerinde bulaşma şekilleri.

Kuzey yarım kürede 30-70 enlemleri arasında ortaya çıkmaktadır ve 250’den fazla hayvan türünde saptanmıştır. İnsanlara hayvanlarla doğrudan temas, kontamine su veya gıdaların alınması, artropodların ısırması veya enfekte toz ve aerosolların solunması yolu ile bulaşır (Akalin). Bulaşma yolları Tablo 5’ te özetlenmektedir. Belirtiler hastanın direnci, bakterinin virülansı gibi sebeplerden dolayı değişiklik gösterir. Kuluçka süresi 3-5 gün olup en geç 15 gün içinde belirtiler ortaya çıkar. Semptomlar hastalığın formuna göre değişiklik gösterip başlangıçta boğaz ağrısı, halsizlik, iştahsızlık, sırt ağrısı, baş ağrısı, titreme ve ateş ile ortaya çıkar. Tedavi edilmediği takdirde ölümle sonuçlanabilir.

Tulareminin bulaşma hızı çok yüksektir (Çelebi 2009). Bundan dolayı ABD, Sovyetler Birliği, Japonya, İngiltere tarafından incelenmiş ve biyolojik silah olarak hazırlanmıştır (Nelson, Sjöstedt, Notes 2024). Doğa koşullarına dayanıklı olması yani soğuğa dirençli olması ve suda kendisini uykuya alıp aylarca yok olmadan kalması gibi özellikleri sayesinde II. Dünya savaşı döneminde ve hemen sonrasında devletlerin ilgisini çekerek üzerinde oldukça fazla sayıda deney yapılmasına sebep olmuştur. Dünya Sağlık Örgütü’nün tahminlerine göre, 5 milyonluk bir nüfusa sahip bir şehre havadan 50 kg *F.tularensis*’in aerosolizasyonu yaklaşık

250.000 kişiyi enfekte edip 19.000 kişinin ölmesine sebep olabilecek etkiye sahiptir (WHO). Ülkemizde de dönem dönem görülen bu biyolojik ajanı sürekli kontrol etmek gerekmektedir.

2.6.Filovirüs

Filoviridae virüs ailesi insanlarda ve primatlarda hemorajik ateşe neden olan bir türdür (Medical Microbiology). *Filoviridae* ailesine mensup filovirüslerin 3 farklı cinsi vardır. Bunlar, *Cuevavirüs*, *Marburgvirüs* ve *Ebolavirüs* olarak adlandırılır. Filovirüslerin en tehdit edici olan türü *Ebola* virüsüdür. *Ebola* virüs ismini ilk keşif edildiği yer olan Kongo Demokratik Cumhuriyet'i Ebola nehrinden almıştır. İnsana bulaşması meyve yarasası veya maymun aracılığıyla gerçekleşmiştir. İnsandan insana bulaşması ise hastalığı taşıyan kişinin vücut sıvıları ile teması şeklinde olabilir.

Yakın tarihte en büyük salgını gerçekleştirmiş olup 2014-2016 yılları arasında Gine'den başlayan salgın Dünya Sağlık Örgütünün acil durum ilan edilmesine rağmen Sierra Leone, Liberya, Nijerya, Mali, Senegal gibi Afrika ülkelerine ardından İtalya, İspanya ABD ve İngiltere'ye kadar yayılıp 28.000 kişiye bulaşıp 11.000 kişinin ölümüne neden olmuştur.

Virüsün belirtileri ise başlangıçta yüksek ateş, baş ağrısı, şiddetli halsizliktir. 3 gün sonunda kas ağrıları, aşırı sulu ishal, karın krampları, mide bulantısı ve kusma başlar. Hastalığın ilk belirtilerinden 1 hafta sonra şiddetli hemorajik tablo ortaya çıkar. İç ve dış kanama yaygındır, ağız ve vajina dahil bol miktarda kan gelir ve tedaviye cevap veremeyenler 9 gün içinde ölürlere (CEPI 2024). Halen onaylanmış bir aşısı bulunmamaktadır.

1990'lardan beri hastalığın aniden ortaya çıkması ve çok hızlı bulaşıp enfekte olan hastalardaki yüksek ölüm oranı bilim insanlarının Ebola virüsünün biyolojik silah olarak kullanılmış olduğu tartışmasını ortaya çıkarmıştır. Malte Rouch ve Heimo Claasen çektiği belgeselde Ebola virüsünün ABD ordusu tarafından kontrol edildiğini iddia etmektedirler (Lüleci Karadere). Hatta bazı araştırmacılar daha da ileri giderek virüse verilen Ebola ismi "Experiments of Biological Warfare Organised by Laboratories in America (EBOLA)" yani Amerika Laboratuvarları tarafından üretilen biyolojik savaş deneyleri anlamına geldiğini iddia etmektedir (Lüleci Karadere).

Hastalığın mükemmele yakın özellikleri olması biyolojik savaş ajanı olarak üretildiği tartışmalarını devam ettirecektir. Henüz herhangi bir aşının üretilmesi ve virüsün her bulaşta form değiştirmesi olası biyolojik ajan olarak kullanıldığında çok tehlikeli olacağını göstermektedir.

3. Biyolojik Saldırlara Karşı Yapılan Sözleşmeler

Yukarıda verilen bilgiler ışığında biyolojik ajanların insanlık için aslında oldukça büyük bir tehdit oluşturduğu görülmektedir. Buna istinaden Devletler biyolojik silahları da kapsayan kimyasal silahların kontrolüne ilişkin uluslararası anlaşmalar yaparak kimyasal/biyolojik silah kullanımının kontrol altına alınmasına yönelik girişimlerde bulunmuşlardır. Tarihin en eski dönemlerinden beri çeşitli yollarla devletler savaş aracı olarak kimyasal/biyolojik silahları geliştirme çabası içerisinde olmuşlardır (STM). Ancak bu silahların insanlık üzerinde çok büyük tahribata neden olmalarından dolayı uluslararası organizasyonlar çeşitli sözleşmeler ve anlaşmalar ile bunların kullanımının sınırlandırılması ve kontrol altına alınması için çaba göstermişler ve bu konuda çalışmaya da devam etmektedirler. Nitekim bu anlaşma ve sözleşmelerin gerekçesi biyolojik/kimyasal silahların kullanımı insaniyet ve uygar savaş şekliyle uyum göstermediği yönündedir (Coleman, 2005). Tarih boyunca yapılan anlaşma/sözleşmeler Tablo 6' da verilmektedir.

4. Sonuç

Bu güncel çalışma kapsamında, insanlık tarihinin en eski dönemlerinden beri bilinen ve kullanılan biyolojik savaş unsurları ve temel özellikleri açıklanmıştır. İnsanlar bu biyolojik savaş unsurlarını binlerce yıldır bilerek ve isteyerek silah olarak kullanmışlardır. İlk kullanımında biyolojik ajanla ölmüş bir bedeni karşıındaki gruba atıp yerel bir etki oluşturan insanlar, son kullanımında ise çok az miktarda biyolojik ajan kullanmasına rağmen büyük çaplı etkiler bırakma seviyesine gelmiştir. Günümüzde biyoteknolojinin geldiği noktada biyolojik unsurlar daha kolay ve hızlı üretilabilir hale gelmiş olup hem araştırma hem de bilinçaltında bir çeşit savuma amaçlı kullanıma yönelik ilgi uyandıran bir hal almıştır. Devletler veya barışçı örgütler bu etkenlerin kullanılmasına karşı bir takım anlaşma/sözleşmeler yolu ile karşı olduklarını ifade etmişlerdir. Ancak insanlar arasındaki çatışmalar devam ettiği sürece bu ajanların silah olarak kullanılması kaçınılmazdır.

Alaşma/ Sözleşme	yıl	Taraflar	Yasaklamanın Niteliği
Strasbourg Antlaşması	1675	Fransa ve Kutsal Roma Cermen İmparatorluğu	57'nci madde ile iki ülke arasındaki savaşlarda zehirli mermi kullanımı yasaklandı (Coleman, 2005)
St. Petersburg Deklarasyonu	1868	Kabul görmedi	400 gramın üzerinde patlayıcı, yanıcı, alev alıcı mühimmat kullanımının yasaklanması önerildi (Zanders, Pasca 2003).
Brüksel Konferansı	1874	Kabul görmedi	Zehir ve zehirli silahların kullanımının yasaklanması için önerildi. Bu anlaşma hiçbir zaman benimsenmedi ancak Lahey Konvansiyonları'na öncülük etti (Declaration).
1899 Lahey Sözleşmesi	1899	31 devlet	Boğucu, zehirleyici ve benzer gazların kullanımı yasaklandı [Coleman, 2005].
1907 Lahey Sözleşmesi	1907	35 devlet	Zehir ve zehirli gazların kullanımı yasaklandı (Croddy, Eric 2002).
Versay Antlaşması	1919	Almanya; İtilaf devletleri	Almanya'nın zehirli gaz üretmesi ve ithal etmesi yasaklandı (Coleman, 2005).
Washington Silah Konferansı	1922	Kabul görmedi	Her türlü kimyasal silahın yasaklanması önerildi (Croddy, Eric 2002).
Cenevre Protokolü	1925	134 devlet	Boğucu, zehirleyici ve benzeri gazların ve bakteriyolojik araçların savaşta kullanımı yasaklandı (Croddy, Eric 2002).
Dünya Silahsızlanma Konferansı	1933	Kabul görmedi	Cenevre Sözleşmesi'nin, kimyasal silahların kesin bir tanımının yapılması ve sözleşmede taraf olmayan ülkelere karşı da kimyasal silah kullanımının yasaklanması şeklinde genişletilmesi önerildi (Coleman, 2005).
Biyolojik Silahlar Sözleşmesi	1972	162 devlet	Her türlü biyolojik silah yasaklandı. Bir kimyasal silah kontrol antlaşması olmadığı halde BS Konvansiyonu kimyasal ve biyolojik silah tartışmalarının sonucu olarak ortaya çıktı ve kimyasal silah antlaşmaları yönünde bir sıçrama tahtasıdır [Coleman,2005].
Avustralya Grubu	1985	41 devlet	Bir grup devlet tarafından, kimyasal ve biyolojik silah olarak kullanılacak maddelerin ihracatını kontrol altına almak için oluşturdu. Kimyasal silahların nakliyesi yasaklandı ve öncü maddelerin ticareti düzenlendi (Croddy, Eric 2002).
Cenevre Zirvesi	1985	ABD ve SSCB	(American Scientist)

Kimyasal Silahların Kullanımı Konferansı	1989	149 devlet	Katılımcı devletler Cenevre Protokolü'nü yeniden teyit ettiler. Bütün devletler kimyasal silahların kullanılmaması ve bu tür kullanımların suç teşkil edeceği konusunda fikir birliğine vardı (American Scientist)[Coleman, 2005).
1990 Kimyasal Silah Antlaşması	1990	ABD ve SSCB	(The New York Times)
Mendoza Antlaşması	1991	Arjantin, Brezilya, Şili ve Uruguay	Bütün kimyasal ve biyolojik silahların kullanımı, geliştirilmesi, üretimi, edinilmesi, saklanması, depolanması ve transferi yasaklandı (Kelle 1998).
Cartagena Bildirisi	1991	Bolivya, Kolombiya, Ekvador, Peru ve Venezuela	Taraf ülkeler kendi bölgelerinde kimyasal silahların yasaklanması konusunda anlaştı (Galtung 1983).
Hindistan-Pakistan Kimyasal Silahlar Antlaşması	1992	Hindistan ve Pakistan	Kimyasal silahlar tümüyle yasaklandı (American Scientist).
Kimyasal Silahlar Sözleşmesi	1993	187 devlet	Bütün kimyasal silahların kullanımı, geliştirilmesi, üretimi, edinilmesi, saklanması, depolanması ve transferi yasaklandı. Devletler kimyasal silahların yok edilmesi konusunda yükümlüdür (Croddy, Eric 2002).

Tablo 6. Tarih boyunca yapılan Biyolojik/Kimyasal silah kullanımına yönelik yapılan anlaşma/sözleşmeler

KAYNAKÇA

- Academia , Ebola biyolojik silah mıdır?, Mervenur Lüleci Karadere, s 3
- Academia , Ebola biyolojik silah mıdır?, Mervenur Lüleci Karadere, s 3
- Atatürk Üniv. Diğ Hek. Fak. Derg. SOĞANCI, YAĞCI J Dent Fac Atatürk Uni Cilt:26, Sayı: 2, Yıl: 2016, Sayfa: 358-365 Biyolojik Silah Olarak Toksinler, Türk Hij Den Biyol Derg 2006 Cilt 63, No 1,2,3 S : 85 – 106 , Selçuk KILIÇ
- Baylor Collage Of Medicine, Department of Molecular Virology and Microbiology, Smallpox Virus
- Baylor Üniversty Medical Center Proceedings , Plague: from natural disease to bioterrorism , STEFAN RIEDEL, April 2005
- Bulaşıcı Hastalıkları Önleme Derneği, ŞARBON,
- Centers for Disease Control and Prevention. Biological and chemical terrorism: strategic plan for preparedness and response, recommendations of the CDC Strategic Planning Workgroup 2000. MMWR Morb Mortal Wkly Rep 2000
- Clinical Infectious Diseases, Volume 78, Issue Supplement_1, 15 February 2024, Pages S1–S3 , Christina A Nelson, Anders Sjöstedt , Author Notes
- Coleman, Kim (2005). A History of Chemical Warfare. Palgrave MacMillan. ISBN 978-1-4039-3460-4. S 8
- Coleman, Kim (2005). A History of Chemical Warfare. Palgrave MacMillan. ISBN 978-1-4039-3460-4. p. 46
- Coleman, Kim (2005). A History of Chemical Warfare. Palgrave MacMillan. ISBN 978-1-4039-3460-4. p. 9
- Coleman, Kim (2005). A History of Chemical Warfare. Palgrave MacMillan. ISBN 978-1-4039-3460-4. p. 45
- Coleman, Kim (2005). A History of Chemical Warfare. Palgrave MacMillan. ISBN 978-1-4039-3460-4. s. 152
- Coleman, Kim (2005). A History of Chemical Warfare. Palgrave MacMillan. ISBN 978-1-4039-3460-4. s. 153
- Croddy, Eric (2002). Chemical and Biological Warfare: A Comprehensive Survey for the Concerned Citizen. Copernicus Books. ISBN 0-387-95076-1.
- Croddy, Eric (2002). Chemical and Biological Warfare: A Comprehensive Survey for the Concerned Citizen. Copernicus Books. ISBN 0-387-95076-1. ss. 172–173
- Croddy, Eric (2002). Chemical and Biological Warfare: A Comprehensive Survey for the Concerned Citizen. Copernicus Books. ISBN 0-387-95076-1. p. 173
- Croddy, Eric (2002). Chemical and Biological Warfare: A Comprehensive Survey for the Concerned Citizen. Copernicus Books. ISBN 0-387-95076-1. pp. 180–181

- Croddy, Eric (2002). Chemical and Biological Warfare: A Comprehensive Survey for the Concerned Citizen. Copernicus Books. ISBN 0-387-95076-1. s. 176-177
- Erişim adresi : <https://cepi.net/filoviruses>
- Erişim adresi : <https://isparta.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Sarbon>
- Erişim adresi : <https://www.afad.gov.tr/kbrn/biyolojik-ajanlarin-siniflandirilmesi> erişim tarihi: ekim 2024
- Erişim adresi : <https://www.medicalpark.com.tr/sarbon>
- Federation of American Scientists. "Chemical and Biological Weapons Chronology - 1985".
- Federation of American Scientists. "Geneva Protocol Coleman, s. 160
- Galtung, Johan (1983). "The Palme Commission Report on Disarmament and Security A Critical Comment". Bulletin of Peace Proposals. 14 (2). Sage Publications, Ltd. ss. 147-152.
- Gülhane Askeri Tıp Akademisi ve Askeri Tıp Fakültesi, Mikrobiyoloji ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, ANKARA, Flora 2001, Levent DOĞANCI, Mehmet BAYSALLAR, s 211
- Hacettepe University, Faculty of Pharmacy, Department of Toxicology, Ankara , FAD J. Pharm. Sci., 43, 2, 171-201, 2018, Pınar ERKEKOĞLU, Belma KOÇER-GÜMÜŞEL
- Joint Declaration on the Complete Prohibition of Chemical Weapons". Federation of American Scientists.
- Journal of Biosafety and Biosecurity , Deliberate release: Plague—A review , Issmaeel Ansari, Gareth Grier, Mark Byers.
- Journal of Biosafety and Biosecurity , Deliberate release: Plague—A review , Issmaeel Ansari, Gareth Grier, Mark Byers.
- Kelle, Alexander (1 Ocak 1998). Security in a Nuclear Weapons Free World: How to Cope with the Nuclear, Biological and Chemical Weapons Threat. Peace Research Institute Frankfurt.
- National Academies Press (US); 2011 , Review of the Scientific Approaches Used during the FBI's Investigation of the 2001 Anthrax Letters
- National Academies Press (US); 2011 , Review of the Scientific Approaches Used during the FBI's Investigation of the 2001 Anthrax Letters
- NCBI Bookshelf. Ulusal Tıp Kütüphanesi, Ulusal Sağlık Enstitüsü. Donald A. Henderson ve Bernard Moss . Aşılar. 3. baskı. Philadelphia: Saunders; 1999
- Prof. Dr. Musfata Özdoğan, Virüs nedir? Virüslerin kısa tarihi ve kanser yapıcı virüsler 2024

- Project of an International Declaration concerning the Laws and Customs of War. Brussels, 27 August 1874". International Committee of the Red Cross.
- Salgın Etkenleri ve Modifiye Ajanlar , Atuder, Dr. Gamze BOZKUŞ s 27
- Smallpox Biological Warfare, News Medical Life Sciences , Pdf, Dr. Tomislav Meštrović, s 2
- STM Teknolojik düşünce Merkezi, Biyoteknoloji Çağında Biyolojik Harp, s 3
- STM Teknolojik düşünce Merkezi, Biyoteknoloji Çağında Biyolojik Harp, s 4
- T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, Tularemi
- The New York Times. "Summit in Washington Summary of U.S.-Soviet Agreement on Chemical Arms".
- Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, Tularemi: güncel değerlendirmeler, Cilt 71 Sayı 2 2014 Müsenna ARSLANYILMAZ, Dilek ASLAN, Levent AKIN, Dilber AKTAŞ s 101
- Türk Klinik Mikrobiyoloji ve Enfeksiyon Hastalıkları Derneği, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Tıp Fakültesi, Yrd. Doç. Dr. Güven ÇELEBİ 2009 Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı
- Türkiye Bilimler Akademisi, Tarihte Küresel Salgın Hastalıklar ve Toplum Hayatına Etkileri, Prof. Dr. Orhan Kılıç s 22
- Ulusal İç Hastalıkları Kongresi , Prof. Dr. Halis Akalın, Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Klinik Bakteriyoloji ve Enfeksiyon Hastalıkları Anabilim Dalı, Bursa
- University of Texas Medical Branch at Galveston; 1996, Medical Microbiology, 4th edition ISBN-10: 0-9631172-1-1
- What is Smallpox. News Medical Life Sciences, Pdf , Pooja Toshniwal Paharia s 2
- What is Smallpox. News Medical Life Sciences, Pdf , Pooja Toshniwal Paharia s 3
- WHO Guidelines on Tularaemia 2007 s 115
- Zanders, Jean Pasca (Ekim 2003). "International Norms Against Chemical And Biological Warfare: An Ambiguous Legacy" (PDF). Journal of Conflict & Security Law. 8 (2). İngiltere: Oxford University Press. ss. 391-410. doi:10.1093/jcsl/8.2.391. Zoonotik ve Vektörel Hastalıklar Dairesi Başkanlığı



BÖLÜM 5

CdSeS/ZnS Kuantum Nokta Katkılı Sıvı Kristal/Polimer Kompozit Yapının Dielektrik Özelliklerinin Voltaja bağlı Araştırılması

Gülnur Önsal¹

¹ Temel Bilimler Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

GİRİŞ

Sıvı kristal/Polimer kompozit yapıların geliştirilmesi ve uygulamaları, sıvı kristal araştırmalarında büyük bir ilgi alanı haline gelmiştir. Polimer/Sıvı kristal kompozitlerin dielektrik özellikleri, elektro-optik performansları üzerinde güçlü bir etkiye sahip olmaları nedeniyle büyük öneme sahiptir. Sıvı kristale polimerin eklenmesi yalnızca malzemenin doğal mekanik dayanımını artırmakla kalmaz, aynı zamanda faz davranışını ve elektro-optik özelliklerini de değiştirir. Böyle bir kompozitin dielektrik özellikleri, saf polimer ve saf sıvı kristal gibi başlangıç malzemelerinin özelliklerinden tamamen farklıdır (Manohar vd., 2006).

Metalik, yarı iletken, ferroelektrik ve metal oksit gibi farklı nanomalzemelerin Sıvı Kristaller ve Sıvı Kristal/Polimer kompozit yapılara etkileri sıklıkla incelenmektedir. Çeşitli nanomalzemeler arasında, araştırmacılar egzotik özellikleri ve biyomedikal görüntüleme, QD tabanlı ekranlar ve yeni nesil fotonik cihazlardaki potansiyel kullanımları nedeniyle kuantum noktalarının (QD'ler) geliştirilmesine özel bir ilgi göstermiştir (Xu vd., 2015). Son yıllarda, yarı iletken kuantum noktaları, ışık yayan diyotlar, fotovoltailer, fotodetektörler, lazerler, biyolojik problemler, ekranlar gibi çok yönlü optoelektronik uygulamalar için büyük bir potansiyel haline gelmiştir (Zhanhg vd.,2021). QD'ler, çapı 10 nm'nin altında olan inorganik, metal ve yarı iletken nanopartiküllerden (NP'ler) oluşan sıfır boyutlu malzemelerdir (Rani vd., 2021). Dar bir bant aralığına sahip olması, kontrol edilebilir fotoluminesans özellikleri, yüksek yüzey hacim oranına sahip olması ve çekirdek-kabuk geometrisi gibi özellikleri sebebiyle Sıvı kristal/Polimer kompozit yapılara katkılanması ile elektro-optik ve dielektrik özelliklerde iyileşme/değişim olduğu görülmektedir (Chauhan vd., 2023).

Çalışmada kullanılan kuantum nokta, CdSeS çekirdeği ve ZnS kabuğundan oluşmaktadır. ZnS kabuğu, CdSeS'i çevreler ve geniş bir bant aralığı enerjisine sahiptir, bu da görünür ışığı emme yeteneğini sınırlar. Bu kabuk aynı zamanda bir bariyer görevi görerek CdSeS yüzeyleri arasında bir sınır oluşturur. Sonuç olarak, ZnS kabuğu, CdSeS'i serbest yük taşıyıcılarının birikiminden korur ve moleküler yapıda foto-oksidasyon kaosu engeller (Kocakülah vd., 2020(a)).

Bu çalışmada, CdSeS/ZnS kuantum noktası katkılı sıvı kristal/polimer kompozit yapıların dielektrik özellikleri voltaja bağlı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu tür kompozitlerin elektro-optik cihazlar için sunduğu potansiyeli daha iyi anlamamıza katkı sağlamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Bu deneyde, sıvı kristal olarak düşük frekans bölgelerinde pozitif dielektrik anizotropiye ($\Delta\epsilon > 0$) sahip olan E63 kodlu nematik sıvı kristal (dielektrik sabitinin dik ve paralel bileşeni sırasıyla $\epsilon'_{\perp} = 3,163$ ve $\epsilon'_{\parallel} = 12,114$), polimer olarak Poly (metil metakrilat) (PMMA) polimeri ve kuantum nokta olarak da CdSeS/ZnS kullanılmıştır. Sıvı kristal, polimer ve kuantum nokta Sigma-Aldrich Kimya Şirketi tarafından temin edilmiştir. Katkı malzemesi olarak kullanılan CdSeS/ZnS kuantum noktalar çekirdek-kabuk tipi, 6 nm çapında ve 525 nm emisyon dalga boyuna sahiptir ve toluen içinde çözülmüş olarak kullanılmıştır.

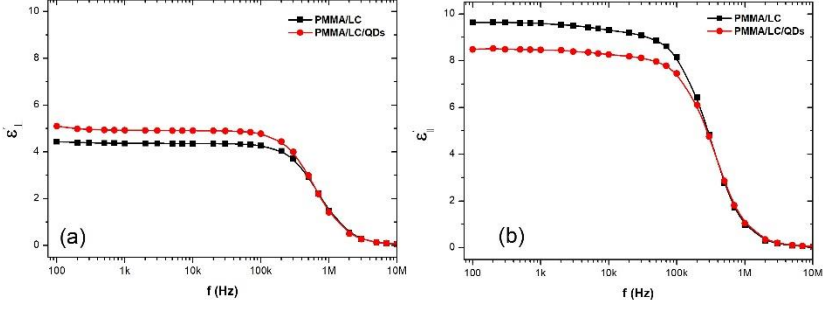
Kuantum nokta katkılı Sıvı kristal/Polimer kompozit yapılar hazırlamak için, öncelikle E63 nematik sıvı kristal ve PMMA, sırasıyla ağırlıkça %90 ve %10 oranlarında karıştırılmıştır. Homojen bir dağılım sağlamak amacıyla, PMMA katkılı E63, 40 °C'de 1 saat ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Daha sonra, Polimer/Sıvı Kristal karışımına ağırlıkça %5 oranında CdSeS/ZnS kuantum nokta eklenmiştir. Homojen bir dağılım elde etmek için, karışımlar 2 saat boyunca ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Son olarak çözücüyü (toluen) buharlaştırmak amacıyla, yapılar bir süre boyunca 100 °C sıcaklıkta ısı tablasına tutulmuştur ve 24 saat ağzı açık olarak oda sıcaklığında bekletilmiştir. Dielektrik ölçümler için örnekler indiyum kalay oksit (ITO) kaplı sıvı kristal hücrelere kılcallık etkisi ile yerleştirilmiştir. Kullanılan hücreler ABD'de bulunan Instec firmasından temin edilmiştir ve hücreler 7.7 μm kalınlığında, 100 Ω yüzey direncine sahip, planar özellik göstermektedir. Örneklerin dielektrik ölçümleri, 100 Hz–10 MHz frekans aralığında ve 0–20 V bias aralığında Novocontrol Alpha A Dielektrik/Empedans Analiz Cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR

Kompleks dielektrik sabitinin (ϵ^*) gerçekte (ϵ') ve sanal (ϵ'') bileşenleri, dielektrik parametrelerin voltaja bağlı olarak nasıl değiştiğini anlamak için kullanılmıştır. Kompleks dielektrik sabiti, aşağıdaki Eşitlik 1 ile tanımlanmaktadır (Deshmukh vd., 2014);

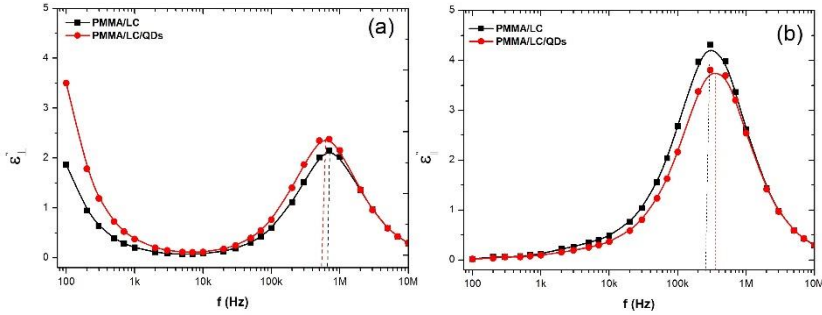
$$\epsilon^* = \epsilon' - \epsilon'' \quad (1)$$

Örneklerin dielektrik parametreleri, $V_{pp} = 0 \text{ V}$ ve $V_{pp} = 20 \text{ V}$ için belirlenmiştir. Ayrıca, $V_{pp} = 0 \text{ V}$ ölçümleri planar duruma, $V_{pp} = 20 \text{ V}$ ise homeotropik duruma karşılık gelmektedir. 0 V da moleküller sıvı kristal hücreye paralel olarak yerleşir. 20 V da ise elektrik alan ile moleküller sıvı kristal hücreye dik duruma (elektrik alana paralel) gelir.



Şekil 1. Örneklerin $\epsilon' - f$ grafiği.

Saf ve CdSeS/ZnS katkılı Sıvı Kristal/Polimer yapıların 1 kHz frekansındaki dielektrik geçirgenliğin dik $\epsilon'_\perp$ ($V = 0$ V) ve paralel $\epsilon'_\parallel$ ($V = 20$ V) bileşenlerinin frekansa bağlı değişimi Şekil 1.a ve 1.b ile verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, hem saf hem de katkılı örnek için $\epsilon'_\parallel$ değeri, $\epsilon'_\perp$ değerinden büyüktür. Yani verilen elektrik alan örneklerin dielektrik sabitinin değerini artırmıştır. Ayrıca, yapılan katkının $\epsilon'_\parallel$ değerini azaltırken, $\epsilon'_\perp$ değerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 2. Örneklerin $\epsilon'' - f$ grafiği.

Kompozit yapıların 0 V ve 20 V için frekansa bağlı ϵ'' grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Her bir grafiğin incelenen frekans aralığında tek bir pike sahip olduğu ve benzer eğilimlerde olduğu görülmektedir. $\epsilon'' - f$ grafiğindeki pik noktasına karşılık gelen frekans değerleri, relaksasyon frekansı (f_R) olarak tanımlanmaktadır. Kompozit yapıların gerilime bağlı f_R değerleri Tablo 1'de verilmiş olup, 0 V'da kuantum nokta katkısıyla f_R değerlerinin azaldığı, 20V da ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, her iki yapının da artan voltaj ile f_R değerinde bir azalış görülmektedir.

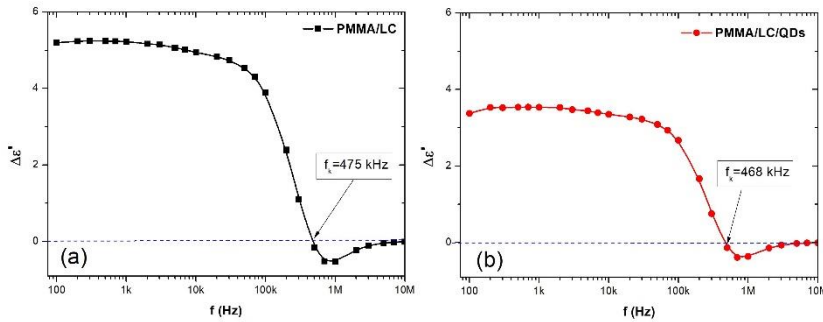
Çizelge 1. Kompozit yapıların 0 V ve 20 V değerinde bazı önemli dielektrik parametreleri.

V_{pp}		$f_R(\text{kHz})$	$\tau (\mu\text{s})$	α
0 V	PMMA/LC	721	0,224	0,000
	PMMA/LC/QDs	623	0,256	0,000
20 V	PMMA/LC	302	0,554	0,075
	PMMA/LC/QDs	365	0,479	0,059

Dielektrik anizotropi ($\Delta\epsilon'$), sıvı kristal moleküllerinin elektrik alan etkisinde ne kadar yönlendiği hakkında bilgi verir ve dielektrik sabitinin elektrik alana paralel ($\epsilon'_{\parallel}$) ve dik ($\epsilon'_{\perp}$) doğrultuda ölçülen bileşenleri kullanılarak Eşitlik 2 ile hesaplanır (Tripathi vd., 2016);

$$\Delta\epsilon' = \epsilon'_{\parallel} - \epsilon'_{\perp} \quad (2)$$

Saf ve kuantum nokta katkılı yapıların $\Delta\epsilon'$ değerinin frekansa bağlı değişim grafikleri Şekil 3 ile verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, örneklerin $\Delta\epsilon'$ değerleri düşük frekanslarda yüksektir. Ayrıca, örneklerin belirli bir frekansa kadar pozitif $\Delta\epsilon'$ ($\epsilon'_{\parallel} > \epsilon'_{\perp}$) değerine sahip olduğu fakat bu frekans değerinden sonra negatif bir $\Delta\epsilon'$ ($\epsilon'_{\parallel} < \epsilon'_{\perp}$) değeri aldığı görülmektedir (Huang vd., 2019). Bu frekans değeri geçiş frekansı (f_c) olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3'ten faydalanarak saf ve kuantum nokta katkılı yapıların geçiş frekansı sırasıyla 475 kHz ve 468 kHz olarak belirlenmiştir. f_c değerleri kuantum nokta katkısıyla bir miktar azalmaktadır. Bu davranışın nedeni, kompozit yapıların moleküler etkileşim mekanizması ile açıklanabilir. QD, PMMA/LC kompozitlerine eklendiğinde, QD-QD, LC-LC ve QD-LC arasındaki etkileşimler, kompozitlerin moleküler yapısında bazı değişikliklere neden olur. Bu değişikliklere bağlı olarak, moleküllerin elektrik alan içindeki boyuna ve enine dipol momentlerle olan etkileşimleri frekansa göre değişiklik gösterir. Bu nedenle, kompozitlerin faz yapısı değişir.

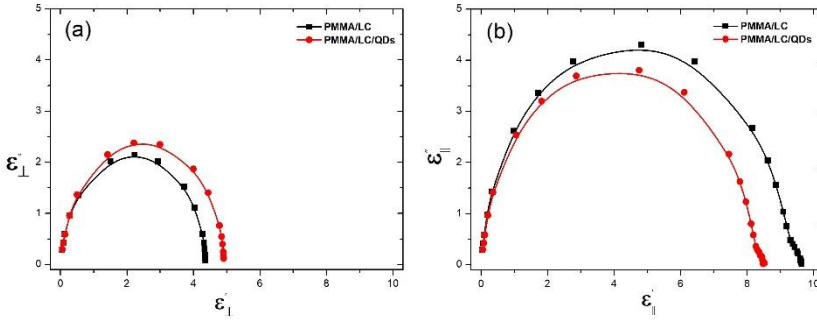


Şekil 3. Örneklerin $\Delta\epsilon' - f$ grafiği.

Şekil 4, kompozit yapıların 0 V ve 20 V için Cole–Cole grafiklerini göstermektedir. Dielektrik malzemelerin karakterizasyonunda son derece önemli olan Cole–Cole denklemi Eşitlik 3 ile tanımlanmaktadır (Pandey vd., 2015);

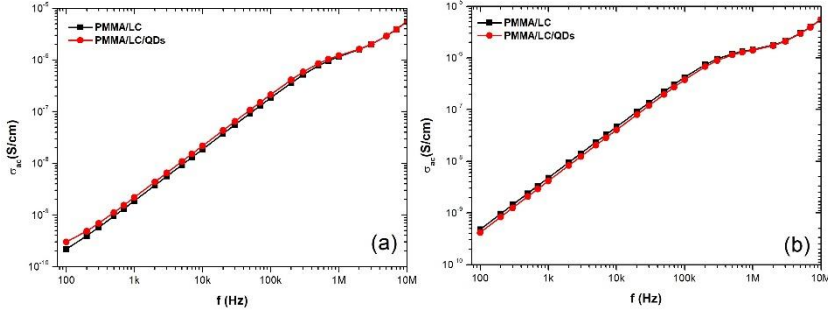
$$\varepsilon^* = \varepsilon'_\infty + \frac{\varepsilon'_s - \varepsilon'_\infty}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad (3)$$

burada, ε'_s ve ε'_∞ sırasıyla dielektrik sabitinin düşük ve yüksek frekanstaki değerini temsil eder, τ_R relaksasyon zamanını ve α dağılım parametresini ifade eder. Eğer $\alpha = 0$ ise, Cole–Cole modeli Debye modeli olarak bilinir. Bu durumda, yarım dairenin merkezi ε' ekseninde yer alır ve sistem tek bir relaksasyon durumuna sahiptir. Fakat, $\alpha \neq 0$ ise (sıfırdan farklı bir değer), yarım dairenin merkezi ε' ekseninin altında yer alır ve sistemde birden fazla relaksasyon durumu bulunur (Deshmukh vd., 2016).



Şekil 4. Örneklerin a) 0V ve b) 20 V değerinde Cole-Cole grafiği.

Grafiklere bakıldığında, hepsinin yarım çemberi neredeyse tamamladığı görülmektedir. Ayrıca Tablo 1’den dağılım parametresi değerlerine bakarsak α ’nın neredeyse sıfıra eşit olduğu görülmektedir. Bu sebeple örneklerin Debye modeline uygun davrandığı sonucuna varılmıştır. Kompozit yapıların relaksasyon zamanı (τ_R) Cole-Cole grafiğinden faydalanılarak belirlenmiştir ve Tablo 1’de verilmiştir. Tabloya göre, tüm numunelerde artan gerilime bağlı olarak τ_R değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu artışın nedeni, kompozit yapıda polimer, sıvı kristal ve kuantum noktaları arasındaki etkileşimden kaynaklanan dielektrik sürütünme ile açıklanabilir (Kocakulah vd., 2020_b). Buna rağmen hem 0 V da hem de 20 V da kuantum nokta katkısıyla τ_R değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu davranışın nedeni kuantum nokta katkısıyla moleküler düzenin artması ve yönelimin kolaylaşması olabilir. Bunun sonucunda da moleküllerinin başlangıç durumlarına geri dönmesi için gereken sürenin kısalmış olabilir.



Şekil 5. Örneklerin a) 0V ve b) 20 V değerinde $\sigma_{ac} - f$ grafiği.

Şekil 5, Saf ve kuantum nokta katkılı Sıvı kristal/Polimer kompozit yapıların 0 V ve 20 V değerinde ac iletkenliğinin frekansa bağlı değişim grafiklerini göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere, örneklerin σ_{ac} değerleri artan frekans ile yükselmektedir. Özellikle düşük frekans değerlerinde, σ_{ac} değerinin kuantum nokta katkısı ile bir miktar değiştiği görülmektedir. 0 V değerindeki hafif artış, kompozitteki safsızlık iyonlarının artışıyla açıklanabilir. Kuantum nokta, Sıvı kristal/Polimer kompozitine eklendiğinde, kompozitteki iyonik safsızlıklar artmakta ve dolayısıyla yapının ac iletkenliği yükselmektedir (Yıldırım vd., 2016). 20 V değerinde ise düşük frekans bölgesinde ac iletkenliğin bir miktar azaldığı söylenebilir. Voltajın artması ile kuantum noktaların iyon tuzaklama özelliği ön plana çıkabilir ve bu sebeple iletkenliğe olan katkı bir miktar azalmış olabilir (Singh vd., 2014).

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, CdSeS/ZnS kuantum noktası katkılı Sıvı kristal/Polimer kompozit yapılarının dielektrik özellikleri voltaj değişimine bağlı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, katkısız ve katkılı sistemler arasında önemli farkların olduğunu göstermektedir. Kuantum nokta katkısının, Sıvı kristal/Polimer kompozitlerin dielektrik performanslarını iyileştirdiği belirlenmiştir.

Deneyisel sonuçlar, kuantum noktaların iyon tuzaklama özelliği sayesinde, düşük frekans bölgelerinde iyonik iletkenliğin arttığını ve yüksek frekans bölgelerinde bu artışın azaldığını ortaya koymaktadır. Özellikle relaksasyon zamanındaki azalma ve dielektrik anizotropi değerlerindeki değişim, kuantum nokta katkısının moleküler düzeni artırdığına ve yönelimin daha kolay hale geldiğine işaret etmektedir. Ayrıca, saf ve katkılı sistemlerin Cole-Cole analizleri, her iki yapının da Debye modeline uygun bir davranış sergilediğini göstermiştir.

Bu bulgular, CdSeS/ZnS kuantum noktası katkılı Sıvı kristal/Polimer kompozitlerin, düşük voltajlı elektro-optik cihazlar, ekran teknolojileri ve sensör uygulamaları gibi alanlarda potansiyel bir malzeme olarak kullanılabileceğini göstermektedir. İlerleyen çalışmalarda, kuantum nokta konsantrasyonunun ve farklı nanomalzemelerin etkilerinin detaylı incelenmesi, kompozit malzemelerin performansını daha da iyileştirmek için yol gösterici olacaktır.

KAYNAKLAR

- Chauhan, G., Malik, P., Malik, P., & Deep, A. (2023). Improved performance of cadmium selenide quantum dots-doped polymer stabilized cholesteric liquid crystals for light shutter. *Liquid Crystals*, 50(15), 2540-2551.
- Deshmukh, R. R., & Katariya Jain, A. (2014). The complete morphological, electro-optical and dielectric study of dichroic dye-doped polymer-dispersed liquid crystal. *Liquid Crystals*, 41(7), 960-975.
- Deshmukh, R. R., & Jain, A. K. (2016). Effect of anti-parallel and twisted alignment techniques on various properties of polymer stabilised liquid crystal (PSLC) films. *Liquid Crystals*, 43(4), 436-447.
- Huang, C. Y., Selvaraj, P., Senguttuvan, G., & Hsu, C. J. (2019). Electro-optical and dielectric properties of TiO₂ nanoparticles in nematic liquid crystals with high dielectric anisotropy. *Journal of Molecular Liquids*, 286, 110902.
- Kocakulah, G., Yıldırım, M., & Köysal, O. (2020(a)). Effect of intermolecular charge transfer between Ni (II) Pc and CdSeS/ZnS QD on dielectric relaxation mechanism of 5CB nematic liquid crystals in the presence of UV illumination. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31, 2583-2590
- Kocakulah, G., Algül, G., & Köysal, O. (2020(b)). Effect of CdSeS/ZnS quantum dot concentration on the electro-optical and dielectric properties of polymer stabilized liquid crystal. *Journal of Molecular Liquids*, 299, 112182.
- Manohar, R., Tripathi, G., Singh, A. K., Srivastava, A. K., Shukla, J. P., & Prajapati, A. K. (2006). Dielectric and optical properties of polymer-liquid crystal composite. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 67(11), 2300-2304.
- Pandey, K. K., Bawaria, A. K., & Priyadarshi, P. (2015). Effect of nano particles on the dielectric anisotropy of liquid crystal. *Journal of Scientific Research and Advances*, 2(3), 103-107.
- Rani, A., Chakraborty, S., & Sinha, A. (2021). Effect of CdSe/ZnS quantum dots doping on the ion transport behavior in nematic liquid crystal. *Journal of Molecular Liquids*, 342, 117327.
- Singh, D. P., Gupta, S. K., Tripathi, P., Varia, M. C., Kumar, S., & Manohar, R. (2014). Reduced ionic contaminations in CdSe quantum dot dispersed ferroelectric liquid crystal and its applications. *Liquid Crystals*, 41(9), 1356-1365.
- Tripathi, P. K., Pande, M., & Singh, S. (2016). Dielectric and electro-optical properties of polymer-stabilized liquid crystal. II. Polymer PiBMA dispersed in MBBA. *Applied Physics A*, 122, 1-10.
- Xu, X. W., Zhang, X. W., Luo, D., & Dai, H. T. (2015). Low voltage polymer-stabilized blue phase liquid crystal reflective display by doping ferroelectric nanoparticles. *Optics express*, 23(25), 32267-32273.

- Yıldırım, M., Köysal, O., Önsal, G., & Gümüş, E. (2016). Effect of iron phthalocyanine (FePc) concentration on electrical and dielectric properties of the nematic liquid crystal composites. *Journal of Molecular Liquids*, 223, 868-872.
- Zhang, S., Wang, Q., Li, C., Shi, G., Zhang, L., Wang, X., ... & Yang, H. (2021). Fluorescence enhancement of quantum dots from the titanium dioxide/liquid crystals/polymer composite films. *Liquid Crystals*, 48(3), 322-335.



BÖLÜM 6

Şanlıurfa'nın İpek Yolu Bulvarında Elektromanyetik Radyasyon Kirliliği Ölçümü ve Radyasyon Risk Faktörünün Hesaplanması

Ömer Söğüt¹ & Selma Erdimez²

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

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, 46100 Kahramanmaraş-Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-6701-3539

Giriş

Çevre, insanların diğer tüm canlılarla birlikte fiziki, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel olarak yaşamlarını idame ettikleri ortam olarak tanımlanabilir. Gelişen bilim ve teknoloji ile birlikte, insanlar yaşamlarını kolaylaştırmak amacıyla ulaşım, iletişim, savunma, bilişim ve çeşitli elektrikli ev aletlimi gibi cihazlar ürettirler. Bunlara ek olarak, enerji ve gıda ihtiyaçlarını karşılayabilmek için çeşitli tipte enerji santralleri oluşturdular. Bu gelişmelere bağlı olarak, yirminci yüzyıl boyunca, elektrik talebi, kablosuz teknolojiler, iş uygulamaları ve sosyal davranış değişikliklerindeki sürekli gelişmeler nedeniyle elektromanyetik alan (EMA) ile ilgili olarak insan yapımı kaynaklar çevresel maruziyeti giderek artırmıştır. Üretilen ya da inşa edilen her teknolojik oluşum insanların yaşamlarını kolaylaştırırken çevreye ve dolayısıyla insan sağlığına olumsuz etkileri de beraberinde getirmiştir. Çevre üzerinde oluşan olumsuz etkiler; toprak, hava, su, gürültü, ışık ve radyasyon kirliliği olarak sayılabilir. Çevre kirliliklerinin içerisinde en tehlikelisi radyasyon kirliliği olmasına rağmen insanlar bu tehlikenin farkına varamamaktadırlar. Çünkü radyasyon kirliliği diğer çevre kirliliklerinde olduğu gibi hiçbir duyu organı ile algılanamazlar ve görülmezler. Bu nedenle radyasyon çevremizdeki gizli ve sinsi tehlikedir. Radyasyon elektrik ve manyetik alan bileşenleriyle hareket eden bir elektromanyetik dalga ya da foton denen parçacıklarla yayılan bir enerji transferi şeklindedir. Radyasyon her iki formda da bulunduğu ortama uygun ışık hızı ile yayılır. Radyasyon iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan olarak iki sınıfa ayrılır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun doğal kaynakları güneş, uzak radyo yıldızları, diğer kozmik kaynaklar ve yıldırım gibi karasal kaynaklardır ile insan yapımı gama ve X-ışınlarıdır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlara örnek olarak mikrodalga (MD) ve radyofrekans (RF) radyasyonları sayılabilir. Bir elektromanyetik alana (EMA) maruz kalındığında vücutta fark edilebilir veya saptanabilir fizyolojik bir değişiklik olduğu zaman biyolojik etkiler ortaya çıkar. Bazı durumlarda bu tür etkiler, fizyolojik değişimin kısa bir süre için normal aralığın ötesine geçmesine, yani olumsuz sağlık etkilerinin oluşmasına neden olabilir. Tüm canlılar doğumlarından ölümüne kadar yapay ve doğal olmak üzere iki çeşit radyasyona maruz kalırlar. Radyasyon canlıların, özellikle insanların yaşam kaynağı olduğu kadar onlar için ölümcülde olabilir. İnsanların yaşamlarını kolaylaştıran tıraş bıçağından mikrodalga fırınlara ve bilgisayarlardan cep telefonlarına kadar tüm elektronik cihazlar belirli miktarda radyasyon üretirler ve insanların ekstra radyasyon maruziyetine neden olurlar. Bu cihazların içerisinde en çok kullanılanlardan biri cep telefonlarıdır. Türkiye istatistik kurumu tarafından 2024 yılında yapılan bir araştırmaya göre cep telefonu kullanma yaşı 6 ve hatta daha da aşağıya indiği görülmüştür. Bundan daha ürkütücü olanı

ise ebeveynlerin birçoğunun daha küçük yaşlardaki çocukları susturmak ya da oyalamak amacıyla cep telefonlarında çeşitli oyun uygulamalarını açarak çocukların ellerini vermesidir. 1 mm ile 1 m dalga boyu ve 300 MHz ile 300 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik radyasyon mikrodalga radyasyonu olarak adlandırılır ve radyofrekans (RF) radyasyonu olarak tanımlanan radyasyonun bir parçasıdır (Aziz, 2021). Günümüzde mobil (cep telefonu) iletişim için küresel sistem (GSM), evrensel mobil telekomünikasyon sistemi (UMTS) 3G, 4G ve hatta 5G mobil iletişim teknolojileri kullanılmaktadır. GSM şebekesi bu alandaki cep telefonlarına hizmet etmek için karşılık gelen, bir kule ile etkileşim içinde çeşitli hücrelere ayrılmıştır (Wargo ve ark., 2012). Global System for Mobile Communications veya kısaca GSM bir mobil iletişim sistemidir. GSM, dünya genelinde ilk olarak Finlandiya’da kullanılmaya başlanmıştır. Finlandiya, gerek coğrafi yapısı, gerekse hava şartları ve yerleşiminin oldukça dağınık olması sebebiyle, insanları kablolu iletişime alternatif bir sistem olan mobil sistem üzerinde çalışmaları yapmaya tevsik etmiş ve ilk olarak 1982 yılında sistem üzerinde deneyler yapılmaya başlanmıştır (www.ieee.org, Cevizli, 2009). Cep telefonları, 0.1 ile 2 watt aralığındaki güçlerde, 450 ile 2700 MHz arasındaki frekanslarda çalışan düşük enerjili radyo frekans vericileridir. Cep telefonları açıldıkları zaman sadece güç iletirler. Güç telefondan artan mesafe ile hızla azalır. Cep telefonu kullanımı, ya insan sinir sistemini ve üremesini etkiler, DNA hasarına ve davranış değişikliklerine neden olur yada davranış bağımlılığı oluşturur (Wargo ve ark., 2012). Tüm cep telefonları uzayda birlikte hareket eden, elektrik ve manyetik enerji dalgalarından oluşan, bir elektromanyetik alan (EMA) olarak adlandırılan radyasyonun bir türünü yayarlar.

Cep telefonu ve benzeri teknolojilerin kullandığı mikrodalga ve RF radyasyon bölgesindeki frekans aralığındaki elektromanyetik alanlar, enerjileri düşük olduğu için insan vücuduna derinlemesine nüfuz edemezler. Ancak yeterince yüksek frekanslı (enerjili) olanlar vücut içerisine nüfus edebilirler. RF radyasyonunun enerjisinin çoğu, insan cildi yüksek elektrik iletkenliğine sahip olduğu için, cilt ve alttaki doku tarafından soğurulur (emilir). Radyasyon maruziyeti sonucu dokuda oluşan ısı artışı genellikle kan akışıyla kolayca dağıtılır. Belirli bir zaman içinde birim doku başına soğurma enerji miktarını tanımlayan parametreye özgül soğurma oranı (SAR, W/kg) denir. Dört W/kg SAR değerinin 1 °C’lık bir sıcaklık artışına neden olduğu rapor edilmiştir (Otto ve Mühlendahl, 2007). 10MHz-10GHz frekans aralığında tüm vücut için SAR değeri çalışanlar için 0.4 W/kg ve genel halk için 0.08 W/kg olarak Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu (ICNIRP) tarafından kabul edilmiştir. Ancak baş, gövde, boyun, dil, mide böbrek ve benzeri gibi vücudun lokal olarak alınanları

için farklı değerler söz konusudur (ICNIRP, 1998). İnsan başının dış şekli ve başın içindeki farklı dokuların dağılımının RF enerjisinin soğurulmasında önemli bir rol oynadığı da rapor edilmiştir (Keshvari ve Lang, 2005). İnsanların mobil telefon kaynaklı radyofrekans (RF) radyasyonuna maruz kaldığında davranış değişiklikleri, immünolojik sistem üzerindeki etkileri, üreme etkileri, hormon düzeylerindeki değişimler, baş ağrısı, sinirlilik, göz etkileri, unutkanlık, yorgunluk ve kalp hızında artış gibi kardiyovasküler olumsuz sağlık etkilerine neden olabileceği çeşitli bilimsel araştırmalarda raporlanmıştır (Wargo ve ark., 2012). RF radyasyonuna maruz kalmanın daha düşük seviyelerinde bile elektromanyetik aşırı duyarlılık (EHS) belirtileri gösteren kişilerin olduğu da rapor edilmiştir. Cep telefonu kullanımının EHS ile ilişkili olabilen belirtiler baş ağrısı, mide bulantısı, baş dönmesi, bulanık görme ve diğer benzer belirtiler olarak sayılabilir (Hocking ve ark., 2001, 2002 ve 2003). Cep telefonu radyo frekanslı elektromanyetik alan (RF-EMA) radyasyonundan küçük yaştaki çocukların organları hala gelişme aşamasında olması ve özellikleri kafalarındaki kemik dokusu hala kıkırdak olduğu için yetişkinlere göre çok daha fazla etkilenirler. Çocukların baş çevresi yetişkinlere göre daha küçük olduğu içinde RF radyasyon maruziyetinde çocukların beyinleri yetişkinlere göre daha fazla etkilenir. Bir çocuğun beyninin bir yetişkine göre 2-3 kat daha fazla radyasyon soğurduğunu rapor eden araştırmalar vardır (Fernández ve ark., 2018). Yapılan bir başka araştırmada 20 yaşından önce cep telefonu kullanmaya başlayan kişilerin, yetişkinlikte kablosuz telefon kullanmaya başlayan kişilere göre beyin tümörü geliştirme riskinin daha yüksek olduğu rapor edilmektedir (Hardell ve ark., 2004, 2009). Cep telefonunu çok fazla kullanan çocuklarda dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğunun (DEHB) olma olasılığının daha fazla olduğunu rapor eden çalışmalarda vardır (Divan ve ark., 2008). 31 Mayıs 2011'de DSÖ'nün bir alt kurumu olan Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından kablosuz telefon kullanımı ile ilişkili olarak beyin kanserinin bir malign türü olan gliomanın artma riskine bağlı olarak radyofrekans elektromanyetik alanlarını insanlar için muhtemel kanserojen olarak sınıflandırıldı (WHO, 2011). Ek olarak, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 30 Hz ile 300 GHz aralığında elektromanyetik frekansların olası sağlık etkilerinin bilimsel kanıtları değerlendirilmesi için 1996 yılında Uluslararası EMF projesini oluşturmuştur (Repacholi, 1998). Mikrodalga ve RF radyasyonunun olumsuz etkileri ile ilgili birçok araştırma yapılmış. Rahman 2018 yılında yaptığı araştırmada elektromanyetik radyasyonların insan vücudu tarafından soğurulmasının vurgulanmasına ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerine odaklanmış ve sonuç olarak elektromanyetik radyasyonun olumsuz etkilerinin olduğunu rapor etmiştir (Rahman, 2018). Biyolojik ortamlarda elektromanyetik dalgaların girme özellikleri ve çeşitli dokular için girme derinliğinin hesaplanması yapılmıştır (Bharani

ve ark., 2014). Lerchl tarafından yapılan bir araştırmada elektromanyetik kirlilik ve kısırlık için başka bir risk faktörü mü yoksa bir aldatmaca mı? Sorusunun cevabı araştırılmış ve (Lerchl, 2013). RF radyasyon maruziyetin doğru dozimetrik değerlendirmesi, yani gerçek SAR değerlerinin tahmini, hem canlı hem de cansız ortamda, oldukça zor bir araştırma alanı olduğu ve biyofizik, fizik ve elektromanyetik teoride ayrıntılı bilgi gerektirdiğini bildirmiştir. Ek olarak, bu güne kadar (2013 yılı için geçerli), RF-EMA'nin canlı veya cansız ortamda erkek ve kadın doğurganlık parametreleri üzerinde olumsuz etkileri olduğuna dair hiçbir belirtinin olmadığını rapor etmiştir (Lerchl, 2013). 835 ve 1900 MHz'de mobil telefonlar için insan başı ve boynun dokularında elektromanyetik soğurma soğurma araştırılmış ve bu amaçla 10 ve 5 yaşındaki çocukların karakteristik boyutlarına karşılık gelen baş ve boyun ve "el" in küçültülmüş ölçekli modelleri kullanılarak SAR dağılımlarını hesaplanmış. EM enerjisinin daha küçük modelde daha fazla soğurulduğu rapor edilmiştir (Gandhi ve ark., 1996). Mikrodalga doku işlemenin eşleştirilmiş elektromanyetik ve termal modellemesi yapılmış. Bu araştırma için ev tipi bir mikrodalga fırında doku örneklerinin mikrodalga ile ısıtılmasını simüle etmek için elektromanyetik ve termal fenomenleri birleştirerek bir model geliştirilmiş. Burada amaç bir dokunun bir sıvıya daldırılmasından sonra sıvıdaki enerji soğurması ve sınırlardaki ısı akış mekanizması nedeniyle doku içindeki sıcaklık düzenini değiştirdiğini ispatlamak olduğu rapor edilmiştir (Hassaballa ve ark., 2013). 2011 yılında yayınlanan başka bir araştırmada cep telefonları tarafından yayınlanan elektromanyetik enerjinin insan kafasındaki soğurulmasının hesaplanması çalışılmıştır (Krstić ve ark., 2011). Kumar ve ark., tarafından 2010 yılında radyasyonunun insan sağlığı üzerindeki tehlikeli etkileri çalışılmış (Kumar ve ark., 2010). Literatürde RF radyasyonunun insan sağlığı üzerine etkileri ile ilgili birçok araştırma vardır (Pachua ve ark., 2014; Mohril ve ark., 2016; Maregu, 2016; Karger, 2005; Zhang ve ark., 2024; Kates ve ark., 2018; Jayaraju ve ark., 2023; Li ve Ren, 2024; Seo ve ark., 2016; Mei ve ark., 2023; Gautam ve ark., 2024; Kızılçay ve ark., 2024; El Moudden ve ark., 2024; Singh ve Jindal, 2022; Khalil ve ark., 2022; Priyadarshini ve ark., 2020; Bramhane ve ark., 2023; Pattnaik ve ark., 2022; Jangid ve ark., 2022; Bektas ve ark., 2023).

2. Materyal ve Metot

Şanlıurfa Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Yüz ölçümü bakımında bölgenin en büyük ilidir. Güneyinde Suriye, kuzeyinde Diyarbakır, doğusunda Mardin ve batısında Gaziantep illeri bulunmaktadır. Şanlıurfa sınırları içerisinde Harran, Suruç, Viranşehir, Hilvan, Ceylanpınar, Bozova ve Siverek ovaları bulunmaktadır. Şanlıurfa merkez ilçeleri Haliliye, Eyyübiye ve Karaköprü'dür ve 2023 verilerine göre şehir merkezinin (merkez ilçelerinin toplam

nüfusu) 788.956'dır. Konumu itibariyle birçok ülkeye ve şehirlere karayolları ulaşımı konusunda kilit noktası konumundadır. Bu çalışmada Şanlıurfa'nın Eyyübiye ve Haliliye merkez ilçelerinin sınırları içerisinde bulunan ve en kalabalık ve yoğun insanların yaşadığı bulvarlardan biri olan, yaklaşık 2500 m uzunluğunda İpek Yolu Bullarında 300 m aralıklarla 8 noktada haftanın yedi günü boyunca her gün 08:00-12:00 saatleri arasında iyonlaştırıcı olmayan radyofrekans (RF) radyasyon ölçümleri yapıldı. Ölçümlerde 100kHz-6GHz frekans aralığına sahip olan NBM-550 Narda geniş bant alan ölçer ile EF-0691 probu kullanıldı. Frekans seçici özelliği olmayan NBM-550 Narda geniş bant alan ölçer cihazı ve EF-0691 kodlu probu ile ortamda bulunan radyofrekans (RF) kökenli (iyonlaştırıcı olmayan radyasyonların) elektromanyetik dalgaların tümünün elektrik alan gücü (şiddeti) E (V/m), manyetik alan gücü (şiddeti) H (A/m) ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu S (W/m^2) ölçümleri yapabilmektedir. Ancak bu çalışmada sadece elektrik alan şiddeti ölçümleri yapıldı. Bu ölçüm değerleri kullanılarak manyetik alan gücü (şiddeti) ile eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunu hesaplamaları yapıldı. Şekil 1'de ölçüm noktalarının uydu görüntüsü ve Şekil 2'de NBM-550 Narda geniş bant alan ölçer ile EF-0691 kodlu probunun fotoğrafı verildi.



Şekil 1. Ölçüm noktalarının uydu görüntüsü



Şekil 2. NARDA NBM-550 elektromanyetik ölçer ile EF0691 kodlu probu

2.1. Hesaplamaların Yapılması

Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu, elektromanyetik dalganın hareket doğrultusuna dik ve birim alana başına düşen güç miktarıdır. Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu W/m^2 ya da W/cm^2 birimlerinde ölçülebilmektedir. H (A/m) manyetik alan gücü (şiddeti) manyetik akı yoğunluğunun ilgili ortamın geçirgenliğine oranı (A/m) olarak tanımlanırken, E (V/m) elektrik alan şiddeti ise uzayda herhangi bir noktada bir birimlik pozitif elektrik yüküne etki eden kuvvetin vektörel büyüklüğü olarak tanımlanabilir (BTK, 2011). Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu, ölçülen elektrik alan şiddetinin değeri kullanılarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir (IEEE Std C95.1, 1999).

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

burada 377 boş uzayın (havanın) direncini ve birimi Ohm'dur.

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

Radyasyon dozu ve radyasyon doz indeksi aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

Güç yoğunluğu herhangi bir T anında ortalama değeri aşağıdaki gibi yazılabilir (Szmigielski ve Kubacki, 2000).

$$S_{ort} = \frac{1}{T} \sum_i S_i t_i \quad (3)$$

burada t_i maruziyet süresini ve S_i , Poynting'in vektörünü veya güç yoğunluğunu temsil etmektedir. Burada t_i aynı zamanda örnekleme zamanını da temsil etmektedir. t_i süresinde S_i güç yoğunluğu değeri sıfırdan farklı olmalı ve tüm t_i süresince sabit kalmalıdır. İpek Yolu Bullarındaki işyerlerinde çalışanlar için mesai saatine eşit olarak $T=8$ saat alındı. Ancak bullar üzerindeki evlerde yaşayanlar için $T=8760$ saat alınmalıdır. Herhangi bir T zamanında E 'nin ortalama değeri yazılabilir (Szmigielski ve Kubacki, 2000).

$$E_{ort} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum E_i^2 t_i} \quad (4)$$

burada E_i , t_i zamanı boyunca ölçülen ortalama karekök (rms) elektrik alan kuvvetinin değerleri temsil eder ve t_i örnekleme zamanıdır. Ölçümlerin ve hesaplamaların doğru olabilmesi için t_i zamanı süresince E_i 'nin değeri sıfırdan farklı olmalı ve t_i zamanı boyunca sabit kalmalıdır. Radyasyon dozu (RD) S_i veya E_i değerlerine bağlı olarak $(W \cdot h)/m^2$ biriminde aşağıdaki gibi yazılabilir (Szmigielski ve Kubacki, 2000).

$$D = \sum S_i t_i \quad (5)$$

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

(6)

$$D = S_{ort} T \quad (7)$$

$$D = \frac{1}{Z_0} E_{ort}^2 T \quad (8)$$

Mikrodalga (MW) ve radyofrekans (RF) maruziyetlerinde radyasyon doz indeksinin (RDI) hesaplanması aşağıdaki denklemlerle yapılabilir (Szmigielski ve Kubacki, 2000).

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

D_n maksimum izin verilen radyasyon dozu (RD), aşağıdaki denklemlerle elde edilen elektromanyetik radyasyon (EM) güvenlik standartlarından hesaplanabilir.

$$D_n = S_n T \text{ veya } D_n = \frac{1}{z_0} E_n^2 T \quad (10)$$

burada S_n ve E_n , RDI'nin hesaplandığı EM frekansları için güvenlik standartlarından tanımlanan S veya E'nin ilgili değerleridir.

$$RDI = \frac{\sum S_i t_i}{S_n T} \text{ veya } RDI = \frac{\sum E_i^2 t_i}{E_n T} \quad (11)$$

3. Sonuçlar ve Tartışma

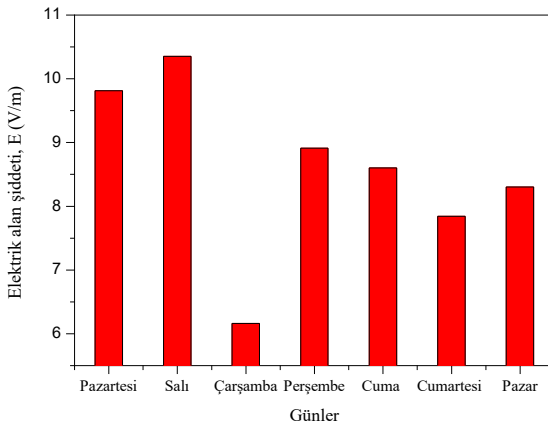
Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki ilerinden biri olan Şanlıurfa eski adıyla Ruha veya eski çağlardaki suyu bol anlamına gelen Edessa adıyla ya da halk arasındaki kısa Urfa adıyla, Şanlıurfa kuzeyinde Adıyaman, doğusunda Mardin, batısında Gaziantep, kuzeydoğusunda Diyarbakır ve güneyinde Suriye vardır. Rakımı yani deniz seviyesinden yüksekliği 477m'dir. 19451km²'lik alanıyla Türkiye'nin yedinci büyük şehri durumundadır. Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) Adrese Dayalı Kayıt Sistemi'nin (ADKS) 2023 yılı resmi verilerine göre nüfusu 2213964 kişidir. Şanlıurfa nüfus olarak ise Türkiye'nin sekizinci en kalabalık ili durumunda olup, %18.5'lik genç nüfus oranıyla Türkiye'nin en genç nüfusa sahip illeri arasında yer almaktadır (web1; web2). Urfa şehrine 12 Haziran 1984 yılında kabul edilen bir kanunla şanlı unvanı verildi.

Bu çalışmada Güneydoğu Anadolu bölgesinin en kalabalık şehirlerinden biri olan Şanlıurfa'nın Haliliye ve Eyyübiye merkez ilçelerinin sınırları içerisinde kalan İpekyol bulvarında iyonlaştırıcı olmayan genellikle mikrodalga (MD) ve RF kökenli elektromanyetik alan kirlilik düzeyi ölçümleri yapıldı. İpekyol bulvarının 2500 m uzunluğundaki kısmında 300 m aralıklarla yedi gün boyunca her gün 08:00-12:00 saatleri arasında NBM-550 Narda geniş bant elektromanyetik alan ölçer ve EF-0691 kodlu probu ile elektrik alan şiddeti ölçümleri yapıldı. Ölçümler her notada üçer kez tekrarlandı ve her bir ölçümün anlamlı bir sonuç verebilmesi için ICNIRP ve BTK'nın önerileri doğrultusunda ölçüm süresi en az 6 dakika alındı (ICNIRP, 1998; BTK, 2011). Tablo 1 ve Tablo 3-4'den görüldüğü gibi, haftanın yedi günü, her gün 08:00-12:00 saatleri arasında ölçülen maksimum ortalama elektrik alan gücünün (şiddetinin) bir haftalık ortalama değeri 8.57 ± 1.27 V/m, maksimum ortalama manyetik alan gücünün (şiddetinin) bir haftalık ortalama değeri 0.022 A/m ve maksimum ortalama eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun bir haftalık ortalama değeri 0.240 W/m² olarak hesaplandı. Denklem (3-11) kullanılarak Radyasyon dozu (D) ve Radyasyon Doz İndeksi (RDI) hesaplandı. Radyasyon dozu, $D=2102.4$ (Wxsaat)/m² ve RDI =0.023 olarak bulundu.

RDI değeri 1’den küçük ($RDI < 1$) olması nedeniyle İpek yolu bulvarı üzerinde yaşayan insanlar için radyasyon kirlilik düzeyinin zararsız olduğu söylenebilir. Ölçümlerden elde edilen elektrik alan şiddetinin değerleri Tablo 1’de ve bir haftalık ölçülen elektrik alan gücünün (şiddetinin) ortalama değerlerinin günlere göre değişimi Şekil 3’de verildi. Ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından tanımlanan sınır değerler de Tablo 2’de verildi.

Tablo 1. Şanlıurfa’nın ipek yolu boyunca bir haftalık ölçülen elektrik alan gücünün (şiddetinin) değerleri (ortalama $\pm\sigma$, n=3)

Konum	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
	E_{max} (V/m)	E_{max} (V/m)	E_{max} (V/m)	E_{max} (V/m)	E_{max} (V/m)	E_{max} (V/m)	E_{max} (V/m)	E_{ort} (V/m)
Lot:37°9'19" Lon:38°46'37"	12.61 $\pm$ 0.13	12.36 $\pm$ 0.20	9.53 $\pm$ 0.07	12.88 $\pm$ 0.04	12.06 $\pm$ 0.15	16.58 $\pm$ 0.23	9.75 $\pm$ 0.15	12.25$\pm$2.17
Lot:37°9'19" Lon:38°46'37"	19.90 $\pm$ 0.09	18.58 $\pm$ 0.09	1.94 $\pm$ 0.00	19.23 $\pm$ 0.07	12.92 $\pm$ 0.06	13.02 $\pm$ 0.08	18.19 $\pm$ 0.05	14.83$\pm$5.90
Lot:37°9'41" Lon:38°46'53"	7.54 $\pm$ 0.14	9.86 $\pm$ 0.24	4.47 $\pm$ 0.02	4.72 $\pm$ 0.02	7.62 $\pm$ 0.18	5.86 $\pm$ 0.04	4.21 $\pm$ 0.01	6.33$\pm$1.94
Lot:37°9'51" Lon:38°47'5"	8.28 $\pm$ 0.21	10.72 $\pm$ 0.18	5.49 $\pm$ 0.08	7.52 $\pm$ 0.15	8.73 $\pm$ 0.24	6.61 $\pm$ 0.11	7.98 $\pm$ 0.12	7.91$\pm$1.53
Lot:37°9'53" Lon:38°47'15"	6.14 $\pm$ 0.03	4.76 $\pm$ 0.03	5.86 $\pm$ 0.04	5.63 $\pm$ 0.01	5.17 $\pm$ 0.02	4.21 $\pm$ 0.02	4.91 $\pm$ 0.03	5.24$\pm$0.63
Lot:37°9'57" Lon:38°47'23"	5.21 $\pm$ 0.03	6.73 $\pm$ 0.05	5.32 $\pm$ 0.04	4.91 $\pm$ 0.01	5.14 $\pm$ 0.02	3.73 $\pm$ 0.01	3.47 $\pm$ 0.01	4.93$\pm$1.00
Lot:37°9'59" Lon:38°47'38"	6.02 $\pm$ 0.02	10.47 $\pm$ 0.06	8.81 $\pm$ 0.01	9.55 $\pm$ 0.16	6.92 $\pm$ 0.09	5.06 $\pm$ 0.01	7.81 $\pm$ 0.11	7.81$\pm$1.80
Lot:37°10'2" Lon:38°47'55"	12.75 $\pm$ 0.24	9.31 $\pm$ 0.01	7.86 $\pm$ 0.01	6.84 $\pm$ 0.01	10.20 $\pm$ 0.05	7.64 $\pm$ 0.01	10.07 $\pm$ 0.05	9.24$\pm$1.86
Ortalama	9.81$\pm$0.09	10.35$\pm$0.05	6.16$\pm$0.02	8.91$\pm$0.04	8.60$\pm$0.08	7.84$\pm$0.04	8.30$\pm$0.04	8.57$\pm$1.27



Şekil 3. Şanlıurfa’nın ipek yolu boyunca bir haftalık ölçülen maksimum elektrik alan şiddetinin ortalama değerinin günlere göre değişimi

Tablo 3 ve Şekil 2’den görüldüğü gibi elektrik alan gücünün (şiddetinin) en büyük değeri 10.35 ± 0.05 V/m olarak Salı günü için hesaplanırken en küçük değeri de 6.16 ± 0.02 V/m olarak Çarşamba günü için hesaplandı. Tablo 2’den görüldüğü gibi bazı noktalarda elektrik alan gücünün (şiddetinin) büyük bazı noktalarda küçük olarak ölçülmesinin nedeni ölçüm yapılan noktaların baz istasyonlarına olan uzak ya da yakın olma durumları ile ölçüm anında ölçüm yapılan yerde cep telefon ile konuşan kişilerin bulunması olabilir. Ölçüm yapılan noktalarda elde edilen ölçümlerin hiç biri Tablo 2’de verilen Ulusal ve uluslararası kurumlar tarafından tanımlanan limit değerlerinden büyük değildir.

Tablo 2. Elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu için BTK, ICNIRP/FCC ve ARPANSA tarafından tanımlanan limit değerler

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

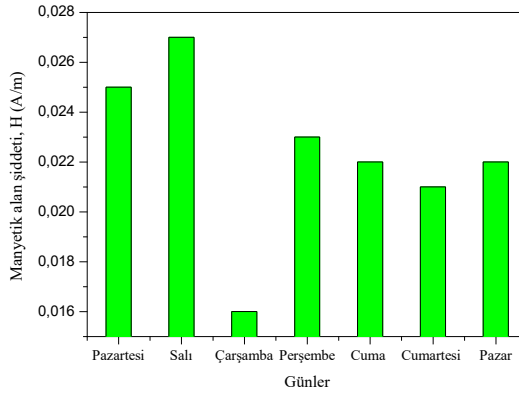
* İşaretli değerler 2100 MHz frekansı için, $S = \frac{E^2}{377} = 377 H^2$ denkleminden hesaplanmıştır (ICNIRP, 1998).

Elektrik alan şiddetinin verileri ve (2) nolu denklem kullanılarak hesaplanan manyetik alan gücünün (şiddetinin) değerleri Tablo 3’de ve manyetik alan şiddetinin bir haftalık değerlerinin ortalamasının günlere göre değişimi de Şekil 4’de verildi.

Tablo 3. Şanlıurfa'nın ipek yolu bulvarı boyunca bir haftalık hesaplanan manyetik alan gücünün (şiddetinin) değerleri (ortalama $\pm\sigma$, n=3)

Konum	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
	H _{max} (A/m)	H _{max} (A/m)	H _{max} (A/m)	H _{max} (A/m)	H _{max} (A/m)	H _{max} (A/m)	H _{max} (A/m)	H _{ort} (A/m)
Lot:37°9'19° Lon:38°46'37°	0.033	0.032	0.025	0.034	0.031	0.043	0.025	0.032
Lot:37°9'19° Lon:38°46'37°	0.052	0.050	0.005	0.051	0.034	0.034	0.048	0.039
Lot:37°9'41° Lon:38°46'53°	0.020	0.026	0.011	0.012	0.020	0.015	0.011	0.016
Lot:37°9'51° Lon:38°47'5°	0.021	0.028	0.014	0.019	0.023	0.017	0.021	0.020
Lot:37°9'53° Lon:38°47'15°	0.016	0.012	0.015	0.014	0.013	0.011	0.013	0.013
Lot:37°9'57° Lon:38°47'23°	0.013	0.017	0.013	0.013	0.013	0.011	0.010	0.013
Lot:37°9'59° Lon:38°47'38°	0.015	0.027	0.023	0.025	0.018	0.013	0.020	0.020
Lot:37°10'2° Lon:38°47'55°	0.033	0.024	0.020	0.018	0.027	0.020	0.026	0.024
Ortalama	0.025	0.027	0.016	0.023	0.022	0.021	0.022	0.022

Tablo 3 ve şekil 4'ten görüldüğü gibi maksimum manyetik alan şiddetinin en büyük ortalama değeri 0.027 A/m olarak Salı günü için hesaplandı. Maksimum manyetik alan şiddetinin en küçük ortalama değeri de 0.016 A/m olarak Çarşamba günü için hesaplandı. Ölçülen elektrik alan şiddetinin verilerinden hesaplanan manyetik alan şiddetinin değerlerinin hiçbirisi Tablo 2'de verilen sınır değerlerinden büyük değildir.

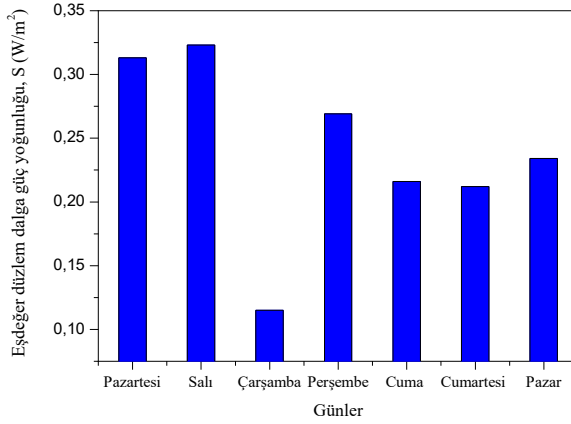


Şekil 4. Şanlıurfa'nın ipek yolu bulvarı boyunca bir haftalık hesaplanan maksimum manyetik alan şiddetinin ortalama değerinin günlere göre değişimi

Bir hafta boyunca her gün 08:00-12:00 saatleri arasından yapılan elektrik alan şiddetinin değerleri ile (1) nolu denklem kullanılarak hesaplanan eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun sonuçları Tablo 4'de verildi. Şekil 5'de Şanlıurfa'nın ipek yolu üzerinde bir haftalık ölçülen maksimum eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun ortalama değerinin günlere göre değişimi verildi.

Tablo 4. Şanlıurfa ipek yolu bulvarı boyunca bir haftalık hesaplanan eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun değerleri (ortalama $\pm \sigma$, n=3)

Konum	Pazar-tesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Orta-lama
	$S_{\max}$ (W/m ²)	$S_{\max}$ (W/m ²)	$S_{\max}$ (W/m ²)	$S_{\max}$ (W/m ²)	$S_{\max}$ (W/m ²)	$S_{\max}$ (W/m ²)	$S_{\max}$ (W/m ²)	S_{ort} (W/m ²)
Lot:37°9'19° Lon:38°46'37°	0.422	0.405	0.241	0.444	0.386	0.729	0.252	0.411
Lot:37°9'19° Lon:38°46'37°	1.050	0.916	0.010	0.981	0.443	0.450	0.878	0.675
Lot:37°9'41° Lon:38°46'53°	0.151	0.258	0.053	0.059	0.154	0.091	0.047	0.116
Lot:37°9'51° Lon:38°47'5°	0.182	0.305	0.080	0.150	0.202	0.116	0.169	0.172
Lot:37°9'53° Lon:38°47'15°	0.100	0.060	0.091	0.084	0.071	0.047	0.064	0.074
Lot:37°9'57° Lon:38°47'23°	0.072	0.120	0.075	0.064	0.070	0.037	0.032	0.067
Lot:37°9'59° Lon:38°47'38°	0.096	0.291	0.206	0.242	0.127	0.068	0.162	0.170
Lot:37°10'2° Lon:38°47'55°	0.431	0.230	0.164	0.124	0.276	0.155	0.269	0.236
Ortalama	0.313	0.323	0.115	0.269	0.216	0.212	0.234	0.240

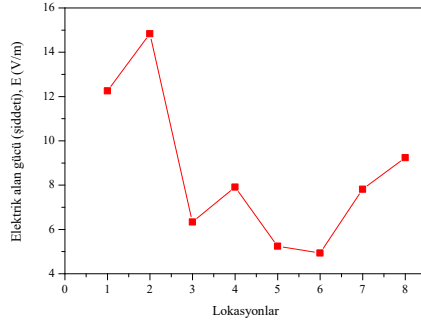


Şekil 5. Şanlıurfa'nın ipek yolu bulvarı boyunca bir haftalık ölçülen maksimum eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun ortalama değerinin günlere göre değişimi

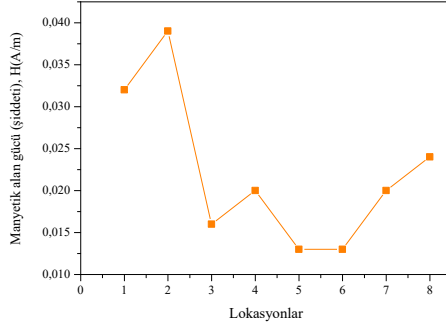
Tablo 4 ve Şekil 5'den görüldüğü gibi eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun en büyük değeri 0.323 W/m² olarak hesaplanırken, en küçük değeri Çarşamba günü 0.115 W/m² olarak hesaplandı. Haftanın yedi günü boyunca ölçülen elektrik alan gücü (şiddeti) verileri kullanılarak hesaplanan eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun ve Tablo 4'de verilen sonuçların hiçbirisi Ulusal ve uluslararası

kurum ve kuruluşlar tarafından tanımlanan ve Tablo 2’de verilen sınır değerlerinden büyük değildir. Tablo 1, 3-4 ve Şekil 3-5’den görüldüğü gibi, Şanlıurfa’nın 2500m uzunluğundaki İpek Yolu Bulvarı boyunca yapılan elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu ölçümleri, bazı ölçüm noktalarında küçük ve bazı ölçüm noktalarında büyük değerlerde ölçülmesinin nedeni ölçüm yapılan noktanın çevresinde bulunan baz istasyonlarına olan uzaklık-yakınlık ile ölçüm yapıldığı andaki cep telefonu kullanma yoğunluğunun farklı olmasından olabilir. Çünkü cep telefonunu kullanım yoğunluğunun artması ya da azalması elektrik alan gücü, manyetik alan gücü ve eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu ölçüm değerlerinin artması ya da azalması anlamına gelmektedir. Cep telefonunun yüksek çekim gücüne (bağlanma sinyaline) sahip olduğu yerler genellikle baz istasyonuna yakın olduğu yada arasında sinyal engelleyecek bir ortamın olmadığı anlamındadır. Cep telefonları yüksek çekim gücünde (baz istasyonuna yakın olduğu zaman) daha düşük güçle çalışırlar. Bu durum da daha az radyasyon maruziyeti demektir. Cep telefonu ve benzer cihazlar bağlanma sinyal gücü zayıfladıkça yada baz istasyonundan uzaklaştıkça baz istasyonu ile bağlantı sağlayabilmek için daha yüksek güçle çalışırlar. Bu durumda mobil telefon kullanıcıları daha fazla radyasyonu maruz kalırlar (Söğüt ve Eyicil, 2021.). Literatürde RF radyasyon maruziyetinin biyolojik etkileri yorumlayabilmek için genellikle termal, a-termal ve termal olmayan olarak üç temel terim kullanılır. A-termal etkiler, numunenin sıcaklığını artırmaya yetecek kadar enerji depolandığında, ancak gövdedeki sıcaklık kontrolü nedeniyle sıcaklıkta önemli bir değişiklik meydana gelmediğinde oluşan etkilerdir. Bir doku ya da numunenin sıcaklığında örneğin 0.1°C kadar ölçülebilir bir artış oluşturacak kadar yeterli RF ve MW enerjisi soğurulursa termal etkiler oluşabilir. Genel olarak mikrodalgaların termal etkileri arasında hiperpireksi, miyokardiyal nekroz, çeşitli organlarda (akciğer, karaciğer, bağırsak ve beyin) kanama, vücut dokularında dejenerasyon, geçici kısırlık vb. sayılabilir. Bu tür etkiler temel olarak 100 mW/cm² ve üzeri mikrodalga güç yoğunluğunda gözlenir. Ancak RF ve MD radyasyonlarının biyolojik sistemler ile etkileşimi karmaşıktır. RF ve MD radyasyonlarının biyolojik sistemlere etkileri maruz kalan dokuların dielektrik sabitine, geçirgenliğine, güç seviyesine, radyasyonun frekansına, ışınlama moduna ve maruz kalma süresi gibi birçok faktöre bağlıdır (Aziz, 2021).

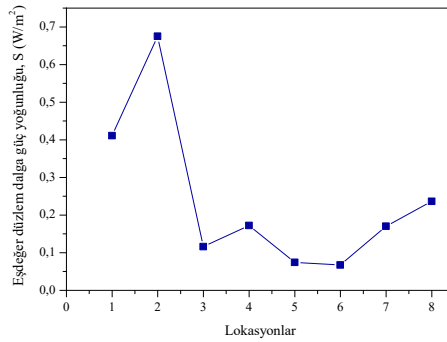
Günlük olarak ölçülen ve ortalama olarak hesaplanan ortalama elektrik alan gücünün (şiddetinin), ortalama manyetik alan gücünün (şiddetinin) ve ortalama eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun ölçüm noktalarına göre değişimi, sırasıyla, Şekil 6-8’de verildi.



Şekil 6. Günlük olarak ölçülen ve ortalama olarak hesaplanan ortalama elektrik alan gücünün (şiddetinin) ölçüm noktalarına göre değişimi



Şekil 7. Günlük olarak ölçülen elektrik alan gücünün değerleri kullanılarak ve ortalama olarak hesaplanan ortalama manyetik alan gücünün (şiddetinin) ölçüm noktalarına göre değişimi



Şekil 8. Günlük olarak ölçülen elektrik alan gücünün değerleri kullanılarak ve ortalama olarak hesaplanan ortalama eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun ölçüm noktalarına göre değişimi

Tablo 1 ve Şekil 6'dan görüldüğü gibi, en büyük ortalama elektrik alan gücü (şiddeti) değeri 14.83 ± 5.90 V/m olarak ikinci noktada ölçülen değerler için hesaplanırken, en küçük değer ise 4.93 ± 1.00 V/m olarak altıncı noktada hesaplandı. Tablo 3 ve Şekil 7'den görüldüğü gibi, en küçük ortalama manyetik alan gücü (şiddeti) 0.013 A/m olarak beş ve altıncı noktalar için hesaplanırken en büyük ortalama manyetik alan gücü 0.039 A/m olarak ikinci noktada için hesaplandı. Tablo 4 ve Şekil 8'den görüldüğü gibi en büyük ortalama eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun değeri 0.675 W/m^2 olarak ikinci noktada hesaplanırken, en küçük ortalama eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğunun değeri 0.067 W/m^2 olarak altıncı noktada hesaplandı.

Bu araştırmada ölçülen E ve hesaplanan H ile S değerleri ICNIRP, ARPANSA, FCC ve BTK gibi uluslararası ve ulusal kurumlar tarafından tanımlanan sınır değerlerinden oldukça küçük olsa da radyasyon maruziyetinde önemli olan faktörler zaman, mesafe ve kaynağının şiddetidir. Bu nedenle radyasyon kirliliği de gürültü, su, hava ve toprak kirliliği gibi bir çevre kirliliğidir. Ancak radyasyon kirliliği duyu organları ile tespit edilemediği için onu diğer çevre kirliliklerinden daha tehlikeli hale getirir. Sonuç olarak, diğer çevre kirliliklerinde olduğu gibi radyasyon kirliliği ile ilgili olarak da yetkili kurumlar tarafından ister iyonlaştırıcı radyasyon maruziyeti, isterse RF ve MD gibi radyofrekans kökenli iyonlaştırıcı olmayan radyasyon maruziyeti ile ilgili olarak farkındalık çalışmalarının yaptırılması ya da yapılması önerilmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nin (Proje no. 2024/4-19 YLS) finansal desteği için teşekkür eder. Bu araştırma daha önce hiçbir kongre, dergi ve kitapta, kitap bölümü olarak yayınlanmadı.

Kaynaklar

- ARPNSA, 2002. Radiation Protection Standard, Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields, 3 kHz to 300 GHz, Radiation Protection Series Publication No. 3. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPNSA), p.128
- Aziz J.S., 2021. Analysis of Biological Effects of Microwave Energy and Safe Distance Calculations, *Journal of Al-Rafidain University College For Sciences*, 1-8.
- 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 Resmi Gazete Sayı :27912.
- Bharani P.S.N., Chandra Ch.R., Kumar Y.R., 2014. Investigations on the Penetration Properties of Electromagnetic Waves in Biological Media, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology* 3(11), 489-495
- Bramhane R., Narayankhedkar S., Dabhade S., Mote V., 2023. Effect of Electromagnetic Radiations on Children. In: Nath V., Mandal J.K. (eds) *Microelectronics, Communication Systems, Machine Learning and Internet of Things. Lecture Notes in Electrical Engineering* 887, 121-128. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1906-0_10.
- Bektas H., Nalbant A., Akdag M. B., Demir C., Kavak S., & Dasdag S., 2023. Adverse effects of 900, 1800 and 2100 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phones on bone and skeletal muscle. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 42(1), 12-20.
- Divan H.A., Kheifets L., Obel C., Olsen J., 2008. Prenatal and Postnatal Exposure to Cell Phone Use and Behavioral Problems in Children. *Epidemiology* 19(4), 523-529.
- El Moudden I., Chentouf A., Cherrat L., Ech-Charrat M.R., Ezziyyani M. 2024. The Radiation of Base Stations and Mobile Phones Effects on Human Health. In: Ezziyyani, M., Kacprzyk, J., Balas, V.E. (eds) *International Conference on Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2023)*. AI2SD 2023. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 905. Springer, Cham.
- Federal Communications Commission, 1996. FCC 96-326, Guidelines for Evaluating the Environmental , August 1 1996.
- Fernández C, de Salles AA, Sears ME, Morris RD, Davis DL., 2018. Absorption of wireless radiation in the child versus adult brain and eye from cell phone conversation or virtual reality. *Environmental research*. 167, 694-9.
- Gandhi O.P., Lazzi, G., Furse C.M., 1996. Electromagnetic Absorption in the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz, *IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques* 44 (10), 1884-1897.

- Gautam R., Pardhiya S., Nirala J.P., Sarsaiya P., and Rajamani P., 2024. Effects of 4G mobile phone radiation exposure on reproductive, hepatic, renal, and hematological parameters of male Wistar rat, *Environ Sci Pollut Res* 31, 4384-4399.
- Hassaballa I.A., Hassan O.A., Kandil A.H., Bialy A.M.E., 2013. Coupled Electromagnetic and Thermal Modeling of Microwave Tissue Processing, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology* 2(3), 382-388.
- Hardell L., Carlberg M., Hansson Mild K., 2009. Epidemiological evidence for an association between use of wireless phones and tumor diseases. *Pathophysiology* 16 (2-3), 113-122.
- Hardell L., Hansson Mild K., Carlberg M., Hallquist A., 2004. Cellular and cordless telephones and the association with brain tumours in different age group. *Archives of Environmental Health* 59 (3), 132-137.
- Hocking B., Westerman R., 2001. Neurological abnormalities associated with CDMA exposure, *Occup Med* 51(6), 410-3.
- Hocking B., Westerman R., 2002. Neurological changes induced by a mobile phone, *Occup Med* 52(7), 413-5.
- Hocking B., Westerman R., 2003. Neurological effects of radiofrequency radiation, *Occup Med* 53(2), 123-7.
- ICNIRP, 1998. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), *Health Physics* 74 (4), 494-522.
- IEEE. C95.1, 1999 Edition. IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz.
- Jangid P., Rai U., Sharma R.S., & Singh R., 2022. The role of non-ionizing electromagnetic radiation on female fertility: A review. *International Journal of Environmental Health Research*, 33(4), 358-373.
- Jayaraju N., Kumar M.P., Sreenivasulu G., Prasad T.L., Lakshmanna B., Nagalaksmi K., Madakka M., 2023. Mobile phone and base stations radiation and its effects on human health and environment: A review, *Sustainable Technology and Entrepreneurship* 2 (2), 100031.
- Kates A.W., Wu H., Coryn C.L.S., 2018. The effects of mobile phone use on academic performance: A metaanalysis *Computers & Education* 127, 107-112.
- Karger C.P., 2005. Mobile phones and health: A literature overview, *Z. Med. Phys.* 15, 73-85.
- Keshvari J., Lang S., 2005. Comparison of radio frequency energy absorption in ear and eye region of children and adults at 900, 1800 and 2450 MHz. *Phys. Med. Biol.* 21(50), 4355-69.

- Khalil A.M., Al-Qaoud K.M., Alemam I.F., Okour M.A., 2022. Mobile phone radiation might alter gene expression in the oral squamous epithelial cells. *Egypt J Med Hum Genet* 23, 12.
- Kizilçay A.O., Tütüncü B., Koçarslan M., Gözel M.A., 2024. Effects of 1800 MHz and 2100 MHz mobile phone radiation on the blood–brain barrier of New Zealand rabbits. *Med Biol Eng Comput.* <https://doi.org/10.1007/s11517-024-03238-1>.
- Krstić D., Zigar D., Petković D., Sokolović D., 2011. Calculation of Absorbed Electromagnetic Energy in Human Head Radiated by Mobile Phones, *Int. J. Emerg. Sci.*, 1(4), 526-534.
- Kumar V., Ahmad M., and Sharma A.K., 2010. Hazardous Effect of Mobile Phone Radiation on Human Health –A Review Shriyash, *Eastern Journal of Medicine* 15, 80-89.
- Li M., Ren Y., 2024. Mobile phone addiction among left-behind children in Rural China: a Meta-analysis. *Curr Psychol* 43, 29823-29832 .
- Lerchl A., 2013. Electromagnetic pollution: another risk factor for infertility, or a red herring?, *Asian Journal of Andrology* 15, 201-203.
- Maregu N., 2016. Long Term Exposure of Mobile Phone Radiation and Human Health, *Journal of Information Engineering and Applications* 6(8), 22-30.
- Mei S., Hu Y., Wu X., Cao R., Kong Y., Zhang L., Lin X., Liu Q., Hu Y., and Li L., 2023. Health Risks of Mobile Phone Addiction Among College Students in China. *Int J Ment Health Addiction* 21, 2650-2665 .
- Mohril S., Sankhla S.S., Chaturvedi B., Kumar R., 2016. Hazardous Effect of Mobile Phone Radiation on Human Health –A Review, *IPASJ International Journal of Electronics & Communication* 4(10), 9-14.
- Otto M., von Mühlendahl K.E., 2007; Electromagnetic fields (EMF): do they play a role in children's environmental health (CEH)? *Int J Hyg Environ Health* 210, 635-44.
- Pachua L., Sailo L., Pachua Z., & Lalngnei P.C., 2014. RF radiation from mobile phone towers and their effects on human body, *Indian Journal of Radio & Space Physics* 43, 186-189.
- Pattnaik S., Dhaliwal B.S. & Pattnaik, S.S., 2022. Mobile Phone Radiations Effect on the Synchronization Between Heart and Brain. *Wireless Pers Commun* 124, 3205-3234.
- Priyadarshini S.J., Nargunathan J.I., Christy S.A., Kanimozhi A., 2023. SAR Exposure Assessment in Human Head Tissue Model at GSM Frequency. In: Sivaram, N.M., Sankaranarayanan K., Davim J.P., (eds) *Advances in Manufacturing, Automation, Design and Energy Technologies. ICoFT 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1288-9_52

- Rahman Z.-A.S. A., 2018. Microwave Radiations and Its Effects on Human Health- A Review, *The International Journal of Engineering and Science* 7(5), 16-20.
- Repacholi MH., 1998. Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 19, 1-19.
- Seo D.G., Park Y., Kim M. K., Park J., 2016. Mobile phone dependency and its impacts on adolescents' social and academic behaviors. *Computers in Human Behavior*, 63, 282-292.
- Söğüt Ö., Eyicil M., 2021. Measurement of Electromagnetic Pollution Level and Calculation of Radiation Dose Index throughout Malatya Street in Elbistan District of Kahramanmaraş, *Erzincan University Journal of Science and Technology* 14(1), 204-214.
- Szmigielski S., Kubacki R. and Z. Ciolek., 2000. Radio Frequency Radiation Dosimetry and Its Relationship to the Biological Effects of Electromagnetic Fields, Application of Dosimetry in Military Epidemiological Studies, *Nato Science Partnership Subseries 3* (82), 459-471.
- Singh N., Jindal T., 2022. Electromagnetic Field Mobile Phone Radiation Toxicity. In: Jindal, T. (eds) *New Frontiers in Environmental Toxicology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72173-2_1.
- Zhang J., Qiuyang Feng Q., Qiu J., 2024. Frequent absent mindedness and the neural mechanism trapped by mobile phone addiction, *Neuroscience* 563, 252-260.
- 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.
- 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 (www.ehhi.org).
- web1:<https://tr.wikipedia.org/wiki/%C5%9Eanl%C4%B1urfa>
- web2:<http://www.sanliurfa.gov.tr/>



BÖLÜM 7

REMOTE SENSİNG İN SPACE TECHNOLOGY

Muhammed Faruk Yıldırım¹

¹ Doç. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart University, Astrophysics Research Center and Ulupınar Observatory, 17020, Çanakkale, Turkey. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2382-7011>

1. INTRODUCTION

In this study, the basic principles, applications and future potential of remote sensing (Hereafter, referred to as RS) are discussed. RS is a method of observing objects or events and collecting data from a certain distance. This is a technique for the study of beings and events outside the Earth. In the field of space technology, this method plays a critical role, especially in the study of planets, satellites, asteroids, and other cosmic bodies. RS is the process of gathering information through the use of electromagnetic radiation (Hereafter, referred to as ER) of various wavelengths (light, radio waves, infrared, etc.). In space technologies, this technique plays a critical role for studying the Earth's surface and atmosphere. RS finds applications in weather forecasting, agriculture, environmental protection, natural disaster management, and many other fields. RS offers fast and economical processes in different targets and application areas in human life (Jensen, 1996). The simplest definition of RS can be defined as the science of obtaining information about objects through measurements made without any physical contact with the target objects (Lillesand et al., 2004). RS methods are used in the process of data collection and utilization, and data management is carried out through Geographical Information Systems (GIS) (Banger et al., 1994; Çakır, 2006). With the advancement of technology, data are collected with the help of various satellites in RS, and the data obtained provide important contributions to the solution of various problems.

The Landsat program was conceived in 1966, largely as a direct consequence of the demonstration of the utility of the photographic data provided by the Mercury and Gemini space programs for the investigation of Earth's resources. The course of mission operations has resulted in the creation of a rich, interesting, and unpredictable historical narrative, shaped by the actions of significant institutions and prominent individuals. On 23 July 1972, the inaugural satellite, initially designated the Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1) and subsequently designated Landsat 1, was launched. Following over five decades of observation and eight operational missions, the Landsat program persists in furnishing scientifically significant and visually stunning images of the Earth. Landsat 1 was launched on 23 July 1972 and completed its mission on 6 January 1978 (see Figure 2). The Landsat 9 satellite was launched on 27 September 2021 and remains operational (see Figure 3).



Figure 1. The Landsat 1 satellite image. [1].

Table 1 provides information regarding the commencement and conclusion of the Landsat satellite program, while Figure 2 presents images of the various Landsat satellites, from Landsat 2 to Landsat 8.

Table 1. Detailed information about Landsat satellites (Information taken from <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>).

Satellites	Launch Date	Status	Instruments	Number of Spectral Bands
Landsat 1	July 23, 1972	Decommissioned on January 6, 1978	Multispectral Scanner (MSS), Return Beam Vidicon (RBV)	4 from MSS, 3 from 3-camera RBV
Landsat 2	January 22, 1975	Decommissioned on July 27, 1983	Multispectral Scanner (MSS), Return Beam Vidicon (RBV)	4 from MSS, 3 from 3-camera RBV
Landsat 3	March 5, 1978	Decommissioned on September 7, 1983	Multispectral Scanner (MSS), Return Beam Vidicon (RBV)	4 from MSS, 1 from 2-camera RBV
Landsat 4	July 6, 1982	Decommissioned on June 15, 2001	Thematic Mapper (TM), Multispectral Scanner (MSS)	7 from TM, 4 from MSS
Landsat 5	March 1, 1984	Decommissioned on June 5, 2013	Thematic Mapper (TM), Multispectral Scanner (MSS)	7 from TM, 4 from MSS
Landsat 6	October 5, 1993	Failed to achieve orbit	Enhanced Thematic Mapper (ETM)	8
Landsat 7	April 15, 1999	Extended science mission began on May 5, 2022	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	8
Landsat 8	February 11, 2013	Operational	Operational Land Imager (OLI), Thermal Infrared Sensor (TIRS)	9 from OLI, 2 from TIRS

Landsat 9	September 27, 2021	Operational	Operational Land Imager 2 (OLI-2), Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS-2)	9 from OLI-2, 2 from TIRS-2
-----------	--------------------	-------------	---	-----------------------------

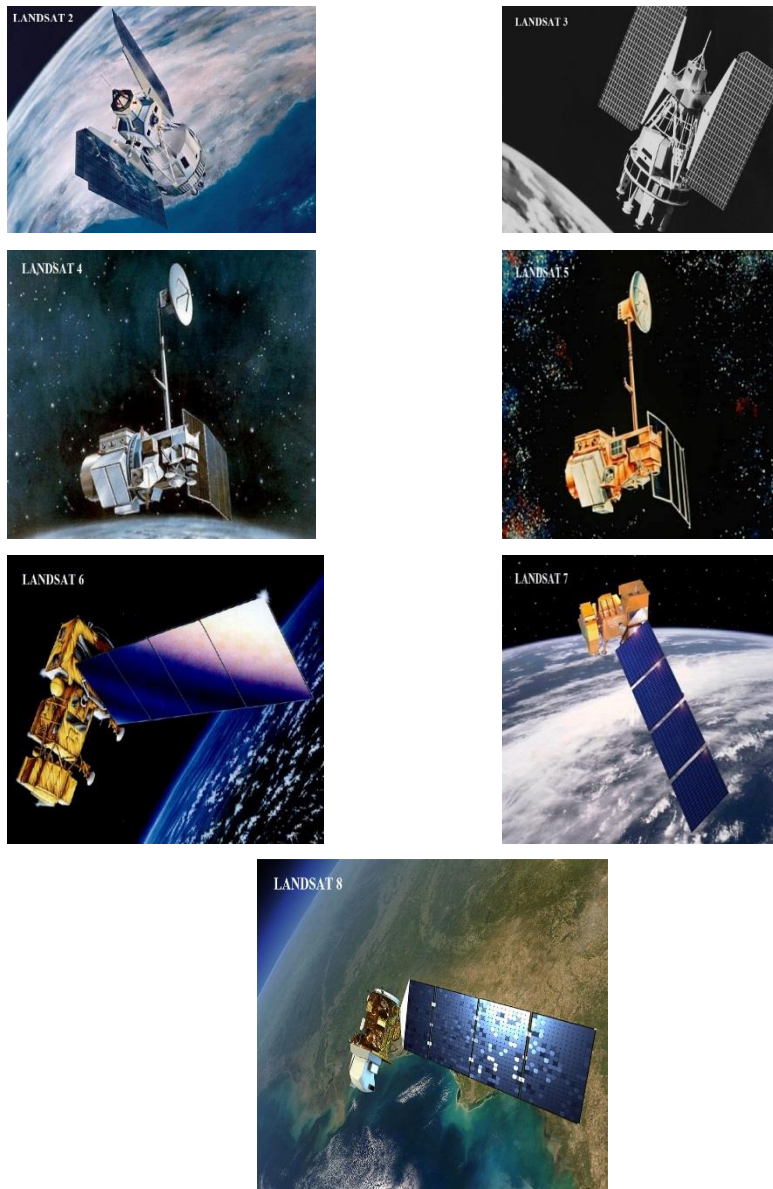


Figure 2. Lansat satellite images [2].



Figure 3. Landsat 9 satellite used in RS [3].

The Landsat program comprises a series of Earth observation satellite missions conducted in collaboration between NASA and the US Geological Survey (USGS). To date, a total of nine missions have been conducted, of which eight were operational. The preliminary stages of the tenth mission, Landsat Next, have commenced, with the planned launch occurring towards the end of 2030. Since the launch of Landsat 1 (formerly ERTS-1) in 1972, the Landsat satellites have maintained a continuous and consistent record of images of the Earth's land surfaces. The Landsat program has been in operation for over five decades, during which time it has amassed an unparalleled archive of data of the highest quality and coverage. This has greatly enhanced our understanding of Earth's natural resources and dynamic processes.

2. BASIC PRINCIPLES OF RS TECHNOLOGY

RS systems are technologies that facilitate the collection of data by means of remote observation of the properties and changes occurring on the surface. These systems are capable of performing imaging using a variety of wavelengths within the electromagnetic spectrum, employing techniques such as optics, radar, and lidar. In RS systems, ER is transmitted to the Earth in waves, and the intensity of the radiation is recorded upon its return. Additionally, the travel time of the waves is measured. This process can be succinctly summarized as illustrated in Figure 4. As observed by Bannari et al. (1995), it is imperative to recognize the potential of RS measurements in addressing environmental concerns.

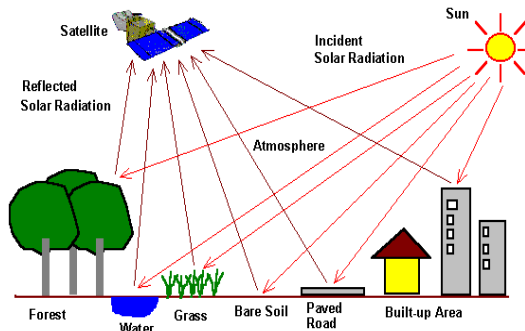


Figure 4. A brief overview of RS systems [4].

In essence, RS can be defined as the process of detecting and monitoring objects or events in a specified area through the utilization of an array of sensors and platforms. The sensors in question are designed to collect data by utilizing a range of wavelengths within the electromagnetic spectrum. The deployment of RS systems is typically conducted from a variety of platforms, including satellites, aircraft, and ground-based installations. It has been reported by many authors that RS increases the importance of RS due to the reliability and accuracy of the data obtained due to satellite technology, ease of access to data, spatial and spectral analyses of the data obtained, and comparison and analysis of satellite data and ground data (e.g., Özdemir et al., 2010; Arıcak et al., 2012).

The basic principles of RS can be summarized as follows:

RS is the utilization of ER, encompassing radio, microwave, infrared, and optical wavelengths, for the purpose of monitoring and analyzing an object from a distance. The process typically unfolds in three distinct phases.

1. **Data Collection:** RS devices collect ER emitted or reflected by objects through sensors on satellites or spacecraft.

2. **Data Processing:** The collected data is processed using various software and algorithms for analysis and interpretation. This stage may include techniques such as image processing, spectral analysis, and machine learning.

3. **Interpretation of Results:** Processed data are analyzed by scientists and engineers to obtain characteristics, conditions, and other important information about the objects.

Key Components:

1. **Sensors:** devices that collect data. They can be located on air, space, or ground-based platforms.

2. Platforms are vehicles on which sensors are transported. Satellites, unmanned aerial vehicles (UAVs), and aircraft are the most common platforms.

3. Data Processing: It is the process of analyzing and interpreting the collected data. Geographical information systems (GIS) are frequently used at this stage.

As illustrated in Figure 5, RS can be classified into three principal categories: ground, air, and satellite platforms. This classification is based on the platforms utilized for data collection. In a 2017 publication, Allak defined satellite platforms as sensor systems installed on space platforms.



Figure 5. RS platforms [5].

Application Areas

- Agriculture: Plant health monitoring, irrigation management.
- Environmental Sciences: Forest monitoring, water resources management.
- Urban Planning: City growth analysis, infrastructure management.
- Disaster Management: Monitoring and evaluation of natural disasters such as fire and flood.
- Important Technologies
- Optical RS: Collects data using visible and near-infrared light.
- Radar RS: It has the advantage of being able to operate using radio waves, especially in cloudy weather conditions.
- Lidar: Creates three-dimensional surface models with light waves.

As a result, RS systems provide great convenience in data collection and analysis processes. The development of these systems offers important contributions in the fields of environmental monitoring and management.

According to the type of energy used, RS systems are divided into two categories: active and passive systems, and the visualization of these systems is shown in Figure 6.

2.1. Active RS Systems

It sends out its own radiation (electromagnetic waves) and then detects the reflection of this radiation. These sensors measure using their own energy instead of light from outside. Active systems can work more effectively, especially at night or in bad weather conditions.

Working Principle of Active Systems:

Active sensors send electromagnetic waves (radar, laser, etc.) to a target. These waves reflected by the target surface return back and are detected by the sensors. The sensors obtain information about the surface by analyzing the time and properties of the returning beam. Radar (SAR—Synthetic Aperture Radar) and LiDAR (Light Detection and Ranging) are examples of these systems. Advantages: It can operate at any time of the day and regardless of weather conditions and can provide detailed data with high resolution. Disadvantages: They require more energy consumption and are more expensive and complex systems.

2.2. Passive RS Systems

It detects external electromagnetic energy (usually sunlight) and collects data by transmitting the reflected or emitted part of this energy to sensors. Passive systems use natural radiation emitted from the earth's surface, atmosphere, or ocean surface. By analyzing this radiation, they obtain information about surface properties.

Working Principle of Passive Systems:

Passive sensors receive energy from natural sources (especially sunlight). After the sunlight hits the surfaces, some of it is reflected, some is absorbed, and some is emitted from the surface (thermal radiation). This reflected and emitted light is detected by sensors, and data on various properties of the surface are obtained. Optical sensors and thermal sensors are examples of these systems. Advantages: They generally require lower energy consumption and can operate wherever sunlight is available. Disadvantages: Limited use due to day-night differences, and factors such as weather conditions and clouds may affect data quality.



Figure 6. (a): Passive system and (b): Examples of active systems [6].

3. ELECTROMAGNETIC WAVES

RS is a technology that employs the utilization of electromagnetic waves for the purpose of studying the Earth's surface. These waves serve as carriers of energy, and E with varying wavelengths is analyzed through RS systems. Electromagnetic waves are a form of energy that are generated by electrical and magnetic fields that travel rapidly through space, creating a feedback loop. These waves are integral to the data collection processes of RS systems.

The term 'electromagnetic spectrum' is used to describe the entirety of electromagnetic waves that are capable of propagating at varying frequencies and wavelengths. The electromagnetic spectrum is comprised of a vast array of waves, each with distinct characteristics and wavelengths. The electromagnetic waves employed in RS encompass a broader range of wavelengths, including visible light, infrared, radar, and microwaves.

The most commonly utilized wavelengths within the electromagnetic spectrum are illustrated in Figure 7.

- Visible light is a component of the ER that can be perceived by the human eye. A portion of the ER that can be perceived by the human eye.
- Infrared radiation is defined as ER with a wavelength greater than that of visible light but shorter than that of microwaves. The wavelength range between visible light and microwaves is employed extensively for the observation of the environment.
- The field of radar and microwaves encompasses a range of technologies that utilize ER to transmit and receive information. These sensors are particularly suited to active applications and are not susceptible to the effects of inclement weather, such as cloud cover and precipitation.

- Ultraviolet radiation (UV) is ER with a wavelength shorter than that of visible light. Ultraviolet radiation, which is invisible to the human eye, has a shorter wavelength than visible light.
- X-rays and gamma rays are forms of ER with distinct characteristics. The shorter wavelengths possess greater energy yet are not typically employed for RS.

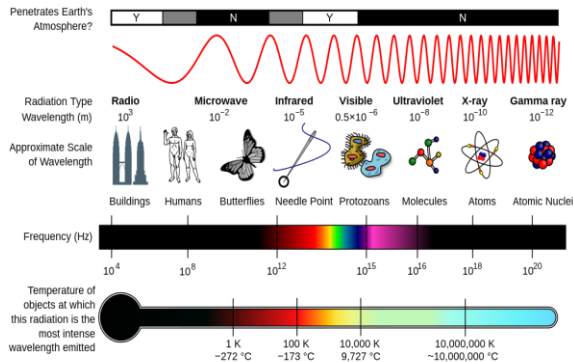


Figure 7. Electromagnetic spectrum [7].

Electromagnetic waves are characterised by some parameters with different properties:

Wavelength (λ): The term "wavelength" is used to describe the distance between two consecutive peaks of an electromagnetic wave. In the context of RS systems, the wavelength serves to determine the specific spectral bands that the sensors employed are capable of detecting. To illustrate, an optical sensor is capable of detecting wavelengths within the visible light spectrum, whereas a radar sensor utilizes wavelengths in the microwave region.

The frequency (f) is defined as the number of vibrations made by the wave in one second. In the context of wave theory, frequency is defined as the number of vibrations made by a wave in a given time period, typically expressed as cycles per second (Hz). The relationship between frequency and wavelength is inversely proportional. In essence, high frequency denotes a short wavelength, whereas low frequency signifies a long wavelength.

Energy (E): The energy of an electromagnetic wave is inversely proportional to its wavelength. This indicates that shorter-wavelength rays (e.g., ultraviolet

light) possess a greater energy capacity, whereas longer-wavelength rays (e.g., microwaves) exhibit a diminished energy capacity.

The speed of light in a vacuum is defined as 299,792,458 meters per second. In a vacuum, electromagnetic waves travel at the speed of light. This characteristic is significant in regard to the time required for light to reach the Earth and to obtain RS data.

3.1. Use of Electromagnetic Waves in RS

Visible Light:

The term "visible light" refers to the portion of the electromagnetic spectrum that is detectable by the human eye. This light is used for direct surface observations, and optical sensors are employed for analyzing surfaces such as agricultural fields, forests, water bodies, and urban areas.

Potential applications of this technology include vegetation analysis, monitoring of water resources, urbanization, and monitoring of natural disasters.

Near Infrared:

The item is designed for use in the following area: The device is employed for the purposes of monitoring vegetation and water. Infrared rays facilitate the acquisition of data such as the 'Normalized Difference Vegetation Index' (NDVI), which serves to indicate the health of plant leaves.

Potential applications include the monitoring of agricultural productivity, forest health, and water resources.

Mid and Long Infrared:

The application of thermal imaging for the monitoring of surface temperatures is a pervasive phenomenon. This wavelength enables the collection of data in conditions of low light or cloud cover.

Potential applications include the use of thermal imaging for the detection of fires, the measurement of water temperatures, the observation of temperature changes, and the monitoring of volcanic activity, which has become increasingly prevalent.

Microwaves:

The following is a list of the applications of this technology: Microwaves are employed in the detailed study of surface features, particularly through the use of

synthetic aperture radars (SAR), which are active sensor systems. The use of microwaves for data collection is not affected by the presence of clouds or other meteorological conditions.

The following examples illustrate the potential applications of this technology: The monitoring of surface deformations, land slopes, water levels, forest cover, and urban structures are among the applications of microwave technology.

Ultraviolet:

The area of use is as follows: Ultraviolet rays are employed in RS for specific applications, including monitoring of the ozone layer in the atmosphere.

The following examples illustrate the potential applications of this technology: The observation of the ozone layer and the monitoring of air pollution.

3.2. Interaction of Electromagnetic Waves with the Atmosphere

The interaction of electromagnetic waves with the atmosphere has the potential to impact the precision of RS data. The propagation and absorption of electromagnetic waves can be affected by the presence of water vapor, oxygen, and other atmospheric gases.

- **Atmospheric Distortions:** The distortion of electromagnetic waves with short wavelengths (e.g., ultraviolet and visible light) by the atmosphere can affect the accuracy of the data obtained. Long-wavelength waves (such as radar and microwaves) are less susceptible to these interactions.
- **Isotope and Water Vapor:** Water vapor is an important atmospheric factor, especially for infrared waves, because water vapor absorbs these wavelengths to a large extent.

4. RESULTS

RS technologies are a rapidly developing field, and many innovations are expected in the future. In particular, advances in areas such as artificial intelligence and machine learning will enable faster and more accurate processing of RS data. In addition, new generation satellite systems and drone technologies offer the ability to collect data at higher resolution and over larger areas. RS is an invaluable tool for monitoring and assessing the impact of forest fires. Gövdetaşan (2019) highlighted the significance of this approach, citing studies that utilize RS indices to quantify the effects of forest fires. RS technology together with Geographic Information Systems can provide reliable information on vegetation cover (Rawat and Biswas, 2016).

As a significant branch of space technology, RS is employed in a multitude of applications, spanning from scientific inquiry to practical applications. It is anticipated that future developments will result in the further expansion and integration of this technology across a range of disciplines. The data and information provided by RS are of critical importance for human space exploration and the understanding of environmental changes on Earth. The transformation of land cover and land use is widely acknowledged as a significant aspect of global environmental change, with a pivotal influence on regional development (Chen, 2002). RS in space technologies is an indispensable tool for understanding and managing a multitude of events and situations on Earth. It plays a pivotal role in society, with applications spanning diverse fields such as agriculture, environmental protection, and disaster management. As these technologies continue to evolve, they will undoubtedly prove invaluable in addressing the myriad challenges facing humanity.

5. REFERENCES

- Allak, S., 2017. Investigation of Temporal Change of Geographical Features of Çanak-kale Central District by Using RS Techniques. ÇOMU Graduate School of Education Department of Space Sciences and Technology, Master's Thesis, Çanak-kale.
- Arıca, B., Enez, K., Küçük, Ö., 2012. Determination of Fire Potential Using Satellite Imagery. KSU Journal of Engineering Sciences, 220–225.
- Banger G., Yomralıoğlu T., Cömert Ç., Demir O., Çelik K., 1994. A General Overview of Information Systems and Karadeniz Technical University Information System. 1st National Geographic Information Systems Symposium 18-20 October 1994, Trabzon, Book of Proceedings, 1-10.
- Bannari, A.; Morin, D., Bonn, F. ve Huete, Alfredo R., 1995. A review of vegetation indices. RS Reviews 13 (1-2), s. 95–120. DOI: 10.1080/02757259509532298.
- Çakır G., 2006. Utilisation of RS and Geographical Information Systems Techniques for Providing Necessary Information in Forest Management Planning. Doctoral Thesis. Karadeniz Technical University, Turkey.
- Gödetişan, M., 2022. Analysis of Forest Fires with RS Techniques: The Case of Biga Peninsula. ÇOMU Graduate School of Education, Department of Geography, Master's Thesis, Çanakkale.
- Jensen J. R., 1996. Introductory Digital Image Processing: A RS Perspective. London, Prentice-Hall Inc. 2nd edition.
- Lillesand R.W., Kiefer J.W., Chipman J.W., 2004. RS and Image Interpretation. Fifth Edition, International Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Özdemir, M., Akbulak, C., Yıldırım, H.H., 2010. Analysis of Spatial Change in Forest Areas of Gallipoli Peninsula Historical National Park with Image Differencing Method and Expectation Maximisation Algorithm. Firat University Journal of Social Sciences 20(1), 115–138.
- Rawat S., Biswas B., 2016. Monitoring Recent Variations Of Surface Displacement Of Forest Cover Using NDVI Calculation-Case Study Of Kheragarh Tehsil of Agra District. IOSR Journal Of Humanities And Social Science (IOSR-JHSS), 21, 6, 2, 14-20.
- Chen X., 2002. Using RS And GIS To Analyze Land Cover Change And Its Impacts On Regional Sustainable Development. International Journal of RS. 107–124.
- [1]. NASA Landsat Science, Satellites, 5 November 2024, <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>.
- [2]. NASA Landsat Science, Satellites, 5 November 2024, <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>.
- [3]. NASA Landsat Science, Satellites, 5 November 2024, <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>.

- [4]. Optical RS, 5 November 2024, <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/optical.htm>.
- [5]. Change detection, Paul Aplin, 5 November 2024, <https://slideplayer.com/slide/6217278/>.
- [6]. Introduction to RS, 6 November 2024, https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormaname-najmani_3fc8b.pdf.
- [7]. Electromagnetic spectrum, 7 November 2024, https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum.

