

2023
Ekim

FEN BİLİMLERİ & MATEMATİKTE

Güncel
Araştırmalar

EDİTORLER

Prof. Dr. E. Nihal ERCAN
Prof. Dr. Hasan AKGÜL

gece
kitaplığı

İmtiyaz Sahibi • Yaşar Hız
Genel Yayın Yönetmeni • Eda Altunel
Yayına Hazırlayan • Gece Kitaplığı
Editörler • Prof. Dr. E. Nihal ERCAN
Prof. Dr. Hasan AKGÜL

Birinci Basım • Ekim 2023 / ANKARA

ISBN • 978-625-425-209-9

© copyright
Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan
hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı
Adres: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt
No: 22/A Çankaya/ANKARA Tel: 0312 384 80 40

www.gecekitapligi.com
gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt
Bizim Buro
Sertifika No: 42488

Fen Bilimleri & Matematikte Güncel Araştırmalar

Ekim 2023

Editörler

Prof. Dr. E. Nihal ERCAN

Prof. Dr. Hasan AKGÜL

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

İLETKEN POLİMER KATKILI SENSÖRLER

Murat YILDIZ, Tuğba GELİŞKEN..... 1

BÖLÜM 2

ESA-ESCC 25100 TEKİL OLAY ETKİLERİ STANDARDI'NDA ÖNERİLEN ALTERNATİF KAYNAKLAR VE BU KAYNAKLARIN ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Selcen UZUN DURAN..... 19

BÖLÜM 3

ATOMİK ABSORPSİYON SPEKTROSKOPİSİ (AAS): TEMEL BİLGİLER VE UYGULAMA ALANLARI

İdris YOLBAŞ..... 41

BÖLÜM 4

ADİYAMAN İL MERKEZİNDE BULUNAN ANAOKULLARINDA GAMA DOZ HIZLARININ BELİRLENMESİ

Mehmet Fatih AYDIN, Ömer SÖĞÜT..... 55

BÖLÜM 5

TARIMSAL AÇIDAN ÖNEMLİ OLAN MİKORİZAL MANTARLARIN BİTKİ BÜYÜME VE GELİŞMESİ ÜZERİNE FAYDALARI

Zekiye ERDOĞAN, Emre Cem ERASLAN,

Hasan AKGÜL..... 69

BÖLÜM 6

ANTALYA'DA YAYILIŞ GÖSTEREN BAZI TIBBİ BİTKİLERLE
YAPILAN ANTİKANSER ÇALIŞMALARI

Meryem GÖKOĞLU, Emre Cem ERASLAN,

Hasan AKGÜL 87



BÖLÜM 1

İLETKEN POLİMER KATKILI SENSÖRLER

Murat YILDIZ¹, Tuğba GELİŞKEN²

1 Prof. Dr., Karamanoğlu Üniversitesi Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Atom ve Molekül Fiziği Anabilim dalı, muraty70@gmail.com

2 Karamanoğlu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, tugbagelisken1@gmail.com

İletken Polimer Nedir?

Hayatın her döneminde canlılar biyolojik ya da kimyasal riskler ile karşı karşıya gelebilir. Canlı sağlığını olumsuz yönde etkileyecek bu tehditlere karşı ön uyarı sistemlerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Sensörler yaşamımızın her anında karşılaşılabileceğimiz boyut olarak küçük, görev olarak büyük önem teşkil eden teknolojik erken uyarı sistemleridir. Sensörler, söz konusu analitin ortamdaki varlığını algılar ve gerekli otomasyonları devreye geçirir. Çalışma alanında en önemli odak noktası belirli bir analit için kararlı, hassas ve seçici bir sensör oluşturmaktır. En geniş kullanım alanına sahip sensör sistemleri; metal oksit yarı iletken (yarı iletken aktif element ve analit arasında oksidasyonu ile sensör direncinin değişiminin ölçülmesi prensibi), kuarts kristal mikro tartım (kütleyle bağlı ölçüm yapan oldukça hassas bir kütle sensörü), yüzey akustik dalga sensörleri ve son zamanlarda ilgi odağı haline gelen iletken polimer sensörleridir.

İletken polimerler, son zamanlarda en çok araştırma yapılan çalışmalar arasında yer alır. Şarjlı piller, güneş pilleri, sensör ve biyosensörler bu çalışmaların kullanım alanları arasında en iyi örnekleridir. İletken polimerlerin elektrokimyasal olarak birikme yapması kolaydır ve elektrot yüzünde hassas bir tabaka oluşturur. Böylece, iletken polimerler biyosensörlerde elektron iletim mekanizması (transducer) olarak tercih edilirler. Moleküler yapıları elektronik olan bu maddeler polimer kısmın kalınlığı ve biyoaktif moleküllerin yapıya tutunabilmesi gibi değişkenlerin kontrol edilmesini sağlar. İletken polimer esaslı biyosensörler, biyolojik uyumluluk, hücre içinde kullanılabilme ve ilaç salınımlarını denetleyebilme gibi özellikleri onun uygun bir biyosensör olduğunu göstermektedir. En çok tercih edilen iletken polimerler polipirol (PPy), polianilin (PANI), politiyofen ve bunların türevleridir. İletken polimerler konusundaki çalışmalar ilk kez 1862 yılında İngiltere’de başlamıştır. College of London Hastanesi’nde profesör olan Dr. Letheby’nin iletken polimerlerin çeşitli kimyasal tepkileri incelemesi ile ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalarda anilin sülfatın platin elektrot üzerinde mavimsi bir katı blok oluşturduğu gözlenmiştir. Natta ve arkadaşları 1958’de asetileni ilk kez polimerleştirmek için çalışmıştır. Hazırlanan polimer kristal bir haldedir ve yüksek bir molekül ağırlığına sahiptir. Bu şekilde hazırlanan bileşiğin hava ortamında hassaslaşması, zedelenmesi ve hatta çözünmemesi nedeniyle üzerinde durulmamıştır. 1967 senesinde Tokyo Teknoloji Enstitüsü öğrencisi olan Shirakawa, yaptığı deneysel bir hata sonucunda poliasetileni gümüş renkli bir film olarak sentezlemeyi başarmıştır. Yapılan sentezde Ziegler Natta, kullanılan katalizörünün gerekli olan miktardan bin kat daha fazla kullanıldığı açıklanmıştır. Shirakawa ve Heeger, 1977’de yaptıkları araştırmalarında gümüş renge sahip poliasetilenin klor ve brom buharlarıyla müdahale edilmesi sonucunda polimerin ilk

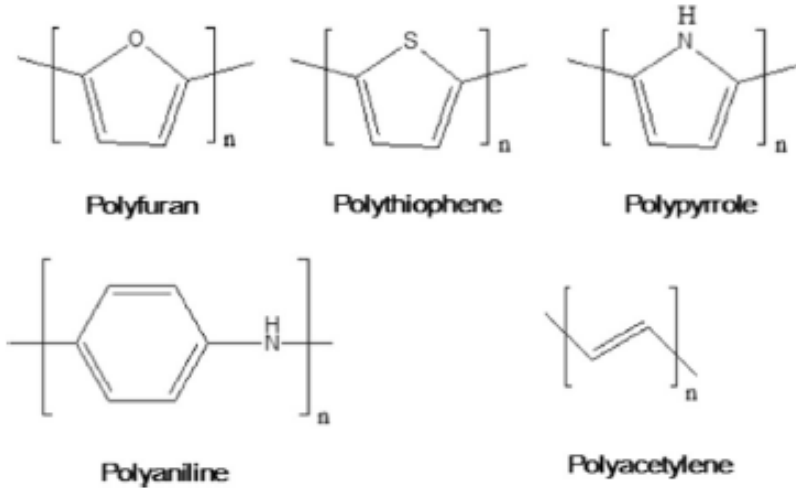
duruma göre 109 kat daha fazla iletken hale geldiğini gözlemlemişlerdir. Poliasetilenin iletkenliği 105 S/m'ye kadar ulaşmıştır ve ulaşılan bu değer bilinen en iyi yalıtkanlardan biri olan teflonun iletkenliği 10-16 S/m'den çok daha yüksektir ve bu değer metallerin iletkenlik değerine oldukça yakındır. Bu gelişmeler ışığında “İletken Polimer” terimi ortaya çıkmıştır. İletken polimerler üzerine çalışan bilim insanlarından Shirakawa, MacDiarmid ve Heeger 2000 yılında Nobel Kimya Ödülünü elde ettiler (Gürsoy ve ark, 2017).

İletken polimerler, polimer kimyası içinde oldukça yeni ve önemli bir konuma sahiptir. İletken polimer kavramı irdelenirse, elektriksel iletkenliği sağlayan polimerler için kullanıldığı görülmektedir. Bir maddenin elektriksel iletkenliği maddenin elektronik yapısı ile ilgilidir. Elektronik yapıyı açıklayan teoriler bulunmaktadır. Bu teoriler içerisinde en geçerli olanı band teorisidir. Katı halde bulunan atomların atomik orbitali küçük moleküllerde olduğu gibi moleküler orbitallerin bazıları çakışır. Bu durumda birçok orbitalin enerji aralığında bulunması sürekli bir enerji bandını oluşturur. En düşük enerjiye sahip band ile en yüksek enerjiye sahip band arasındaki enerji boşluğuna ‘band gap’ denmektedir. En az dolu olan banda iletkenlik bandı denilirken en dolu olan banda ise valens bandı denir. Materyallerin elektriksel iletkenlikleri bandların durumuna bağlıdır. Bandların dolu ya da boş olması iletkenlik oluşturmaz. Bandın dar olduğu şartlarda da sıcaklığındaki elektronların termal olarak uyarılmasıyla valens bandından iletkenlik bandına geçmeleri sonucunda iletkenlik oluşur. Eğer band çok geniş bir aralığa sahip ise oda sıcaklığının boşluğu atlatılabilecek kadar elektronu uyarılamaya yetmediğinden yalıtkanlık oluşur. İletkenlik; valens ve iletkenlik bandının kısmen dolu olmasıyla ya da band gap olmayışı ile sağlanmaktadır.

İletken polimerlerde ise durum farklıdır. Kısmi olarak boş band yoktur. Bu sebeple iletken polimerlerin elektriksel iletkenliğini basit band teorisi ile açıklamak mümkün olmamıştır. Basit band teorisi ile bir polipirol (PPy) incelenirse bulunan yük taşıyıcılarının neden spinsiz olduğu açıklanamaz. İletken polimerlerdeki iletkenlik 1980’den bu yana bipolaron veya polaron ile ifade edilmektedir.

Yeni araştırmalara göre polipirol, poli (*N*-vinil karbazol), politiyofen, polifuran, polianilin gibi çok sayıda polimerin iletken olduğu bilinmektedir. Film, toz, levhalar veya süspansiyon halinde üretimi yapılabilmektedir. Bu üretimlere ait bazı örnekler temel bileşenin polipirol olduğu lifler, polianilin ve polipirol kaplı karbon tozlarıdır. İletken polimerler içerisinde polianilin ve polipirolün önemli bir yeri vardır ve bu polimerler organik metal olarak bilinmektedirler.

Asidik ortamda anilinin oksidatif polimerizasyonu sonucunda polianilin oluşur. 1862'den beri emeraldin ya da anilin siyahı olarak bilinmektedir. 20. yy'ın başlarında organik kimya ile ilgilenen bilim insanları siyah anilinin oluşumunu incelemeye başladılar. Willstatter ve arkadaşları siyah anilini 1907 ve 1909'da ise ikiz çekirdeğe sahip zincir birleşimi olarak tanımladılar. 1910 yılına gelindiğinde Green ve Woodhead adlı iki bilim insanı anilinin çeşitli yapısal formlarını incelediler. Yaptıkları çalışmaların sonuçlarına göre; anilinin ilk yükseltgenmesindeki küçük molekül ağırlıkları sekiz çekirdekli yapı ile bağdaşmaktadır ve ayrıca koyu yeşilden siyaha dönüşürken ise bir oksijen atomu gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan $TiCl_3$ redoks titrasyonu ile her bir unsurun yükseltgenme derecesi tayin edilmiştir. Dikromat, kloratlar ve persülfat vb. oksidantlar kullanılarak yükseltgenme polimerizasyon çalışmaları yapılmıştır. Tepkimede arta kalan dimetil anilinin varlığı kaydedilmiştir. Öte yandan yapılan çalışmalarda kloroanilin ve anisidinin polimerizasyonlarına da bakılmıştır. Surville, 1968'de su molekülünün polianilinin iletkenliği üzerinde etkisini ve proton ve redoks özelliklerinin nasıl değiştiğini inceleyen bir rapor hazırlamıştır. Polianilini araştırma merakı, 1977'de organik maddelerde iyot katkılı poliasetilenin iletkenliğinin araştırılmasından hemen sonraya denk gelmektedir. Birçok iletken polimer gibi polianilin de elektrokimyasal veya kimyasal yolla sentezlemektedir. Polianilin, bir sitem ya da ekipmana gerek olmadan elde edilebilen müthiş bir polimerdir. Polianilin, çevreye karşı kararlı bir yapı olması dolayısıyla çok ehemmiyetli bir iletken polimerlerdir (Çeçen, 2005).



Şekil 1: Polianilin ve diğer iletken polimerler

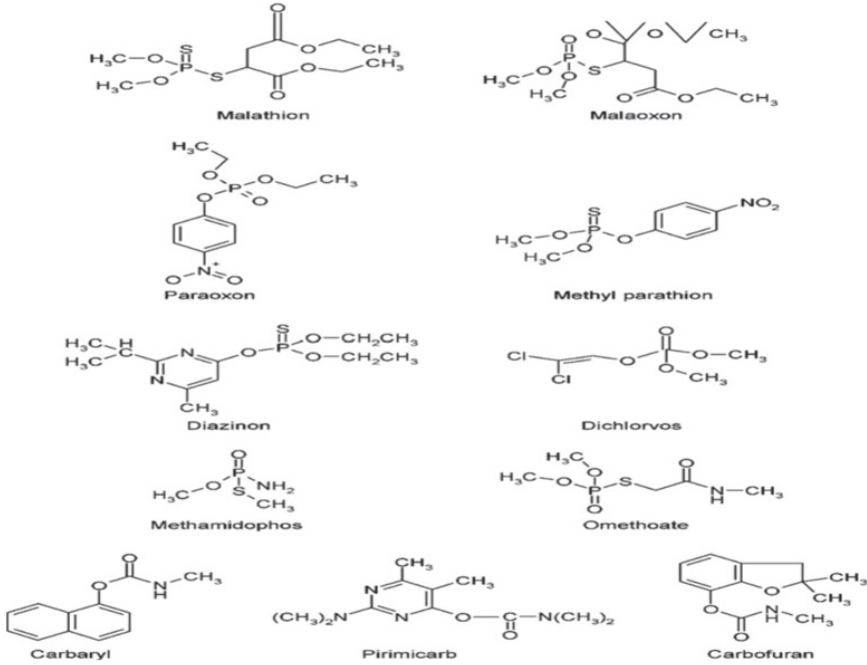
Polimerler elektriksel olarak yalıtkanlığı iyi olan maddelerdir. Bu yalıtkan özellikleri ile özellikle elektronik endüstrisinde sık bir şekilde kullanılan maddelerdir. Polimerlerle ilgili sadece yalıtkan olduğu düşüncesi özgün iletkenliği olan elektroaktif polimerler ile hızlıca değişmiştir. Metallerin mekaniksel ve elektriksel özellikleri ile polimerlerin özellikleri entegre edilerek yeni bir materyal oluşturmak bilim insanlarının çalışma konuları arasında bulunmaktadır. İlk çalışmalar polimerleri uygun iletken maddelerle buluşturarak karışımlarının hazırlanmasıyla elde edilir. Bir diğer teknik ise polimerlere metal tozları gibi parçacıkların katılmasıdır ve böylece iletkenlik polimer yapıya eklenen metal üzerinden sağlanmaya çalışılmıştır. Polimer için uygun bir tuz eklenip iyonik iletkenlik oluşturulmak istenmesi ise başka bir yaklaşımdır. Her iki yöntemde de polimerler, elektrik iletimine katılmaz. Bu metotlarla polimerler ancak belli düzeyde iletkenlik kazanmaktadır (Saçak, 2010).

İletken polimerler oldukça detaylı bir sınıftır ve sürekli yeni bir polimer keşfi yaşanmaktadır. Günümüz dünyasını betimlemek istesek polimer çağı şeklinde ifade etmek tam yerinde bir benzetme olur. Polimerler, yeni teknolojik gelişmelerle hareket edebilen alaşımlarla ve metallerle karşılaştırıldığında daha iyi özellikler gösteren malzemelerdir. İletken polimerler metallerin kullanıldığı birçok uygulama alanında kullanılabilirler. Bu durumun gerçekleşmesi ve tüm elektronik alanlarda kullanılması biraz zaman alacaktır. Tablo 1 'de iletken polimerlerin kullanılabilceği kullanım alanlarına ait bazı örnekler bulunmaktadır (Çarbaş,2016).

İletken Polimerler	Kullanım Alanları
Polianilin ve Türevleri	1. Sensör
	2. Şarj edilebilir bataryalar
	3. Elektronik ekran
Polipirol ve Türevleri	1. Taşınabilir batarya
	2. Sensör
	3. Güneş enerji hücreleri
	4. Yakıt hücreleri
Polifloren ve Türevleri	1. Sensörler
	2. Işık saçan diyotlar
	3. Şarj edilebilir bataryalar
	4. Taşınabilir batarya

Tablo 1: Bazı İletken Polimerler ve Uygulama Alanları

Günümüzde yaygın olarak tercih edilen pestisitler; özellikle tarım ve endüstri alanında kullanılan bir çeşit kimyasaldır. Endüstride ve tarım alanındaki kullanımlarında olan artış, pestisitlerin en önemli çevre kirleticileri arasında yer bulmasına neden olmuştur. Pestisitlere uzun süre maruz kalınması çok ciddi çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Karbamat ve organofosfora sahip insektisitlerin sık olarak kullanılmaya başlanması hem gıdaların hem de yer altı sularını kirletmektedir. Pestisitlerin çevreyle ve canlılarla teması neticesinde çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimlere neden olduğu gözlenmektedir. Pestisitler oral, dermal ve solunum yoluyla emilerek vücutta dokulara yayılabilmektedir. Karbamatlı ve organofosforlu ve pestisitlerin toksiklik oranı pestisit kimyasal yapısına göre değişmektedir. Bahsedilen pestisitlerin bazılarının moleküler yapıları şekil 2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Bazı organofosforlu ve karbamatlı pestisitlerin moleküler yapıları

Toksik uçucu gazların tespit edilmesi hem deneysel hem de teorik araştırmalar için ilginç bir konudur. İletken polimerler (CP), algılayıcılar, piller, güneş pilleri, yakıt hücreleri, ekranlar, elektromanyetik koruma, aktüatörler ve benzeri elektronik cihazlarda cazip bir malzeme olarak sunulmaktadır. İletken polimerler arasında, polianilin (PANI), çeşitli istikrarsız

gazların belirlenmesinde yüksek verimlilik ile düşük maliyetli bir malzeme olarak kabul edilir, çünkü yüksek kararlılık, taşınabilirlik, oda sıcaklığında yüksek hassasiyet, kısa süreli tepki ve kolay hazırlama özelliğine sahiptir. Buna ek olarak, PANI ES'nin çözünürlüğü, fulleren ve karbon nanotüp gibi diğer nanomalzemelerin işlevselleştirilmesine kıyasla, fenil halkalarının üzerindeki hidrojen atomlarının elektron verici / alıcı gruplarla ikame edilmesiyle kolayca değiştirilebilir. Kimyasal olarak sentezlenen PANI'ya göre, lökoemeraldin baz (LEB, tam redüksiyon), zümrüt baz (EB; yarı oksitlenmiş) ve pernigranilin baz (PNB, tamamen oksitlenmiş) gibi düşük bazlı formlar sergiler ve böylece düşük iletkenlik elde edilir. İletkenliğini önemli derecede arttırmak için PANI, protonik asitlerle iletken formdaki zümrüt tuzuna (ES) katkıda bulunmuştur. PANI ES, analit gazlarının tespiti için polimerlerin iletilmesi alanındaki en çekici kimyasal ve optik sensörlerden biri olduğu kanıtlanmıştır. Eski işlemler için, PANI ES'nin iletkenliğinin değiştirilmesi, analitleri belirlemek için önemli bir faktör olmasına karşın, optik ölçümlerin büyük avantajları çevresel parazit ve daha fazla seçicilikten etkilenmez. Son zamanlarda, PANI ES ve modifiye edilmiş PANI ES, deneysel ve teorik yöntemlerle incelenen amonyak gazı tespitinde kullanılan algılama malzemesi olarak kullanılmıştır. PANI ES tabanlı kimyasal direnç sensörleri ile algılanan formaldehit ve aseton için sadece birkaç deney araştırılmıştır. Aseton buharı ile etkileşime girdikten sonra PANI ES boyunca direncin azaldığı bildirilmiştir (Ariyageadsakul ve arkadaşları, 2016).

Yakın zamanda, polianilin (PANI), politiyofen (PT), polipirol (PPy) ve bunların türevleri gibi cazip elektriksel, kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı polimerlerin iletimi üzerinde yoğunlaşmıştır. Basitçe sentezlenebilirler ve pratik uygulamalar için ucuz mikro elektronik sensörler olarak bilinirler. PANI, seçkin elektriksel ve optik özellikleri, yüksek kalitede redoks tersinirliği ve yüksek çevre dayanıklılığı nedeniyle en çok çalışılan polimerlerden biridir. Anilin ve türevlerinin düşük maliyetli ve geniş erişilebilirliğinin yanı sıra bu özellikler, gaz algılama gibi birçok pratik işlevi mükemmel bir aday haline getirmektedir (Rad ve arkadaşları, 2015).

İletken polimerler arasında PANI en göze çarpandır çünkü çeşitli nano-yapılar şeklinde şekillendirilebilir ve bu nedenle konuk molekülleri ile iyi temas sağlamak için yüksek yüzey alanına sahiptir. PANI, son yıllarda nanofiber gaz sensörleri için araştırılmıştır. PANI'nın gaz yanıt mekanizmaları da incelenmiştir ve 2004'te Kaner ve Weiller, polianilin nanofiberlerin sentezi için ara yüz polimerizasyon yöntemini kabul ettiler ve daha sonra nanofiber sensörleri geliştirmiştir. HCl için asit uyarıcı mekanizması, NH₃ için baz yükseltgenme mekanizması, N₂H₄ için indirgeme mekanizması, CHCl₃ için şişme mekanizması ve CH₃OH için polimer zincir konformasyon değişim mekanizması gibi beş çeşit konuk gaz molekülüne karşılık

gelen beş yanıt mekanizması önermişlerdir. Bununla birlikte, bazı gruplar deneysel açıdan bazı açıklamalar yapmaya çalışsa da PANI'nın gaz moleküllerine tepki mekanizmalarına ilişkin teorik bir çalışma yapılmamıştır.

Polimerlerin elektronik ve geometrik özelliklerinde meydana gelen değişikliklerle birlikte polimerlerin çeşitli analitlerle etkileşime girme kabiliyeti, CP'leri bir dizi toksik molekül için potansiyel bir sensör yapar. Atmosferdeki çeşitli gazların oldukça toksik olduğu ve ppm ve / veya ppb düzeyindeki konsantrasyonlarının insan sağlığı için zararlı olabileceği için, CP'lerin sensör davranışı oldukça önemlidir. Örneğin; gübreler, boyalar, plastik, tekstil, petrokimya, haşere öldüren ilaçlar ve ilgili endüstriler gibi birçok sanayide hayati unsur olan amonyak, insan sağlığı için havada 25 ppm derişikliğin üstünde tehlike arz eder. Ayrıca, amonyanın hidrolizinden elde edilen amonyum hidroksit, üst solunum yollarında ve vücutta çeşitli hastalıklara neden olur. Benzer olarak CO₂; karbonatlı içecek endüstrisinde, karbonatların, karbonmonoksitin, karboksilik asitlerin, petrol operasyonlarında ve üre imalatında kullanılır. Yaklaşık 50000 ppm konsantrasyonu, baş ağrısı, nefes darlığı, çarpıntı, baş dönmesi ve güçsüzlük gibi bir dizi başka belirti ile solunum problemlerine neden olur. CO₂, şiddetli sera etkileri nedeniyle de önemlidir. CO 'da zehirli bir gazdır ve atmosferdeki varlığı, insan vücudundaki hemoglobin ile etkileşime girebilir ve oksijen aktarımında düşüğe neden olur ve sonuçta ölümle neticelenebilir. Atmosferde 5 ppm konsantrasyonda CO konsantrasyonu insan sağlığı için tehlikelidir. Bu nedenle, sensörlerin ppb / ppm seviyesinde zehirli gazların varlığını algılaması gerekir. Bu analitler için farklı mekanizmalara dayanan çok sayıda etkili ve seçici sensörler önerilmiştir. Sensörler, sağlık, emniyet ve sürdürülebilir yaşam için dikkate değer ve önemlidir. CP'ye dayalı sensörler, metal oksit yarı iletkenleri, kuvars kristal mikro denge-sizliği, yüzey akustik dalga ve metal oksit yarı iletken alan etkili transistör ile karşılaştırıldığında daha zorunludur. Literatür, farklı konsantrasyonlarda (ppm) organik ve inorganik analitlerde CP'nin yanıt çalışması üzerine birtakım deneysel raporlar ortaya koymaktadır. Polipirol (PPy), politiyofen (PT) poli (3,4-etilendioksitiyofen) (PEDOT) ve PANI gibi CP'ler sensörler alanında kullanılmaktadır (Ullah ve arkadaşları, 2013).

Sensörler olarak polimerler, belirli gazlara maruz kaldıklarında elekt-riksel ve optik özelliklerdeki önemli varyasyonları nedeniyle çok dikkat çekmiştir. İletken polimerlerden polianilin (PANI), mükemmel elektriksel özellikler, kararlılık, uygun sentez, ortam sıcaklığında analitlere daha kısa yanıt süresi gibi avantajlar sunar . Bu nedenle, oldukça başarılı bir şekilde gaz algılama için başarıyla kullanılmıştır. NH₃, karbondioksit, HCl, HBr, tütün dumanı ve karbonmonoksit gibi gazları algılama yetenekleri araştırılmıştır. Sensörler olarak polianilin kullanımında karşılaşılan bazı sınırlamalar, bunların nispeten düşük işleme yetenekleri, zayıf kimyasal

kararlılıkları ve mekanik mukavemetleri ile ilişkilidir. Bu problemlerin üstesinden gelme dürtüsü, kompozit sensörlerin geliştirilmesine yol açmıştır (Ayub ve diğerleri, 2020).

İletken polimerler yeni ve teknolojik uygulamalar için gerektiğinde kimyasında çeşitli değişimler yapılarak kullanılacak temel materyallerdir. Bugünün gerektirdiği gibi maliyeti düşük ve taşınabilir, üstelik her ortama uyum sağlayan, elektriksel olabilen, optiksel ve termal olarak kararlı bir tutum sergileyen iletken polimerler enerji depolama için de kusursuzdur. Elektriksel kullanımlarda hem teknik hem de ekonomik yararı olan bu materyaller mikro çiplerde, güç uygulamalarında, yakıt hücrelerinde, bilgisayar hafızasını korumada ve en önemlisi bataryalarda bilindik kapasitörlerden farklı olarak 20 ile 200 kat arasında verim sağlayarak enerji depolamak için kullanılabilir. Biyosensör özellikleriyle elektronik uygulamalarla bütünleştirilerek günlük hayatı daha da kolaylaştırması hedeflenmektedir.

BİYOSENSÖRLER ve GAZ SENSÖRLERİ

Biyosensörlerin bazı kullanım özellikleri onların tercih edilmesini açıklamaktadır. Kısa sürede analiz, düşük maliyet ve yüksek hassasiyet gibi özellikleri nedeniyle gıda endüstrisinin de içinde yer aldığı daha birçok alanda kullanılmaktadır. Gıdalarda bulunabilecek kalıntı pestisit miktarının tayin edilmesi canlıların sağlığı açısından önem teşkil etmektedir. Pestisit miktarını belirlemek için kullanılan yöntemler hem zaman alıcı hem de pahalı metotlardır. Bu nedenle pestisit ölçümünde biyosensör kullanımı çok önemli bir alternatiftir. Pestisitlerin karbamatlı ve fosforlu çeşitleri, enzimin aktif bölgesine bağlanarak fosforilasyon ve karbomilasyon ile histidin, serin ve aspartik asit kalıntısını bloke ederek biyokatalitik aktivitesini inhibe etmektedir. Asetilkolinesteraz inhibisyonunu esas alarak geliştirilen pestisit biyosensörü ile ilgili araştırmalarda enzim immobilizasyonu için adsorbsiyon, polimer matris içine tutuklama ve çapraz bağlama gibi metotlar kullanılmıştır. Son yıllarda asetilkolinesteraz inhibisyonunu esas alan iletken polimer dayalı pestisit biyosensörünün geliştirilmesi ile ilgili araştırmalardaki artış önemlidir. Bu çalışmalarda asetilkolinesteraz inhibisyonuna dayalı biyosensörler kullanılmıştır. Farklı pestisitlerin yüksek duyarlılık ile tespit ettiği sonuçlarının ise referansla uyum içinde olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmaların yeterli olduğu düşünülmektedir. İletken polimerlerin ve bunların türevlerinin, kopolimerlerin, kompozitlerinin asetilkolinesteraz ile inhibisyonunu baz alan biyosensörlerde dönüştürücü olarak kullanımları sağlanmalıdır. Yapılacak yeni çalışmalarda hızlı, ekonomik, kullanım kolaylığı olan ve kararlı uygun pestisit biyosensörlerin geliştirilmesi ve umut vadetmesi açısından önem teşkil etmektedir (Gürsoy ve ark, 2017).

İletken polimerleri diğer polimerlerden ayıran en önemli özellik tek ve çift bağlardan oluşan konjuge zincir yapısına sahip olmalarıdır. Uzun konjuge çift bağlı zincirler sayesinde iletkenlik kazanırlar. Hidrojen, sıvılaştırılmış petrol gazı, nitrojen dioksit, amonyak, metal oksit ve diğer inorganik sensörlerin çeşitli sınırlamaları arasında, dayanıklılık sorunları nedeniyle uzun süreli kullanımlarını engelleyen yüksek sıcaklıkta çalışmaları da vardır. İletken polimerlerin sensörler olarak kullanılması, belirli ortamlara maruz kaldıklarında elektriksel ve optik özelliklerindeki önemli farklılıklardan dolayı çok dikkat çekmiştir.

Uçucu organik bileşiklerin gazları veya buharları kolay sentezlenebilmeleri ve oda sıcaklığına duyarlı olmaları sayesinde daha çekici hale geldiler. Bu alanın araştırmacıları için diğer çekici özellikleri ise çalışma sıcaklığına ilişkin hızlı yanıt ve geniş çalışma aralığıdır. Bu özellikler, iletken polimerlere dayalı bir dizi sensörün geliştirilmesine yol açmıştır.

Polipirol ve polianilin (PANI), iletken polimer sensörlerin önemli örnekleri arasındadır. PANI, olağanüstü elektriksel özellikleri, kararlılığı, uygun sentezi ve ortam sıcaklığında analitlere daha kısa tepkime süresi nedeniyle iletken polimerler arasında en öne çıkan malzemelerden biridir. Söz konusu özellikler nedeniyle polianilin, gaz algılama oldukça başarılıdır. Organik ve inorganik malzemelerle kompozitler, geliştirilmiş özelliklere sahip sensörler olarak ortaya çıkar. İnorganik algılama olayı nedeniyle algılama malzemesinin kimyasında meydana gelen değişiklikler, renk, sıcaklık veya elektriksel iletkenlik değişiklikleri olarak görülebilir ve böylece algılamanın temeli haline gelebilir (Ayub ve ark, 2020).

Arı polimerlerin iletkenliği çok düşük olduğu için gaz sensörlerinde kullanılması problemlili olabilir, bu durum göz önüne alınırsa polimerlere redoks reaksiyonları ya da doping (katkılama) işlemleri yapıldığında polimerlerin iletkenliğinin geliştirildiği ispatlanmış olmaktadır (Srivastava vd., 2006).

Demir porfirin ile işlevselleştirilmiş polipirol, ortam koşullarında ve herhangi bir dış etken olmadan çok düşük ppm seviyesinde CO tespiti için harika bir malzeme görevi görür. İşlenmemiş polipirolün duyarlılığının esasen hiçbir şey olmadığı ve çok düşük bir FeTPPCL konsantrasyonuyla katkılındığında muazzam bir değişiklik gözlemlendiğine dikkat edilmelidir (Paul ve ark,2009).

İletken Polimerlerin Sensör Uygulamaları

Politiyofen, polianilin ve bunlardan türeyen iletken polimerler 1980 yılından beri gaz sensörler için kullanılmaktadır. İletken polimer temelli gaz sensörleri ile metal oksit temelli gaz sensörleri kıyaslandığında, iletken polimer temelli gaz sensörlerinin birçok gelişmiş özelliğe sahip olduğu söylenebilir. İletken polimer temelli gaz sensörlerinin oda sıcaklığında kısa

cevap süresine ve yüksek duyarlılığa sahiptir. Bu sebeple iletken polimer temelli gaz sensörünün kullanım alanları dikkat çekicidir ve bu konuyla ilgili literatürde birçok araştırma ve derleme bulunmaktadır (Bai, 2007).

Çeşitli çalışmalarda iletken polimerlerden hazırlanan birçok analit için gaz sensörleri araştırılmıştır.

Hidrojen siyanür (HCN), endüstriyel ölçekte düzenli olarak üretilen ve çok fazla kimyasal bileşene çok önemli bir öncü olan renksiz bir gazdır. Canlı hücreler tarafından oksijenin kullanılmasını önlediğinden, HCN canlılar için son derece zehirlidir. Az miktarda siyanür içeren kayısı çekirdeği gibi önemli miktarlarda gıda maddelerini tüketmek, sonuçta ataksi ve optik nöropati ile sonuçlanabilir. Böylece, HCN'ye oldukça hassas olan gaz sensörlerinin keşfi uzun zamandır önemli bir araştırma hedefi olmuştur. Örneğin, HCN algılaması için Si ve Al katkılı grafenlerin uygulanması araştırılmış ve elde edilen sonuçlara dayanarak, Al-katkılı grafenin HCN'yi adsorbe edebildiği görülmüştür (Rad ve diğerleri, 2015). HCN, bir polipirol modeli olarak kullanılan TPy tarafından adsorbe edildiğinde, λ max değeri (324 nm), $\pi \rightarrow \pi^*$ geçişi (bant boşluğunda bir azalma) nedeniyle 20 nm tarafından maviye kaydırılır. Bu blueshift, TPy'nin HCN'yi algılama yeteneğini yansıtır. Elde edilen sonuçlar da TPy'nin HCN'yi algılama yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir (Rad ve diğerleri, 2015).

HCN 2PANI ile sınırlandırıldığında, λ max değeri kırmızıdır ve bu da $\pi \rightarrow \pi^*$ geçişine bağlıdır. 2PANI'de 23 nm'lik bir kırmızı kayma, HCN ile etkileşimden sonra, sonuçta bant boşluğundaki bir artışın bir sonucu olarak ortaya çıkar. Sonuç olarak, 2PANI-HCN 'in sonuç kompleksinin bant boşluğundaki artış, takip eden bölümde tartışılan durumların (DOS) yoğunluğu ile teyit edilmiştir. Dolayısıyla, UV-vis spektrumlarının kırmızı kaymış değeri, HCN için 2PANI'nin algılama özelliğini doğrulamaktadır. Yapılan hesaplamalar, 2PANI'nin HCN ile etkileşim mekanizmasını gözlemlemek için farklı konfigürasyonlarda 2PANI-HCN'nin geometrik ve elektronik yapısını gerçekleştirmeye yönelik DFT hesaplamalarına dayanmaktadır. UV-vis analizi, NBO yük analizi, enerji bant aralığı ve kuantum moleküler tanımlama gibi elektronik özellikler simülasyonu, 2PANI'nin HCN'ye karşı duyma yeteneğini doğrular (Rad ve diğerleri, 2016).

Atmosferdeki çeşitli gazların oldukça toksik olduğu ve ppm ve / veya ppb düzeyindeki konsantrasyonlarının insan sağlığı için zararlı olabileceği için, CP (iletken polimer)'lerin sensör davranışı oldukça önemlidir. Örneğin; tekstil, petrokimya, gübreler, plastik, haşare öldüren kimyasallar ve boyalar gibi birçok sanayide önemli faktör olan amonyak, insan sağlığı için havada 25 ppm konsantrasyonun ötesinde tehlikelidir. Ayrıca, amonyak hidrolizinden elde edilen amonyum hidroksit, vücutta tahrişe neden olduğu bilinmektedir. Benzer şekilde, CO₂, karbonatlı içecek endüstrisinin

de, karbonatların, karbon monoksitin, karboksilik asitlerin, petrol operasyonlarının ve üre imalatında kullanılır. Bununla birlikte, yaklaşık 50 000 ppm konsantrasyonu, baş ağrısı, nefes darlığı, çarpıntı, baş dönmesi ve güçsüzlük gibi bir dizi başka semptom ile solunum problemlerine neden olur. CO₂, şiddetli sera etkileri nedeniyle de ünlüdür. CO da zehirli bir gazdır ve atmosferdeki varlığı, insan vücudundaki hemoglobin ile etkileşime girebilir ve oksijen aktarım aktivitesinde düşüşe ve sonuçta ölümle sonuçlanabilir. Atmosferde 5 ppm konsantrasyonda CO konsantrasyonu insan sağlığı için tehlikelidir. Bu nedenle, sensörlerin ppb / ppm seviyesinde zehirli gazların varlığını algılaması gerekir. CP esaslı sensörler, yüksek hassasiyetleri, kısa tepki süresi, iyi mekanik özellikler ve oda sıcaklığında çalışma nedeniyle diğer sensörlere göre üstünlük sağlar. CP'ler arasında PANI, sentez kolaylığı ve oda sıcaklığında konuk moleküllere iyi yanıt vermesi nedeniyle en ilgi çekici özelliştir.

Optimize edilen geometrik parametreler değerlendirilir ve iyi etkileşim / algılama durumunda molekül içi bağlanma mesafesinin azaldığı gözlenir. NH₃ algılaması, bu parametreler CO₂ ve CO algılama ile karşılaştırıldığında daha belirgindir. PANI ES'nin kısa ve uzun oligomerlerinin UV-vis ve UV-yakın-IR spektrumları sırasıyla simüle edilir. Bu üç çeşit algılama çalışmasında, PANI ES'nin çıkarımcı kimyasını doğrulayan NH₃, CO₂ ve CO ve ile doping yapıldıktan sonra mavi kayma gözlemlenir. NH₃, CO₂ ve CO ile karşılaştırıldığında nPANI ES'de yüksek mavi kaydırma kabiliyetine sahiptir. Son olarak, PANI ES'nin, CO₂ ve CO ile karşılaştırıldığında NH₃'te daha yüksek tepki seçiciliği olduğu sonucuna varılmıştır (Ayub ve diğerleri, 2014).

Biyosensör ve gaz sensörleri olarak polianilin (PANI), polipirol (PPy), poli (o-fenilendiamin) (POPD) ve poli (3,4-etilendioksitiyofen) yaygın olarak çalışılmaktadır. CP'ler arasında PANI hem deneysel hem de teorik olarak daha büyük yüzey alanı ve oda sıcaklığında konuk moleküllere karşı iyi yanıt verdiği için gaz sensörleri olarak çalışılmıştır. CP moleküllerine yönelik tepki mekanizmaları konuk moleküllerin yapısına bağlı olarak değişir. Polipirol (PPy) çevresel kararlılığı, kolay sentezlenmesi ve yüksek iletkenliğinden dolayı ticari uygulamalarda diğer iletken polimerler içerisinde en fazla tercih edilenlerdendir. PPy ilk kez 1916 yılında kimyasal polimerizasyonla sentezlenmiş ve pirol siyahı olarak adlandırılmıştır. PPy, pirol ya da sübstitüe pirol monomerlerinin yükseltgenmesi ile elde edilmektedir (Ullah ve diğerleri, 2013).

Amonyak'ın nPy oligomerleri sınırlandırılır. λ_{max} değerleri kırmızıya kaydırılır, ki bu da $\pi \rightarrow \pi^*$ geçişidir. Bu kırmızı kaymış değerler, nPy oligomerlerinin amonyak için algılama (indirgeme) kabiliyetini tanımlamaktadır. UV-vis spektrumunda bulunan kırmızı rengin kayma bant aralığında oluşan azalmanın bir sonucudur. Bu analizlere göre polipirol ile amonyak

arasındaki etkileşimin, oligomerlerin boyutlarında artış ile azaldığını ve bunun genel olarak polimerin hacimselliğine bağlandığını ortaya koymaktadır. Oligomerlerinin UV-vis spektrumlarındaki kırmızı kaymalar da polipirol ile amonyak algılamasını haklı çıkarmaktadır (Rad ve diğerleri, 2016).

İletken polimerlerin sensörler olarak kullanılması, belirli ortamlara maruz kaldıklarında elektriksel ve optik özelliklerindeki önemli farklılıklardan dolayı çok dikkat çekmiştir. Uçucu organik bileşiklerin gazları veya buharlarının kolay sentezlenebilmeleri ve oda sıcaklığına duyarlı olmaları sayesinde daha çekici hale geldiler. Bu alanın araştırmacıları için diğer çekici özellikleri ise çalışma sıcaklığına ilişkin hızlı yanıt ve geniş çalışma aralığıdır. Bu özellikler, iletken polimerlere dayalı bir dizi sensörün geliştirilmesine yol açmıştır. Polipirol ve polianilin (PANI), iletken polimer sensörlerin önemli örnekleri arasındadır. PANI, olağanüstü elektriksel özellikleri, kararlılığı, uygun sentezi ve ortam sıcaklığında analitlere daha kısa tepkime süresi nedeniyle iletken polimerler arasında en öne çıkan malzemelerden biridir. Söz konusu özellikler nedeniyle polianilin, gaz algılamada oldukça başarılıdır. Deneysel veriler, PANI'nin amonyak, karbondioksit, HCl, HBr, tütün dumanı ve karbon monoksitine karşı algılama davranışını yansıtmaktadır. Polianilinin diğer uygulamaları, ışık yayan diyotlar, ikincil piller ve fotovoltajik hücreler sensörler olarak polianilinin kullanımında karşılaşılan sınırlamalardan bazıları, nispeten düşük işleme yetenekleri ve mekanik güçleri ile ilişkilidir. Organik ve inorganik malzemelerle kompozitler, geliştirilmiş özelliklere sahip sensörler olarak ortaya çıktı. Grafen-PANI kompozitinin termodinamik zeminde kararlılığının açıklanması, algılama olgusu sırasında gelen elektromanyetik radyasyona sensörlerin tepkisindeki değişim ve etkileşimlerin kapsamını açıklamak için sınır yörüngelerinin incelenmesi de hedeflenecektir. Çalışma aynı zamanda kompozit polianilinin performansını karşılaştırmayı da amaçlamaktadır. Yoğunluk fonksiyonel teorisini (DFT) kullanan metilamin ve amonyak için basit polianilin iletken polimer ile sensör araştırma çalışmasının temel amacı, kompozit sensörü oluşturan malzemelerin analitlerle nasıl etkileşime girdiğini araştırmaktır. Kompozitler arasında, NH₃ ve CO'yu algılamak için kullanılan PANI/TiO₂ nanokompozit sensörlerin, analit gazlarının konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak dirençte sahip olduğu tespit edilmiştir (Ayub ve ark, 2020).

Kükürtdioksit ve kükürtrioksit (SO₂, SO₃) berbat ve keskin bir kokuya sahip görünmez gazlardır. Bitkiler ve insan organları için tehdit oluşturan atmosferde daha kararlı son ürünlere (örneğin sülfürik asit) dönüştürülebilirler (Rad ve diğerleri, 2016). Evrensel asitleşmelerin en önemli kaynakları sülfür oksitlerdir (SO₂ ve SO₃). Ana kirleticilerin iki parçacığı olan sülfür oksitler, araç motorlarında ve evlerde fosil yakıtları içeren sülfür

für yanması sonucu atmosfere salınabilirler. SO_2 'nin hava ve atmosferik nem ile etkileşimi, metal korozyonlarının etrafında dolanan asidik yağmurların oluşumuyla sonuçlanır ve heykel ve taş binaları da berbat eder (Rad ve diğerleri, 2015). Öte yandan, SO_x varlığı korozyona neden olur ve bu nedenle bunların uzaklaştırılmasına ihtiyaç vardır. Bu nedenle, ortam sıcaklığında yüksek hassasiyet ve seçiciliğe sahip sabit ve düşük maliyetli bir SO_x sensörü çevre güvenliği ve endüstriyel kontrol için gereklidir. Yakın zamanda, çekici elektrik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı polianilin (PANI), politiyofen (PT), polipirol (PPy) ve bunların türevleri gibi temel iletken polimerlerin ilerlemesinde farklı iyileşme yapılmıştır. Bunların arasında, PT ve türevleri, düşük maliyetleri, kolay işlem kapasitesi ve ayarlanabilir emisyon renkleri nedeniyle muhteşem bir analittir (Rad ve diğerleri, 2015). PT'ye dayalı gaz sensörleri, bir cam substrat üzerinde spin kaplama yöntemi ile oluşturulur. Sonuçlarına göre, PT film oda sıcaklığında NO_2 gazına karşı yüksek hassasiyet, yüksek kaliteli seçicilik ve olağanüstü tekrarlanabilirlik ile büyük ölçüde seçicidir. Sensörün tepkisi, NO_2 gazının devam etmesinde ve yokluğunda filmin elektrik direncindeki değişim tarafından tahmin edilir (Rad ve diğerleri, 2015). PANI, seçkin elektriksel ve optik özellikleri, yüksek kalitede redoks reversibilitesi ve yüksek çevre dayanıklılığı nedeniyle en çok çalışılan polimerlerden biridir. Polianilin (PANI), politiyofen (PT), polipirol (PPy) ve bunların türevleri gibi cazip elektriksel, kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı polimerlerin iletimi üzerinde yoğunlaşılır. Basitçe sentezlenebilirler ve pratik uygulamalar için ucuz mikro elektronik sensörler olarak bilinirler. PANI, seçkin elektriksel ve optik özellikleri, yüksek kalitede redoks reversibilitesi ve yüksek çevre dayanıklılığı nedeniyle en çok çalışılan polimerlerden biridir. Anilin ve türevlerinin düşük maliyetli ve geniş erişilebilirliğinin yanı sıra bu özellikler, gaz algılama gibi birçok pratik işlevi mükemmel bir aday haline getirmektedir (Rad ve diğerleri, 2016).

SO_2 ve SO_3 'ün DFT hesaplamaları yoluyla 3PT ile etkileşimlerini teorik olarak incelenir. Elektronik yapı ve HOMO-LUMO, SO_x ve 3PT arasında bazı yörünge hibridizasyonunu ortaya koymaktadır. DOS'ların aralarındaki etkileşimi kanıtlayan SO_x ve 3PT molekülleri arasındaki hibridizasyona dair değişim, kanıtı gösterir. UV-vis çalışması, 3PT'nin algılama yeteneğine SO_2 ve SO_3 'e atfedilen kırmızı kaymasını gösterir (Rad ve diğerleri, 2015).

DFT hesaplamaları kullanarak 2PANI üzerinde SO_2 ve SO_3 'ün adsorpsiyonu için bir hesaplama çalışması yapılır. HOMO-LUMO'daki elektronik dağılımlar, SO_x 'in ve 2PANI'nin arasında yer alan yörüngelerin melezleşmesini gösterir. DOS parselleri, SO_x molekülü ve 2PANI arasındaki hibridizasyona ilişkin önemli değişiklik kanıtları göstermekte ve aralarında önemli bir etkileşim olduğunu kanıtlamaktadır (Rad ve diğerleri, 2016).

SONUÇ

İncelenen çalışmalarda iletken polimerlerin elektrik iletkenliğinin, çeşitli organik ve inorganik gazlara maruz kalmaktan etkilendiği gözlenmiştir. İletken polimerden yapılan sensörün; daha kısa tepki süresi ve yüksek hassasiyeti gibi birçok iyi özelliği vardır. Bu özellikler üstelik oda sıcaklığında gerçekteşmektedir. Sensörler olarak tercih edilen polimerler, belirli gazlara maruz kaldıklarında elektriksel ve optik özelliklerdeki önemli varyasyonları nedeniyle birçok araştırmanın ana konusudur. İletken polimerlerden polipirol, polianilin vb. gibi mükemmel elektriksel özellikler, kararlılık, daha kısa yanıt süresi, uygun sentez gibi üstünlükleri sebebiyle özellikle tercih edilmiştir. Bu nedenle, oldukça başarılı bir şekilde gaz algılama için başarıyla kullanılmışlardır. NH₃, karbondioksit, HCl, HBr, tütün dumanı ve karbonmonoksit gibi birçok gazı algılama yetenekleri araştırma konusu yapılmıştır. Sensörler olarak polianilinin kullanımında karşılaşılan bazı sınırlamalar, bunların nispeten düşük işleme yetenekleri, zayıf kimyasal kararlılıkları ve mekanik dayanıklılıkları ile ilişkilidir. Bu problemler, kompozit sensörlerin geliştirilmesine duyulan ihtiyacı pekiştirmiştir ve yapılan araştırmaların yönünü değiştirmiştir.

KAYNAKÇA

- Ariyageadsakul, P. Vchirawongkwinb, V. Kritayakornuponga, C. (2008). Determination of toxic carbonyl species including acetone, formaldehyde, and phosgene by polyaniline emeraldine gas sensor using DFT calculation.
- Adhikari, B. ve Majumdar, S. (2004), —Polymer in sensor applicationsl Prog. Polym. Sci., 29, 699-766.
- Ayub, H., Farooqi, B.A., Ashraf, A., Farooq, U. (2020), Comparative study on sensing abilities of polyaniline and graphene polyaniline composite sensors toward methylamine and ammonia.
- Bai, H. Shi, G. (2007). Gas Sensors Based on Conducting Polymers.
- Başbilen B., (2006). Yüzeyi Polianilinle Kaplanmış Pirincin Klorürlü Ortamda ki Elektrokimyasal Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Balcı, K. (2003). Primidin ve Aminoprimidin Moleküllerinin Serbest Halde ve Kompleks Yapıdaki Titreşim Frekanslarının Hesaplanması.
- Çarbaş, B. (2016). İletken Polimerler ve Enerji Uygulamaları
- Çeçen, N, (2005). Anilin Ve Oligoanilin Varlığında İletken Polimer Ve Kopolimer Sentezi
- Çetin, Ş.M., Demirel, A. S., Toprakçı, O., Toprakçı, H.A.K. (2021). Fabrication and characterization of conductive, flexible polymer composites from carbonized pistachio shell wastes
- Düzenli D, A (2016). Comparative Density Functional Study of Hydrogen Peroxide Adsorption and Activation on the Graphene Surface Doped with N, B, S, Pd, Pt, Au, Ag, and Cu Atoms.
- Ertas M, F (2006). Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (YFT) Uygulamaları.
- Farooqi, B. Yar, M. Ashraf, A. Farooq U. Ayub, K (2020). Polyaniline emeraldine salt as selective electrochemical sensor for HBr over HCl: a systematic density functional theory study through oligomer approach
- Frisch, M.J., Trucks, G.W., Schlegel, H.B., Scuseria, G.E., Robb, M.A., Cheeseman, J.R.,
- Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G.A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X.,
- Hratchian, H.P., Izmaylov, A.F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J.L., Hada, M., Ehara,
- M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida, M., Nakajima, T., Honda, Y., Kitao, O.,
- Nakai, H., Vreven, T., Montgomery, J.A., Jr.; Peralta, J.E., Ogliaro, F., Bearpark, M., Heyd,

- J.J., Brothers, E., Kudin, K.N., Staroverov, V.N., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A., Burant, J.C., Iyengar, S.S., Tomasi, J., Cossi, M., Rega, N., Millam, J.M., Klene, M., Knox, J.E., Cross, J.B., Bakken, V., Adamo, C., Jaramillo, J., Gomperts, R., Stratmann, R.E., Yazyev, O., Austin, A.J., Cammi, R., Pomelli, C., Ochterski, J.W., Martin, R.L., Morokuma, K., Zakrzewski, V.G., Voth, G.A., Salvador, P., Dannenberg, J.J., Dapprich, S., Daniels, A.D., Farkas, Ö., Foresman, J.B., Ortiz, J.V., Cioslowski, J. ve Fox, D.J., 2009. Gaussian 09, Revision A.02. Gaussian, Inc., Wallingford CT.
- Gangopadhyay, R. ve De, A., (2000). Conducting Polymer Nanocomposites: A Brief Overview Chemistry Materials
- Görgül, R. (2020). Bazı İletken Polimerlerin Gaz Sensörü Olarak Teorik Modellemesi
- Gürsoy, Ş., Gürsoy, O. (2017). Pestisit Analizlerinde Asetilkolinesteraz İnhibisyonuna Dayalı İletken Polimer Esaslı Biyosensörler
- Işık, A. (2013). Sensör Çeşitleri, Robotik Alanda Kullanılan Sensörler ve FSR Sensör Uygulaması.
- Jadoon, T. Mahmud, T. Eyüp, H. (2021). Adsorption mechanism of p- aminophenol over silver-graphene composite: A first principles study.
- Liua, S. Biana, L. Luana, F. Sunb, M. (2011). Theoretical study on polyaniline gas sensors: Examinations of response mechanism for alcohol.
- Mahabal, M.S. Deshpande, M.S. Hussain, H. Rajeev, A. (2017). Sensing Characteristics of Phosphorene Monolayers toward PH₃ and AsH₃ Gases upon the Introduction of Vacancy Defects.
- Meneguzzi, A., Marco, A., Carlos, A., Ferreira, A., Torros, J., Caneles, M. (2008). On the molecular properties of polyaniline: A comprehensive theoretical study.
- Nicolas-Debarnot, D. ve Poncin-Epaillard, F., (2003). Polyaniline as a new sensitive layer for gas sensors, *Analytica Chimica Acta*.
- Paul, S., Amalraj, F., Radhakrishnan, S. (2008). CO sensor based on polypyrrole functionalized with iron porphyrin.
- Pulay, P. ve Lawley, K.P., 1987. *Analytical Derivative Methods in Quantum Chemistry*, Ab initio Methods in Quantum Chemistry, Ed. Lawley, K. P., John Wiley and Sons Ltd, 118-143, New York.
- Rad, A.S. Kahkesh, S. Shadan, S. Alirezanejad, N. Mehdiatabar, S. A. (2015). DFT study on comparison of Terpyrrole, Terthiophene, and Dianiline in adsorption of nitrous oxide Iranian Journal of Organic Chemistry.
- Rad, A.S. Ateni, S.G. Tayebi, H. Valipour, P. Foukolaei, V. P. First-principles (2016). DFT study of SO₂ and SO₃ adsorption on 2PANI: a model for polyaniline response.

- Rad, A.S. Valipour, P. Gholizadea, A. Mousavinezhad, S. E. (2015). Interaction of SO₂ and SO₃ on terthiophene (as a model of polythiophene gas sensor): DFT calculations.
- Raeyani, D. Shojaei, S. Ahmadi-Kandjani, V. (2017). Optical graphene quantum dots gas sensors: Theoretical study.
- Rad, A.S. Zardoost, M.R. Abedini, E. (2015). First-principles study of terpyrrole as a potential hydrogen cyanide sensor: DFT calculations.
- Rad, A.S. Esfahanian, M. Ganjian, E. Tayebi, H.(2016).Ab-Initio Study of Physisorption of Hydrogen Cyanide on 2PANI: a Model for Polyaniline Gas Sensor.
- Saçak, M. (2010). Polimer Kimyası, Gazi Kitapevi.
- Sajid, H. Mahmood, T. Khurshid, A. (2017). An accurate comparative theoretical study of the interaction of furan, pyrrole, and thiophene with various gaseous analytes Journal of Molecular Modeling.
- Sajid, H. Mahmood, T. Khurshid, A. (2019). Cyclic versus straight chain oligofuran as sensor: A detailed DFT study
- Salma, B. Ullah, H. Shah, M.A. Anwar-ula-Haq A. Asif, A.T. Khurshid A. (2015). Molecular and Eleketronic Structure Elucidation of Polypyrrole Gas Sensors The Journal of Physcal Chemistry.
- Srivastava, A., Singh, V., Dhand, C., Kaur, M., Singh, T., Witte, K., & Scherer, U. (2006). Study of Swift Heavy Ion Modified Conducting Polymer Composites for Application as Gas Sensor.
- Ullah, H. Khurshid, A. Zakir, U. Muhammed, H. Raziq, N. Anwar-ul-Haq, A.S. Salma, B. (2013). Theoretical insight of polypyrrole ammonia gas sensor, Synthetic Metals.
- Ünsal, Ö., Bedeloğlu, A. (2018). İletken Polimer Esaslı Nanogeneratörler



BÖLÜM 2

ESA-ESCC 25100 TEKİL OLAY ETKİLERİ STANDARTI'NDA ÖNERİLEN ALTERNATİF KAYNAKLAR VE BU KAYNAKLARIN ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Selcen UZUN DURAN¹

¹ Dr.Öğr. Üyesi Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler Ve Teknikler, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri, selcenduran@ktu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-4943-4654

Kısaltmalar

Amu: Atomic Mass Unit

ESA: Avrupa Uzay Ajansı

ESA-ESCC 25100: Tekil Olay Etkileri Test Metodu ve Klavuzu

SF: Spontaneous Fission (Kendiliğinden Fisyon)

LET: Linear Energy Transfer (Doğrusal Enerji Transferi)

DUT: Device Under Test

CASE: Californium-252 Assessment of Single-Event Effects

SEFI: Single Event Functional Interrupt

SEU: Single Event Upset

SEL: Single Event Latch-Up

MBU: Multiple-Bit Upsets

SER: Soft Errors Rate

SRIM: The Stopping and Range of Ions in Matter

CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor

MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

EIA/JEDEC JESD89: Measurement and Reporting of Alpha Particle and Terrestrial Cosmic Ray-Induced Soft Errors in Semiconductor Devices.

GİRİŞ

Yüklü iyonlar ve protonlar Tekil Olay Etkilerine neden olurlar. Yüklü iyonlar ve protonlar ile yapılacak Tekil Olay Etkileri testleri, yüklü parçacıkların madde ile etkileşimine dayanmaktadır. Yüklü parçacıklar madde içerisinden geçerken hem enerji kaybederler hem de geldikleri yörüngeden saparlar. Parçacıkların bu şekilde etkilenmesinin nedeni ise geçtikleri maddenin atomik elektronları ile Coulomb kuvvetiyle etkileşmeleridir. Yüklü parçacıklar geçtikleri maddenin atomlarını uyararak ya da iyonize ederek enerji kaybederler. Nadiren de olsa Yerdeğiştirme Hasarına (Displacement Damage) neden olurlar. Yüklü parçacıkların kaybettikleri enerji genel olarak Bethe-Bloch formülü ile hesaplanabilir. Bu formülde gelen parçacık ve geçtiği materyal önemlidir. Bu formülle birim uzunlukta kaybedilen enerji (dE/dx) hesaplanır ve durdurma gücü olarak tanımlanır. Kütle durdurma gücü ise doğrusal enerji transferi (Linear Energy Transfer=LET) olarak isimlendirilir ve

$$LET = (1/\rho) \times (dE/dx)$$

Bu formülde ρ , maddenin özkütlesidir. LET'in birimi MeVcm^2/mg 'dir. LET'in tüm yol uzunluğuna integrali toplam kaybedilen enerjiyi vermektedir. Yüklü parçacıkların madde içerisinde geçerken oluşturdukları iyonlaşmaya doğrudan iyonlaşma denir. Doğrudan iyonlaşma madde içerisinde bozulmalara neden olur. Ancak hafif kütleli parçacıklar madde içerisinde doğrudan iyonlaşma ile pek fazla bozulmalara neden olmazlar. Hafif kütleli parçacıkların oluşturduğu ikincil parçacıklar bozulmalara neden olur ve bu duruma da dolaylı iyonlaşma adı verilir (Leo, 2012:24-29).

Bu amaçla kurulmuş hızlandırıcılar kullanılarak uydu elektronik bileşenleri, uzay radyasyonuna neden olan tüm parçacıkların radyasyon dozlarına karşılık gelecek bir radyasyona maruz bırakılabilirler. Ancak standart 20 ile 200 MeV arasında 5 noktada test yapılmasını önermektedir. Yüksek LET değerine sahip (yaklaşık $50 \text{ MeV}/\text{mg}/\text{cm}^2$) değerine sahip testlerin güvenilirliği yüksek olması istenen ekipmanlar için zorunludur. Yeni bir hızlandırıcı kurmadan, bu testleri yapabilmeyen yolu alternatif kaynaklar kullanmaktır. ESA-ESCC 25100 Standardına göre Tekil Olay Etkisi testleri için alternatif kaynaklar önerilmektedir. Bu çalışma kapsamında standardın önerdiği alternatif radyoaktif kaynaklar ile yapılmış Tekil Olay Etkisi test raporları ve literatür taramaları ve çeşitli test düzenekleri sunulmuştur.

Parçacık Radyasyonunun Neden Olduğu Etkiler ve Radyasyon Testleri

Uzay radyasyonunu dünya yörüngesine hapsedilmiş düşük enerjili parçacıklar ve kozmik ışınlar oluşturur. Düşük enerjili parçacıkları daha çok elektronlar ve protonlardan oluşmasına rağmen az sayıda ağır iyonlarda bulunur. Bu parçacıklar manyetik alanda hareket ederken aynı zamanda dünya etrafında da sürüklenirler. Kozmik ışınları da uzaydan gelen kozmik ışınlar ve güneşten gelen kozmik ışınlar olarak iki gruba ayırabiliriz. Uzaydan gelen kozmik ışınların %85'ini protonlar, %14'ünü alfa parçacıkları (helyum iyonları) ve geriye kalan %1'ini ise yüksek enerjili ağır iyonlar oluşturmaktadır (Gombosi, 1998:257).

Parçacık radyasyonunun etkileri iki gruba ayrılır bunlar, Birikimli Etkiler ve Tekil Olay Etkileri. Birikimli etkiler, Toplam Doz Etkilerini ve Yer Değiştirme Bozulmalarını içerir.

Toplam Doz Etkileri, maddede özellikle yarı-iletken maddelerde yük yakalanmasına neden olur. Yer değiştirme bozulmaları ise gelen parçacığın malzeme örgüsünde bulunan atomun yerini değiştirmesi sonucu oluşur. Yüklü iyonlar ve protonlar Tekil Olay Etkilerine neden olurlar. Tekil Olay Etkilerini de hasarı kalıcı olan etkiler ve olmayan etkiler olarak gruplandırabiliriz (Barth vd., 2004:324-327).

Hasarı kalıcı olan etkiler,

- Single Event Latchup (SEL): Cihazın hassas bölümlerinden geçen yüksek enerjili tek parçacığın normal olmayan yüksek akım oluşturması sonucu cihazın bozulmasıdır.

- Single Event Burnout (SEB): NPN tranzistörlerde bozucu tetiklemenin oluşmasıdır.

- Single Event Gate Rupture (SEGR): Yarı iletkenlerde iletken bir yolun oluşmasıdır.

Hasarı kalıcı olmayan etkiler ise

- Single Event Upset (SEU): Hafıza kartlarında depolanan bilginin değişmesidir.

- Single Event Transient (SET): Entegre devrede ani gerilim yükselmesidir.

- Single Event Functional Interrupt (SEFI): Cihazın geçici olarak işlevselliğini kaybetmesidir, yeniden çalıştırılarak düzeltilir.

- Multiple Bit Upset (MBU): Birden fazla bit'te meydana gelen bilgi değişimidir.

Verilen radyasyonun etkisini bilmek, radyasyon testlerinde bu radyasyonun bırakacağı hasarı ölçecek performans testleri için çok önemlidir. Elektronik bileşenlerin yeni özellikleri geliştirildikçe, mümkün olan hasar listesi de gelişebilir.

Son yıllarda radyasyona dayanıklı (rad-hard) malzeme geliştirme uygulamaları dikkat çekmektedir. Fakat rad-hard ürünler yüksek maliyet, performans düşüklüğü (düşük hız, fazla güç tüketimi, az işlevsellik) gibi mevcut nedenlerden dolayı mevcut ürünlerin iki ila üç kuşak gerisinde kalmaktadır. Ayrıca büyük yarı-iletken şirketleri yumuşak hata oranı (SER) sorununu çözmek için çalışmalar yürütmektedir. Karasal çevre için yapılan iyileştirmeler, uzayda Tekil Olay Etkileri (SEE) ve tıbbi uygulamalar için doğrudan olumlu sonuçlar doğurmaktadır (Roche vd., 2009:460).

ESA-ESCC 25100 Standardına Göre Tekil Olay Etkisi Testleri ve Standardın Önerdiği Alternatif Kaynaklar

ESA-ESCC 25100 standardında Tekil Olay Etkileri testleri için alternatif kaynaklar önerilmekte ancak alternatif kaynakların, Tekil Olay Etkileri testinin gerekliliklerini karşılamadığını ve Tekil Olay Etkileri yeterliliği için ağır iyonlar veya protonlar yerine kullanılamayacağı belirtilmiştir. Bununla birlikte, test donanımını ve yazılımını doğrulamak veya kontrol

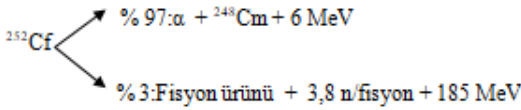
etmek için ağır iyon veya proton tekil olay etkileri testlerinden önce veya sonra kullanılabilirlerken, ilaveten belirli arıza durumlarını cihaz işlemlerinin bir fonksiyonu olarak araştırmak için kullanılabilirler (ESA-ESCC No. 25100, 2014;9). ESA-ESCC 25100 Standardına göre Tekil Olay Etkisi testleri için önerilen alternatif kaynaklar şunlardır;

- 1- Radyoaktif Kaynak Californium-252
- 2- Odaklanmış Darbeli Lazer
- 3- Diğer Kaynaklar-Nötronlar (örn: 14MeV)-Alfa Kaynakları (örn: Am-241, Th-232)

Alternatif Kaynak Önerileri

Californium-252

ESA-ESCC 25100 Standardı' nın önerdiği kaynaklardan birisi Californium-252 (Cf-252) dir. Californium-252, %97' lik ihtimal ile 2,73 yıllık yarı ömrü ile alfa parçacıkları emisyonuyla bozunan, uranyum ötesi bir elementtir. Ayrıca Californium-252, %3' lük ihtimal ile 85 yıllık yarı ömür ile kendiliğinden fisyon yolu ile neredeyse tam ortadan Nd-142 ve Pd-106' ya bölünmektedir ve fisyon başına ortalama 3,8 nötron çıkarmaktadır işte bu bölünme modu radyasyon testleri açısından ilgi çekicidir. Fisyon ürünlerinin enerjileri yaklaşık olarak 103 MeV ve 79 MeV değerindedir. Şekil 2'de Cf-252'nin bozunma oranları görülmektedir. Californium-252 kaynağının fiziksel özellikleri Tablo 1' de verilmektedir (Becchetti vd., 2013:112-113).

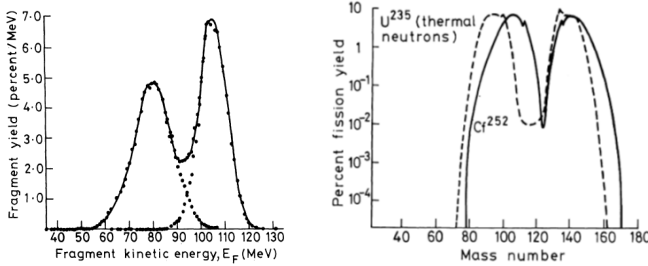


Şekil 2: Cf-252'nin Bozunma İhtimalleri ve Çıkarıldığı Ürünler (Becchetti vd., 2013:112).

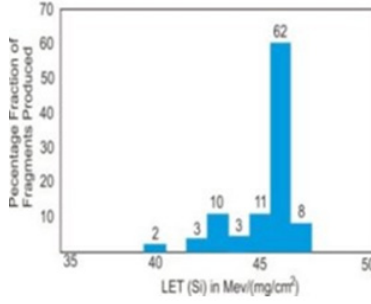
Tablo 1: Californium-252 Kaynağının Fiziksel Özellikleri (Knauer vd., 1990:5-6).

Özellik	Değeri
Yarı Ömür	2,65 yıl
Yarı Ömür(Alfa Bozunumu)	2,73 yıl
Yarı Ömür(Kendiliğinden Fisyon)	85,5 yıl
Bozunma Türü	Alfa (96,908 %), SF (3,092%)
Alfa Parçacığının enerjisi	6,12 MeV
Ortalama nötron enerjisi	2,35 MeV
Fisyon Başına ortalama nötron sayısı	3,76 n/fisyon
Spesifik Aktivite	536 Ci/g- $2,0 \times 10^{13}$ Bq/g
Nötron emisyon	$2,3 \times 10^{12}$ nötron/s/g $4,4 \times 10^3$ nötron / saniye
Nötron emisyon (1 μ Ci)	$4,4 \times 10^3$ nötron/s
Doz Eşdeğeri (1 m'de 1 μ Ci kaynak)	23,3 μ Sv/saat (n) ve 1,6 μ Sv/saat (γ)

Tablo 1’de görüldüğü gibi Cf-252 alfa parçacıkları, fisyon ürünleri ve hızlı nötronlar üretmektedir. Ürettiği fisyon ürünleri, hafif fisyon ürünü, 102,58 MeV enerjili Pd-106 (Palladyum) ve ağır fisyon ürünü, 78,67 MeV enerjili Nd-142 (Neodimyum), Tekil Olay Etkileri testi için kullanılmaktadır. Şekil 2-a ve 2-b’de Cf-252 nin ürettiği fisyon ürünlerinin enerji dağılımı ve kütle dağılımı görülmektedir. Üretilen fisyon ürünlerinin %95’i 41 ile 45 MeV/mg/cm² (Si) arasında LET değerine sahiptir. Fisyon ürünlerinin LET değerlerinin ortalaması 43 MeV/mg/cm² (Si)’dir ve bu dağılım Şekil 3’de görülmektedir (Zinchenko vd., 2014:141).



Şekil 2-a: Cf-252 Enerji Dağılımı **Şekil 2-b:** Cf-252 Kütle Dağılımı (ESA, 2014).



Şekil 3: Cf-252'nin Ürettiği Filyon Ürünlerinin LET Değerlerinin Dağılımı (ESA, 2014).

Laboratuvar ortamında Tekil Olay Etkisi testleri yapabilmek için bir çok radyoaktif çekirdeğin içinden Cf-252 uygun görülmesinin nedeni bozunduğunda ağır iyonlar yaymasıdır. Cf-252'nin ürettiği ağır iyonların LET değerleri uzayda tipik olarak bulunan iyonların LET değerlerinden daha büyüktür. Bu nedenle menzil problemi olmadığı varsayılırsa filyon ürünleri Tekil Olay Etkisi testleri için kullanılabilir. Fakat bu tekniğin kısıtlamaları şunlardır;

- Filyon ürünlerinin enerjileri (Yaklaşık 100 MeV) galaktik kozmik ışınların enerjileri 1 GeV) ile karşılaştırıldığında daha düşüktür.

- Filyon ürünlerinin menzilleri sınırlıdır (6-15 μm). Bu sınırlı menzil değerleri, kalın dielektrik tabakalarla örtülü devrelerde ve hassas hacmi yüzeyin çok altında olan devrelerde Tekil Olay Etkisi testinin sonuçlarını etkileyebilir. Menzil kısa olursa filyon ürünleri hassas hacime ulaşamaz veya hassas hacimdeki LET değeri Tekil Olay Etkileri oluşturmakta yetersiz kalabilir.

- Filyon ürünlerinin LET değerleri malzemeye olan mesafe ile hızla değişmektedir. Bu durum yüzeydeki bir iyonun LET değerinin hassas hacimdeki LET değerinden farklı olmasına neden olur ki böyle bir durumda doğru LET değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu bağlantı derinlikleri bilinen devreler için yapılabilir.

- Cf-252 testi ile ilgili diğer bir problem filyon ürünlerinin hem kütle hemde enerji dağılımı Tekil Olay Etkisi tesir kesitinin ölçülmesinde bir belirsizliğe neden olmaktadır.

- Cf-252 ile ilgili radyasyon tehlikeleri dikkatle düşünülmelidir. Parçalanma ürünlerinin kazara yutulması ölümcül olabilir. Bu nedenle insanların, Cf-252 ile temasa girmemeleri için önlemler alınmalıdır (Buchner vd., 1996).

Amerisyum-241

ESA-ESCC 25100 Standardı' nın önerdiği alternatif kaynaklardan bir diğeri Amerisyum-241 (Am-241)'dir. Amerisyum-241 gama ışını ile birlikte alfa ışını yayan uzun yarı ömürlü (433 yıl) transuranik bir radyonüklittir. Bu kaynağın özellikleri Tablo 4'de verilmektedir (Kalicki vd., 2006:23).

Tablo 4: *Amerisyum-241 Kaynağının Fiziksel Özellikleri (Kalicki vd., 2006:23).*

Özellik	Değer
	0,060 (36%)
Gama Enerjisi (MeV)	0,018 (18%) 0,014 (13%)
	5,486 (85%)
Alfa Enerjisi (MeV)	5,443 (13%) 5,388 (1%)
Yarı Ömür (Yıl)	432,7
Spesifik Aktivite	3,43 Ci/g-1,27x10 ¹¹ Bq/g

Am-241 kaynağı çift veya tek kapsüllü paslanmaz çelik içerisinde laboratuvar ortamında saklanabilmektedir.

ESA-ESCC 25100 Standardına Göre Tekil Olay Etkisi Testleri İçin Önerilen Alternatif Kaynakların Özelliklerinin Karşılaştırılması

ESA-ESCC 25100 Standardına göre tekil olay etkisi testleri için önerilen alternatif kaynaklardan radyoaktif element olanların (Am-241, Th-232, Cf-252), gama enerjileri, alfa enerjileri, ortalama nötron enerjileri ve yarı ömürlerinin karşılaştırılması Tablo 5'de görülmektedir.

Tablo 5: *ESA-ESCC 25100 Standardına Göre Tekil Olay Etkisi Testleri İçin Önerilen Alternatif Kaynakların Gama Enerjisi, Alfa Enerjisi, Nötron Enerjisi Ve Yarı Ömürlerinin Karşılaştırılması.*

Kaynak Adı	Gama Enerjisi (MeV)	Alfa Enerjisi (MeV)	Ortalama Nötron Enerjisi (MeV)	Yarı Ömür (Yıl)
Americium-241	0,060 (36%) 0,018 (18%) 0,014 (13%)	5,486 (85%) 5,443 (13%) 5,388 (1%)	-	432,7
Thorium-232		4,01 (77.8%) 3,95 (22.1%)	-	1,405 x 10 ¹⁰
Californium-252		6,117 (96.9%)	2,348 (3,1%)	2,731±0,007 (Alfa) 85,5±0,5 (S.F)

Tablo 6’da ESA-ESCC 25100 Standardına göre tekil olay etkisi testleri için önerilen alternatif kaynaklar ile 30 MeV ve 200 MeV enerjili protonların LET değerlerinin ve silikon içerisindeki menzillerinin karşılaştırılması verilmektedir.

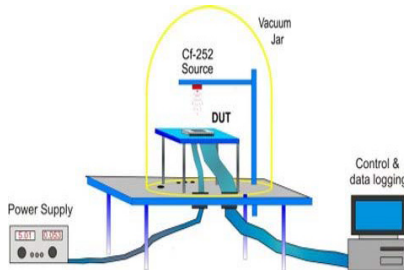
Tablo 6: *ESA-ESCC 25100 Standardına Göre Tekil Olay Etkisi Testleri İçin Önerilen Alternatif Kaynaklar İle 30 MeV Ve 200 MeV Enerjili Protonların LET Değerlerinin Karşılaştırılması*

Parçacık	Enerji (MeV)	LET (MeV cm ² /mg)	Menzil (Si)
Proton	30	0,14	0,5 cm
Proton	200	0,036	14 cm
Alfa-(Am-241)	5,4	5,8	0,12 cm
Fisyon ürünü (Cf-252)	79-103	43	14,2 μm

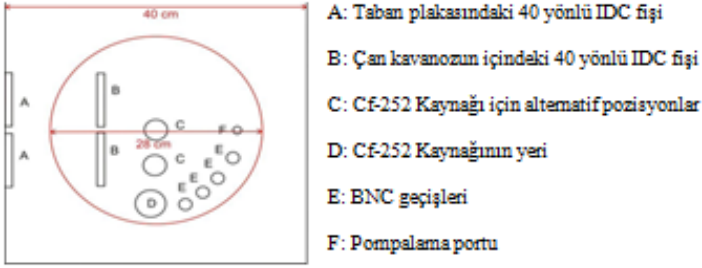
Test Düzenekleri

CASE (Californium Assessment for Single Event Effects) Sistemi

ESA’ nın Tekil Olay Etkileri testleri için önerdiği test düzeneği ve özellikleri Şekil 5’ de görülmektedir. Bu düzende, 1-2 μCi’ lik aktivitelere sahip Cf-252 kullanılmaktadır. Test edilecek malzemenin metal katmanları arttıkça, fisyon ürünlerinin hassas hacme girmesi daha da zorlaşmaktadır. Bu nedenle test edilen cihazdaki (DUT) fisyon ürün akıcılığını artırmak için cihaz dekapüle edilmelidir ve CASE sistemi havası boşaltılan bir çan kavanozunda çalıştırılmalıdır. CASE sistemi, bir ön test tesisi olarak düşünülür.



Şekil 5: *CASE (Californium Assessment For Single Event Effects) Sistemi (ESA-CASE).*



Şekil 6: Testler İçin Kullanılan Örnek Bir Taban Plakası (ESA-CASE).

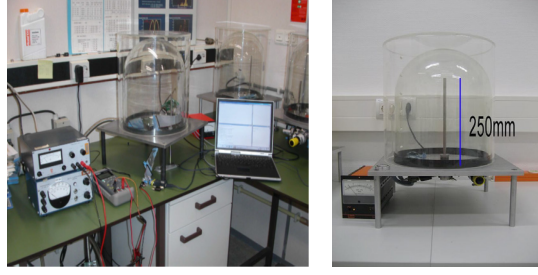
Örnek Test Düzenegi

Makris vd. (2009) tarafından ESA/ESTEC Cf-252 radyasyon tesislerinde yürütülmüş ve raporlanmış bir çalışmada kullanılan test düzeneginin özellikleri şöyledir;

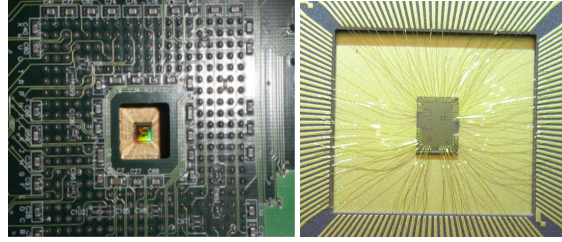
DUT odası, 400 mmx400 mm' lik bir metal taban plakasının üzerine uzanan camdan yapılmış kubbe şeklinde bir çan kavanozundan oluşur. Şekil 8' de görüldüğü gibi çan kavanozun iç çapı 270 mm, yüksekliği 250 mm'dir ve 100 mm yarıçapı kubbeye sahiptir. Taban plakası, elektrik bağlantıları için çeşitli geçiş konektörleri içerir.

Cf-252 kaynağı, DUT üzerindeki yükseklik ayarlamaları için çubuk yardımı ile serbestçe yukarı ve aşağı hareket edebilen metal tutucuya yerleştirilir. DUT test kartı, haznenin içine yerleştirilir ve taban plakası üzerine serbestçe durur ve kaynak tutucu doğrudan DUT üzerinde hizalanır. Bölme içindeki hava, taban plakasındaki özel bir bağlantı noktası vasıtasıyla bir vakum pompası kullanılarak pompalanır.

Vakumun değeri oda yakınındaki bir monitör vasıtasıyla gerçek zamanlı olarak izlenir. CASE sisteminde çeşitli taban plakaları kullanılabilir. Testte kullanılan örnek bir taban plakası Şekil 6 'da gösterilmiştir. Şekil 11 'de görüldüğü gibi testler sırasında, test edilecek cihazı ışığa ve elektromanyetik parazitlere karşı korumak için, çan kavanozun çevresine alüminyum ekranlı bir koruma yerleştirilmiştir (Makris:2009). Şekil 7-8-9-10' de CASE sisteminden görüntüler yer almaktadır.



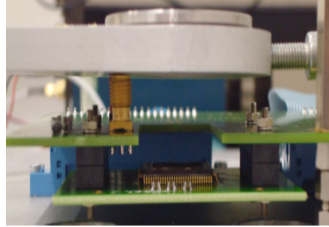
Şekil 7: *ESTEC-Cf-252 Tekil Olay Etkisi Test Düzeneği (Makris vd., 2009:33)*



Şekil 8: *Test Edilecek Bileşen İçin PCB'den KesilmiŐ Kalp Görüntüsü (Makris vd., 2009:34-35)*



Şekil 9: *Kalp BoŐluđunun Üstünde Cf-252 Kaynak YerleŐimi (Makris vd., 2009:36)*



Şekil 10: *Vakum İçinde Cf-252 Kaynağının Altında Bir Kapak Olmadan DUT (Makris vd., 2009:36).*



Şekil 11: Test Sırasında Deney Düzenegi (Solanki vd., 2012;6).

Cf-252 İle Yapılan Çalışmalar

Entegre Devreler, Tekil Olay Etkisi testleleri için hızlandırıcılar ile test edilmelidir. Bununla birlikte bu test yönteminin maliyetinin fazla olması ve bu tesislere sınırlı erişim imkanından dolayı alternatif test yöntemleri geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Aşağıda, Cf-252 ile yapılmış Tekil Olay Etkisi çalışmalarına örnekler verilmektedir.

Buchner vd. (1996) tarafından yapılan bir çalışmada Cf-252 ve Lazer tekniklerinin sınırlarını belirlemek için laboratuvar ve hızlandırıcı ile yapılan Tekil Olay Etkisi testlerinin verilerinin ayrıntılı bir karşılaştırması yapılmıştır. İdeal olarak, Tekil Olay Etkisi testleri, devrelerin çalışacağı gerçek ortamda gerçekleştirilmelidir. Bu yaklaşım, alana sınırlı erişim, yüksek maliyet ve uzun süreler nedeniyle uzay uygulamaları için tasarlanan devreler için pratik bir yol değildir. Yaygın olarak kullanılan yöntem, hızlandırıcılarda çeşitli iyon demetlerine, devreleri maruz bırakmak ve doğrusal enerji aktarımı olarak adlandırılan yarı iletkendeki her iyon tarafından birim uzunluk başına biriken enerjinin bir fonksiyonu olarak tesir kesiti ölçümü yapmaktır. Hızlandırıcılarda bulunan yüksek iyon akısı, doğal ortamda gerekli olan uzun test sürelerine kıyasla, Tekil Olay Etkileri Testi için test sürelerini kısaltır. Bir laboratuvar ortamında Tekil Olay Etkileri Testi'nin yapılabilmesi, hızlandırıcı tesislerine sınırlı erişimin yanı sıra test edilen devrelerin imalat veya montaj fabrikasından uzakta bulunan bir tesiste Tekil Olay Etkileri Testi için test edilmesi zorluklarına karşı büyük kolaylık sağlayacaktır. Tekil Olay Etkileri Testi için bir laboratuvar testi, aşağıdaki çeşitli ölçümler için kullanılabilir;

- Devre tasarımcılarına Tekil Olay Etkileri Testi hassasiyetini geliştirmeye yönelik bilgi sağlamak,
- Tekil Olay Etkileri Testi hassasiyetinin görelî düzeylerini ölçmek,
- Devrelerin tasarlanan Tekil Olay Etkileri Testi hassasiyetdüzeyle-

rini niçin karşılayamadığını belirlemek,

- Hızlandırıcı testinden önce yazılımları kontrol etmek,
- Test hata algılama ve düzeltme kodlarını doğrulamak,
- Tekil Olay Etkileri Testi'ten sorumlu temel mekanizmaları incelemek.

Cf-252 kullanmaya yönelik ilk deneme, 4K CMOS SRAM adlı cihazların SEU tesir kesitinin, 42-45 MeV/cm²/mg aralığında ölçülmesini içermektedir. Bu LET değerlerinde ölçülen SEU kesitinin doymuş değer olduğu kabul edilmiştir. Bunu onaylamak için ayrıca SEU tesir kesiti, bir hızlandırıcıda 60 MeV enerjili Kr-84 iyonları ile ölçülmüş ve hızlandırıcı verileri, araştırmacılar tarafından seçilen iyonların, doymuş kesitleri ölçmek için yeterince büyük LET değerlerine sahip olmadığı için, tam olarak uyumlu bir sonuca ulaşılamamıştır. Test düzeneği, tehlikeli Cf-252 ile teması önlemek ve iyonlardaki enerji kaybını en aza indirmek için bir haznenin içinde bulunur. Test düzeneğinin içi farklı yoğunluktaki hava ile doldurarak fisyon ürünlerinin LET değerleri değiştirilebilir. Fisyon ürünleri havadan geçerken enerji kaybederler LET değerleri azalır. Buna ek olarak meydana gelen iyonların devreye girme açısını (çarpışma olasılığı) artırmak hassas hacim boyunca daha uzun yol olduğundan etkili LET'i artırır. Hava basıncını ve etkileşme açısını değiştirmek en az enerjik fisyon ürünleri için en az 5 µm'lik menzile derinliği sağlarken 22-75 MeVcm²/mg arasında LET değeri sağlar. İyonun LET değerinin hafifletilmesinin diğer bir yolu, alüminyum gibi ince film emicilerinin kullanımını içerir. Fisyon parçaları ölçülen LET eşliğinde belirsizlik ile sonuçlanan bir dizi LET değerine sahiptir. Ölçülen kesiti çözerek hızlandırıcı iyonları ile elde edilen verilerle uyumlu bir eğri edilmiştir. Cf-252 verisini LET spektrumuna karşılık gelen tesir kesirini düzelttikten sonra metal ve pasifleştirme camı üst tabakalarının LET spektrumundaki etkilerini göz önüne alarak ağır iyon verileri ile Cf-252 verileri arasında mükemmel bir uyum elde edilmiştir. Fisyon parçaları ve hızlandırıcı iyonları ile ölçülen kesit eğrilerini arasındaki iyi uyum devrenin bağlantı derinliklerinin ayrıntılı bilgisine dayanmaktadır. Bu bilgi olmadan Cf-252 tek başına entegre devrelerin Tekil Olay Etkileri Testi'nin davranışını doğru bir şekilde karakterize etmek için kullanılmaz. Bununla birlikte bu teknik farklı devreler veya partilerden üretilen özdeş devreler için tesir kesitlerinin karşılaştırıldığı Tekil Olay Etkileri Testi ölçümleri için kullanılabilir.

Bu çalışmanın sonucunu şöyle özetleyebiliriz;

Cf-252, yapısı iyi bilinen cihazlarda 22 MeV cm²/mg dan daha büyük eşik LET değerlerinde, ince üst katmanlı ve sığ bağlantı noktaları olan cihazların SEU testlerini ölçmek için kullanılabilir. Fakat kalın dielektrik

tabakalar ve hassas hacmi yüzeyin çok altında olan cihazlar test edilirken çok dikkatli olunmalıdır. Sonuç olarak, hem Cf-252 hem de Pulsu Lazer tekniklerinin her ikisinde hata oranlarını hesaplayabilmek için LET' in fonksiyonu olarak tesir kesitinin tam değerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu ölçüm her iki teknikte tam olarak yapılmadığından bu tekniklerin hiçbiri (Cf-252 ve Lazer) Tekil Olay Etkileri Testi için iyon hızlandırıcılarının yerini alamayacağı bu çalışmada belirtilmiştir (Buchner vd., 1996).

Makris vd. tarafından ESA/ESTEC Cf-252 radyasyon tesislerinde yürütülmüş ve raporlanmış bir çalışmada, 80S32 Mikro Denetleyici cihazını test etmek için gerçekleştirilen Single Event Upset (SEU) testinin radyasyon sonuçları ve bilgileri verilmektedir. Bu deneyin amacı, 80S32 cihazının radyasyon dayanıklılığının ilk değerlendirmesini yapmaktır. Test edilecek cihaz dekapüle edilmiştir. Test koşulları (vakum, radyasyon kaynağı) ve DUT teknolojisi (0.5µm) göz önüne alındığında, tespit edilen hataların sayısı ve tipi mantıksal olarak beklenen değerlerdedir. Özetle, sonuçlar 80S32'nin çok iyi bir radyasyon dayanıklılığına işaret etmektedir. Bu testler, DUT bileşeninin doğru çalışıp çalışmadığını ve test kartı ve genel kurulumun işlevselliğini doğrulamıştır. Temel aktivitedeki çeşitli belirsizliklerden dolayı (radyasyon kaynağı üzerindeki tabakanın kalınlığı, DUT a uzaklığı ve nüfuz derinliği vb.), ESA-ESTEC, CASE tesisinde elde edilen sonuçlara % 42' lik bir belirsizlik uygulanmasını önermektedir. Bu durumda, kaynak etkinliğinin % 42' den daha iyi olduğunu bilmeyi bekleyemeyiz demektir. Her durumda, burada elde edilen sonuçlar önemli bir belirsizlik sergilediğinden CASE tesisi, ağır iyon testleri için bir ön test olarak düşünülebilir (Makris vd., 2009).

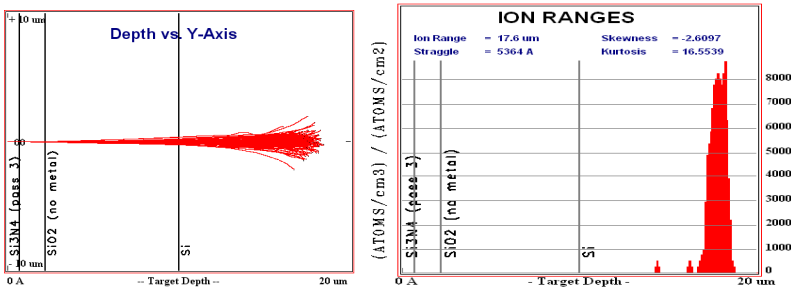
SRON-Hollanda Uzay Araştırmaları Enstitüsü' de yürütülen bir diğer çalışmada SHAMROC DAC (SEIS High Accuracy Mixed-Signal Read-out Chip Digital to Analog Converter) çiplerinin Tekil Olay Etkisi Testlerini gerçekleştirmek için Cf-252 kullanılmıştır. CASE, Californium-252 Tekil Olay Etkileri Değerlendirme anlamına gelir. Bir hızlandırıcı kullanarak testi yapmadan önce, test kurulumunun Tekil Olay Etkileri Testi' ni algılayıp algılayamadığını doğrulamak için bir CASE gereklidir. CASE kurulumu, Tekil Olay Etkileri Testi için çip hassasiyetini kabaca tahmin amacı ile kurulan ve kullanılan bir araçtır. Test, SHAMROC DAC cihazının radyasyon hassasiyetinin tahminini öğrenmek için gerçekleştirilmiştir. Kaynak, kaynak ve DUT arasında 2 cm uzaklıkta 2500 parçacık/cm²/dakika ile 3500 parçacık/cm²/dakika arasında bir akışa sahiptir. Fiyon ürünlerinin ortalama Doğrusal Enerji Transfer (LET) değeri 43 MeV/mg/cm² 'dir. Cf-252' nin silikon içerisine ortalama penetrasyon derinliği 14,2 µm' dir, SHAMROC DAC cihazının aktif tabakası kalıp yüzeyinin 10,9 µm altındadır. Bir çip içerisindeki metal katmanları, zırhlama görevi görmektedir. Bu çalışmada, metal katmanların zırhlama gücü hakkında fikir edinmek için bazı

simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu konuda SRIM simülasyon programı kullanarak detaylı penetrasyon çalışması yapılmıştır. Test edilen çipin katmanları Tablo 7’ de verilmektedir. Tekil Olay Etkileri Test’leri için Cf-252 ‘nin spontan fisyon ürünleri kullanılır. Simülasyon programında silikona nüfuz eden iyon Rb (Rubidyum) kullanılmış ve elementin atom ağırlığı, 80 MeV’ lik bir enerji seviyesinde 100 Amu ‘ya ayarlanmıştır. Çipin hassas tabakası, Silikon Oksit katmanının hemen yanında silikon katmanında bulunur. Simülasyonda çipin hassas katmanı için metal koruma olmadan penetrasyon derinliği Tablo 7’ deki bilgiler kullanılarak hesaplanmıştır (Wolfs vd., 2009).

Tablo 7: Metal Katmanı Olmadan Çip Parametreleri (Wolfs vd., 2009:24).

Katman Adı	Kalınlık μm	Yoğunluk g/cm^3	Sembol	Ad	Atom No
Si ₃ N ₄ (3 kat)	0,7	1,6	Si	Silikon	14
			N	Azot	7
SiO ₂ (2+1 Kat)	1,5	1,7	Si	Silikon	14
			O	Oksijen	8
SiO ₂ (Metal katman yok)	7,8	1,7	Si	Silikon	14
			O	Oksijen	8
Hassas Hacim					
Si	>10	2,3	Si	Silikon	14

Simülasyon sonucu Şekil 13’ de görülebilir. Sağdaki Şekil, silisyum içinde Rb İyonunun penetrasyon derinliğini gösterir. Çipin hassas tabakası, Silikon Oksit katmanının hemen yanında silikon katmanında bulunur. Soldaki Şekil, simülasyonun bir histogramı gösterilmektedir. Bu simülasyon çalışmalarının sonucunda ortalama penetrasyon derinliğinin yaklaşık 17,6 μm olduğu belirlenmiştir. Simülasyon programından elde edilmiş derinlik, belgelerde listelenen derinliğin biraz üzerindedir. Bu durum seçilen simülasyon ayarlarının gerçeğinden biraz farklı olması ile açıklanabilir.

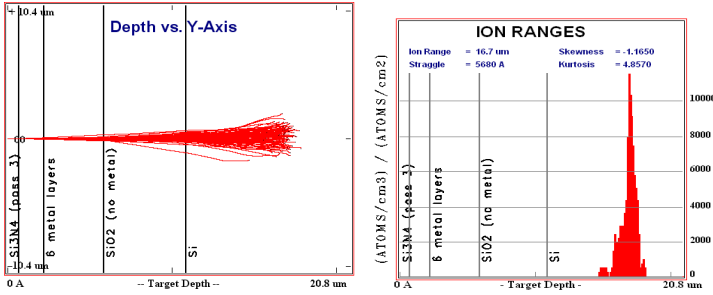


Şekil 13: Metalizasyon Katmanları Olmaksızın Rb (100 Amu, 80 Mev) İle Penetrasyon Simülasyonu (Wolfs vd., 2009:24).

Çipin alüminyumdan yapılmış birkaç metal tabakası vardır. SHAM-ROC DAC cihazının içerisindeki maksimum kat sayısı 6' dır. Hassas katmanın aynı bölümde 6 kat tarafından engellenme şansı çok düşüktür. Bununla birlikte, bu katmanların en kötü durumda bloke edici gücünü hissetmek için, simülasyon bu 6 katmana eşit bir metal kalınlık ile tasarlanmıştır. Bu metal katmanlardan dolayı SiO_2 tabakasının kalınlığı azalır.

Tablo 8: SiO_2 'nin Üstünde 6 Alüminyum Metalizasyon Katmanı Alınarak Simülasyona Yerleştirilen Çip Parametreleri (Wolfs vd., 2009:25).

Katman Adı	Kalınlık μm	Yoğunluk g/cm^3	Sembol	Ad	Atom No
Si3N4 (3 kat)	0,7	1,6	Si	Silikon	14
			N	Azot	7
SiO2 (2+1 Kat)	1,5	1,7	Si	Silikon	14
			O	Oksijen	8
6 Metal Katman	3,66	2,7	Al	Alüminyum	13
SiO2 (Metal katman yok)	5	1,7	Si	Silikon	14
			O	Oksijen	8
Hassas Hacim					
Si	>10	2,3	Si	Silikon	14



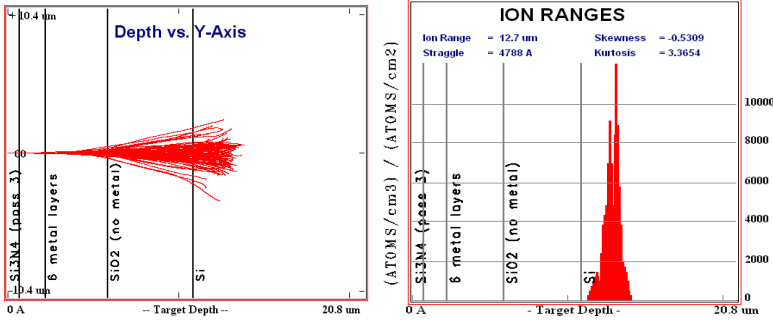
Şekil 14: Alüminyum Metalizasyon Katmanlarına Sahip Rb (100 Amu, 80 Mev) İle Penetrasyon Simülasyonu (Wolfs vd., 2009:25).

Şekil 14' de hassas hacmin üzerinde altı kat alüminyum metal katman alınarak çalıştırılan simülasyonun sonuçları görülmektedir. Bu sonuçların alüminyum tabakasız simülasyondan elde edilen sonuçlardan çok farklı olmadığı görülmüştür. Böylece simülasyon, metal katmanların birer Tekil Olay Etkileri teslerinde radyasyon zırhı gibi davrandığı teorisini ispatlamamaktadır. Bazı çip üretim proseslerinde (örneğin ≤ 90 nm), alüminyum yerine bakır katmanlar kullanılmaktadır. Yapılan diğer simülasyon çalışmasında metal katman bakır olarak alınıp Tablo 9'daki parametreler kullanılmıştır.

Tablo 9: SiO_2 'nin Üstünde 6 Bakır Metalizasyon Katmanı Alınarak Simülasyona Yerleştirilen Çip Parametreleri (Wolfs vd., 2009:26).

Katman Adı	Kalınlık μm	Yoğunluk g/cm^3	Sembol	Ad	Atom No
Si_3N_4 (3 Kat)	0,7	1,6	Si	Silikon	14
			N	Azot	7
SiO_2 (2+1 Kat)	1,5	1,7	Si	Silikon	14
			O	Oksijen	8
6 Metal Katman	3,6	8,9	Cu	Bakır	29
SiO_2 (Metal katman yok)	5	1,7	Si	Silikon	14
			O	Oksijen	8
Hassas Hacim					
Si	>10	2,3	Si	Silikon	14

Metal katmanı aynı zamanda bakırdan üretilmiş gibi simüle edildiğinde ise bakır tabakanın zırhlama özelliği yaptığı tespit edilmiştir. Bakır ve alüminyum arasındaki açık fark, yoğunluğudur. Bakır için yoğunluk $8,92 g/cm^3$, alüminyum ise sadece $2,7 g/cm^3$ tür. Simülasyonda penetrasyon derinliği ($12,7 \mu m$) hâlâ hassas katmandan ($10,8 \mu m$) biraz daha yüksek olmasına rağmen, bakır katmanlı devrelerin Tekil Olay Etkisi testleri için CASE yöntemini kullanırken önemli bir problem haline gelecektir. Bu simülasyon, metal katmanların bazı durumlarda, Tekil Olay Etkileri Testi (CASE) için bir zırhlama görevi görebileceğini kanıtlamaktadır.

**Şekil 15:** Bakır Metalizasyon Tabakaları İle Rb ($100 Amu$, $80 Mev$) İle Penetrasyon Simülasyonu (Wolfs vd., 2009:26)

Metal katmanlarının etkisi, CASE ortamında radyasyon parçacıklarının enerjisi sınırlı olduğu için endişe kaynağı olmaktadır. Bir hızlandırıcı içerisindeki enerji seviyeleri daha yüksektir ve zırhlama etkisi daha yüksek penetrasyon derinliği yüzünden daha az önemlidir. Bakır katmanların kullanılması çipin gerçek hassasiyetini arttırmaz, ancak yeryüzündeki test tesislerinde duyarlılığı belirleme yeteneğini zorlaştırır (Wolfs vd., 2009:26).

Omerbegovi vd. (1999:4-5) tarafından Avrupa Uzay ve Teknoloji Merkezi (ESTEC) Noordwijk Tekil Olay Etkisi Test Tesisi'nde yürütülen bir çalışmada, aynı partiden üç cihaz (Crystal, Ltd.'nin ADC CS 5508 20 BIT A/D dönüştürücüsü) test edilmiştir. Test edilen cihaz (DUT), 1 ile 40 dakika süre ile test edilmiştir. Test düzeneği, DUT yüzeyinde 42-45 MeVcm²/mg aralığında Linear Energy Transfer (LET) ile iyon sağlamak için uygun bir Californium-252 test tesisi kullanmıştır. Parçacık akışı, kaynaktan 1 cm çalışma mesafesinde $3,4 \times 10^3$ parçacık/cm²/dakika dır. Her bir çalışma için, parçacık akışı hesaplanmıştır. Kaynak 1,78 µCi aktiviteye sahiptir ve bir vakum odasında kullanılır. ESA-ESTEC Tesisinde ki Cf-252 kaynağı, ön Tekil Olay Etkileri Testi ve test ekipmanının geçerliliğinin araştırılması için kullanılır. Hem geçici hem de kalıcı hatalar, ADC' nin yeniden kalibre edilmesini başlatarak veya cihazı sıfırlayarak (güç kapalı/açık) çözülebilir. Ağır iyon deneyi sırasında gözlemlenen bir başka ilginç etki, SEL (Single Event Latchup) etkileri ve SEFI (Single Event Functional Interrupt) etkileridir. Bu test, cihazların kalıcı ve geçici hatalara karşı yüksek hassasiyete sahip olduklarını ve aynı zamanda kilitlenme etkilerinin oluşma olasılığının yüksek olduğunu göstermiştir. Cf-252 testleri, test stratejisini doğrulamak, optimize etmek ve CS 5508 cihazının Tekil Olay Etkileri Testi'nin davranışını anlamak için ön test niteliği taşımaktadır (Omerbegovi vd., 1999:7).

Gaisler Resarch (2014) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, LEON2-FT (LEON2-FT işlemci, LEON2 işlemcisinin SEU toleranslı sürümüdür) adlı cihaz, ESTEC Cf-252, SEU Test ekipmanı kullanılarak SEU Testine tabi tutulmuştur. Birden fazla olay da dahil olmak üzere test sırasında çok sayıda SEU olayı kaydedilmiştir. Bununla birlikte, cihazın SEL etkilerine arşı duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, testin gerçekleştirilmesini sağlamak için manüel müdahale olmaksızın, kurulumda bir Latchup etkilerini algılayıp kilitlenme durumuna karşı otomatik kurtarma devresinin olması ve tek bir teste çok sayıda cihazın test edilmesi, davranış farklılıklarını karşılaştırmak için ilginç olabileceği önerilerinde bulunulmuştur (Gaisler Research, 2014).

Hjorth ve Krus (2009) tarafından 2009 yılında ESTEC Cf-252 Radyasyon Tesisi kullanılarak HIFAS çipinin SEU testleri yapılmıştır. ESA, radyasyonu sağlamak için Cf-252 kaynağı kullanan CASE adlı bir radyasyon test tesisine sahiptir. Cf-252 çipin bir uzay ortamında bulacağı radyasyonun temsilcisini temsil etmese de, cihazın SEU hassasiyetinin büyüklüğüne göre bir rakam verir.

Cf-252 ile yapılan bu testlerin amacı şöyledir:

- Cihazın SEU radyasyon hassasiyetine ilişkin bir figür elde etmek,
- Bir SEU' nun cihaz üzerindeki etkisinin tahminlerle uyduğuunun

doğrulanması,

- Test donanımı ve yazılımının değerlendirilmesi,

Testler, Cf-252 radyasyonu altında SEU etkilerinin HIFAS çipinde üretildiğini gösteriyor. Testler sırasında hiçbir SEL (Single Event Latch-Up) etkisi tespit edilmemiştir. Buna ek olarak, radyasyonun penetrasyon derinliği ve çip üzerindeki metalizasyon ve pasifleşmenin birçok katmanı arasındaki fark nedeniyle, Cf-252'nin uzaydaki ağır iyonların etkisini yapması zor olacağı belirtilmiştir (Hjorth ve Krus, 2009).

Am-241 ile Yapılan Çalışmalar

Luiz vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, Xilinx Zynq-7010 On-Chip Sisteminde alfa parçacıkları tarafından tetiklenen tekil olay etkilerinin ölçümü çalışmaları Am-241 ile JESD89A (Measurement and Reporting of Alpha Particle and Terrestrial Cosmic Ray-Induced Soft Errors in Semiconductor Devices) standardına göre yapılmıştır.

Bu testler için kullanılan Am-241, paslanmaz çelik bir diske yerleştirilmiştir. Genel çapı 15 mm ve aktif yüzey çapı 10 mm'dir. Am-241'den salınan alfa parçacıklarının enerjileri 5,388 ve 5,486 MeV, ancak en yoğun alfa parçacık enerjisi 5,486 MeV ve akısı $332,48 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'dir. Zynq-7010 SoC çipinin yüzeyindeki plastik paketi, Tekil Olay Etkileri Testi deneyi gerçekleştirilmeden önce çıkarılmıştır. Önce chip normal çalıştırılarak, çalışıp çalışmadığı kontrol edilmiş daha sonra Am-241 kaynağı chip üzerine yerleştirilmiş ve en az 100 hata tespit edildikten veya en azından 1×10^7 parçacık/cm² akıcılık elde edildikten sonra test sonlandırılmıştır. Çalışmanın sonucunda dört farklı tür hata algılanmıştır. Bunlar;

- Veri hataları: SEU nedeniyle verilerin değişmesi,
- SEFI: program dizisinin bozulduğu, ancak yumuşak sıfırlama ile kurtarılan hatalar,
- Zaman aşımı (gecikme): Test programlarının belli bir sürede beklenen sonuçları üretmediği hatalar,
- Sistem durması: Program sırası durdurulduğu ve sistemin, bir güç döngüsü olmadığı sürece yumuşak sıfırlamaya tepki vermedi hatalardır.

Sonuçlar, veri hatası ve SEFI'nin ana hata tipleri olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Xilinx Zynq-7010 SoC'nin SEL'e aşırı toleranslı olduğu tespit edilmiştir.

Du vd. (Du vd., 2017) tarafından 2017 tarihinde yapılan bir çalışmada, ticari hafızalarda yumuşak hataların oranını (SER) test etmek için kullanılan yöntem sunulmaktadır. Yumuşak hatalar, aynı zamanda SEU (Tekli Olay Upsets), MBU (Çoklu Bit Upsets), SEFI (Tek Olaylı Fonksiyonel

Kesmeler), SET (Tek Olay Geçişi) ve SEL (Tekli Olay Geçişi) içeren Tekil Olay Etkileri Testi' nin bir alt kümesidir. Bir izotop alfa parçacık kaynağı ve ticari EEPROM bellekleri kullanılarak elde edilen ilk sonuçlar bu çalışmada verilmektedir. Bu çalışmada SER kararlılığı için hızlandırılmış yöntem benimsenmiştir. Sonuçlar keşif amaçlı olarak kabul edilmiştir. Testlerde kullanılan yöntem kısmen JEDS89A standardına dayanmaktadır (JESD89A, 2006).

Alfa parçacıkları ile SER'yi test etmek için bir izotopik, 15,4 Bq aktiviteye sahip bir Am-241 kaynağı kullanılmıştır. Alfa parçacıklarının düşük aralığı nedeniyle manuel zımpara kağıdı kullanılarak hafıza çıkartılmıştır. Bu işlem bileşenin aktif hacmine zarar vermemek için çok dikkatli yapılmıştır. Alfa kaynağı, dört bellek anıtı üzerinde 234 saat boyunca tutulmuştur.

Sonuçlar, SER hasarlarıyla ilgili elektronik bileşenleri karakterize etmek için yeterli olmamasına rağmen, elektronik bileşenlerin proseslerini niteliklendirmek için uygulanabileceğini göstermiştir ve sonuçlar kesin olmasa da literatürle uyumludur. Gelecekte, bu yöntem geliştirilecek ve nötron kaynakları ile yeni testler uygulanacaktır. Deneyin hesaplamalı simülasyonundan sonra sonuçların iyileştirilmesi beklenmektedir (Du vd., 2017:290).

Sonuç

Tekil Olay Etkileri Testi için ESA-ESCC 25100 Standardı 20 ile 200 MeV arasında 5 noktada test yapılmasını önermektedir. Yüksek LET değerine sahip (yaklaşık 50MeV/mg/cm²) değerine sahip testlerin güvenilirliği yüksek olması, ekipmanlar için zorunludur. Yeni bir hızlandırıcı kurmadan, bu testleri yapabilmeyen yolu alternatif kaynaklar kullanmaktır. Yapılan literatür taramasından, ESA-ESCC 25100 standardında Tekil Olay Etkileri Testleri için alternatif kaynaklar önerilmekte ancak alternatif kaynakların, Tekil Olay Etkileri testinin gerekliliklerini karşılamadığını ve Tekil Olay Etkileri yeterliliği için ağır iyonlar veya protonlar yerine kullanılamayacağı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, test donanımını ve yazılımını doğrulamak veya kontrol etmek için ağır iyon veya proton tekil olay etkileri testlerinden önce veya sonra kullanılabilirlerken, ilaveten belirli arıza durumlarını cihaz işlemlerinin bir fonksiyonu olarak araştırmak için kullanılabilirler. Fakat, hassas hacmi ince üst katmanlı ve sığ bağlantı noktaları olan cihazların SEU (Single Event Upset) testlerini ölçmek için kullanılabilir. Günümüzde çiplerin giderek incelenmesi Cf-252 testlerinde penetrasyon derinliği sorunu kısmen çözebilecektir. Ayrıca, literatür taramasında Am-241'den yayılan alfa parçacıkları ile ESA/JEDEC JESD89 standardı dikkate alınarak, karasal radyasyonun elektroniklere etkisinin araştırılmasında daha etkin kullanıldığı anlaşılmıştır.

REFERANSLAR

- Barth, J. L., LaBel, K. A., Poivey, C. (2004). Radiation assurance for the space environment. In 2004 International Conference on Integrated Circuit Design and Technology (IEEE Cat. No. 04EX866) (pp. 323-333). IEEE.
- Becchetti, F. D., Febbraro, M., Torres-Isea, R., Ojaruega, M., Baum, L. (2013). ^{252}Cf fission-neutron spectrum using a simplified time-of-flight setup: An advanced teaching laboratory experiment. *American Journal of Physics*, 81(2), 112-119.
- Du, X., He, C., Liu, S., Zhang, Y., Li, Y., Yang, W. (2017). Measurement of single event effects induced by alpha particles in the Xilinx Zynq-7010 System-on-Chip. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 54(3), 287-292.
- ESA-ESCC No.25100 Single Event Effects Test Method and Guidelines. Issue 2. October 2014. https://sirad.pd.infn.it/~candelor/Parte2A/Parte2A_06_NormeESA_25100_2014October.pdf
- ESA-European Space Components Information Exchange System, CASE System Californium Assessment for Single Event Effects <https://escies.org/web-document/showArticle?id=252&groupid=6>
- Gaisler Research/Pender Electronic Design. LEON-PCI-UMC Development Board Test Report. Rev. 1.2, 2004-04-02. <https://www.gaisler.com/doc/leon-2ft-umc018.pdf>
- Gombosi, T. I. (1998). *Physics of the space environment*. Cambridge-U.K: Cambridge University Press.
- Hjorth, M., Krus M. 2009. Californium Radiation Test Report Document Number: ACNTN6B. Date: 2009-12-09. Revision: B
- JESD89A. Measurement and reporting of alpha particle and terrestrial cosmic ray-induced soft errors in semiconductor devices. Arlington (TX): JEDEC; 2006. <https://www.jedec.org/standards-documents/docs/jesd-89a>
- Kalicki, A. (2006). The measuring station for research of effects of increased radiation on CCD and CMOS sensors (Radiation Effects on Photonics Devices) (Doctoral dissertation, Deutsches Elektronen-Synchrotron).
- Knauer, J. B., Alexander, C. W., Bigelow, J. E. (1990). *Cf-252: properties, production, source fabrication, and procurement* (No. CONF-9005205-1). Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States).
- Leo, W. R. (2012). *Techniques for nuclear and particle physics experiments: a how-to approach*. New York: Springer Science & Business Media.
- Luiz H. Claro, A. A. Silva, José A. Santos, Suzy F. L. Nogueira, Ary G. Barrios Jr. Evaluation of Soft Errors Rate in A Commercial Memory Eeprom. 2011 International Nuclear Atlantic Conference-INAC 2011. Belo Horizonte, MG, Brazil, October 24-28, 2011

- Makris K., Politis E., Lampaounas T. ‘Validation of 80S32 Microcontroller’ SEU Radiation Test Report Rev. 1.3. 29 April 2009 <http://microelectronics.esa.int/components/80S32-RadiationReport-v1.3.pdf>
- Omerbegovi, A., Aydogar, Ö., Schwingenshuh K., (1999). Cf-252 Single Event Effect Test Report of 20-Bit Cs5508 A/D Converter. ESA_QCA0087S_C. Space Research Institute, Austrian Academy of Science, Inffeldgasse 12, A-8010 Graz, Austria.
- Roche, P., Gasiot, G., Uznanski, S., Daveau, J. M., Torras-Flaquer, J., Clerc, S., Harboe-Sørensen, R. (2009). A commercial 65nm CMOS technology for space applications: Heavy ion, proton and gamma test results and modeling. In *2009 European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems* (pp. 456-464). IEEE.
- Solanki, S. K., del Toro Iniesta, J. C., Woch, J., Gandorfer, A., Hirzberger, J., Alvarez-Herrero, A., Zouganelis, I. (2012). The polarimetric and helioseismic imager on solar orbiter. *Astronomy & Astrophysics*, 642, A11.
- Wolfs, R., Laubert, P., Stellinga, A., Nieland, J.H. Test results for CASE study on the SHAMROC DAC (Californium-252 Assessment of Single-event Effects), TEST REPORT, Doc. no.: SRON-SHAMROC-TR-2009-006.
- Zinchenko, V., Derevjanko, Y. B., Lipsky, A. K. (2004). Use of a Cf-252 Isotope Facility to Unfold SEU Cross Section in Integrated Circuits.



BÖLÜM 3

ATOMİK ABSORPSİYON SPEKTROSKOPİSİ (AAS): TEMEL BİLGİLER VE UYGULAMA ALANLARI

İdris YOLBAŞ¹

¹ Dr., Siirt Türk Telekom Fen Lisesi, idrisyolbas@gmail.com, ORCID
Code: 0000-0001-7529-3395

1. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi

Atomik spektroskopisi gaz halindeki atomların veya tek atomlu iyonların emisyon, absorpsiyon, floresans özellikleriyle olan ilişkisini inceleyen spektroskopisi dalına denir. Güneş ışınlarının spektrum yapısını inceleyen Frounhofer (1814) ve Wollaston (1802) çok sayıda siyah çizgi olduğunu farkına vararak atomik spektroskopiyi ilk defa tespit etmişler. İlerleyen yıllarda ise Bunsen ve Kirschoff (1860) bu siyah çizgilerin güneş ışınlarının belli dalga boylarında absorplamasından dolayı meydana geldiğini keşfetmişler. Kirschoff yaptığı çalışmalarda aynı elementlerin absorpsiyon ve emisyon yaptığı dalga boylarının da birbirlerine eşit olduğunu ispatlamıştır.^{1,2}

Atomik absorpsiyon spektroskopisi 1955 yılından sonra geliştirilmiştir. Atomik absorpsiyon spektroskopisinin çalışma prensibi ışın kaynağından çıkan elektromanyetik ışınların gaz haline getirilmiş atomlar tarafından absorplanması sonucu ışın şiddetindeki azalmanın ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu ışınlar çoğunlukla görünür alan ve UV ışınlarıdır. AAS ile analizi yapılacak elementin önce nötral hale getirilmesi sonrasında ise gaz haline getirilerek ışın kaynağından gönderilen ışınların geçeceği yola dağıtılması gerekmektedir. Bu işlem elementi içeren çözelti numunesinin sis halinde yüksek bir sıcaklık oluşturulmuş alev içine püskürtülmesiyle ya da elementi bileşik halinde içeren çözelti numunesinin karbon numune kabı içerisine konarak elektrik arkı yardımıyla akkor haline getirilmesiyle meydana getirilir. AAS cihazını hassasiyeti litrede onda bir milligram numune konsantrasyonları için yaklaşık binde bir hata hassasiyetindedir.³

Atomik absorpsiyon spektroskopisi ile gerçekleştirilen ölçümler analit numunesinin derişimi ile ışık kaynağı tarafından üretilen ışının absorplanma miktarının orantılamasıyla matematiksel olarak analiz edilmektedir. Nicel analizler Lambert-Beer yasasına dayanıp bu yöntemle analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Veriler yüzde geçirgenlik ya da absorbans miktarı üzerinden bağıl olarak standartlara göre değerlendirilmektedir.⁴

1.1. Atomik Absorpsiyon Spektrometre Cihazının Bileşenleri

Atomik absorpsiyon spektrofotometresi; analiz edilecek elementin absorplayacağı ışığı yayan ışık kaynağı, örnek çözeltisinin atomik buhar haline getirildiği atomlaştırıcı, çalışılan dalga boyunu diğer dalga boylarından ayırıştırılmasına yarayan monokromatör, ışık şiddetinin ölçüldüğü dedektör, sinyal işleyicisi ve gösterge şeklindeki bileşenlerden meydana gelmektedir.⁵

1.1.1. Işın Kaynağı

Atomik absorpsiyon spektrometresinde ışın kaynağı olarak oyuk katot

lambası, elektrotsuz boşalım lambaları, çok elementli lambalar olmak üzere üç farklı lamba kullanılmaktadır.⁶

1.1.1.1. Oyuk Katot Lambaları

Atomik absorpsiyon spektrofotometresinde ışın kaynağı olarak en çok kullanılan lambalardan bir tanesi oyuk katot lambasıdır. Bu lambalar 1916 yılında Paschen tarafından tasarlanıp kullanılmıştır. Daha sonra ışık kaynağı olarak kullanılan bu lambalar Walsh ve arkadaşları tarafından tasarım ve kullanımı geliştirilip basitleştirilmiştir.⁷

Bu lambalar bir tarafı silindirik analizi yapılacak yada analizi yapılacak metal ile kaplanmış başka bir metalden oluşmuş katot ve bir tarafında tungstenden oluşan anot olan cam tüp içerisinde 1-5 torr basınç aralığında yanıcı olmayan neon ve argon gibi soygazlarla doldurulmuş bir mekanizmadan oluşmaktadır. Bu elektrotlar arasına yaklaşık 300 V'lik potansiyel elektrik akımı uygulanınca soygazlardan meydana gelen inert gazlar iyonlaşır. İyonlar ve elektronlar elektrotlara geçerken 5-15 mA lik bir akım oluşur. Eğer elektrotlar arasındaki potansiyel fark yeterliyse katyonlar yüksek hızlarda katota çarparak katot yüzeyinde analizi istenen elementten atomlardan bazılarını kopararak gaz haline geçirir. Bu gaz haline geçen uyarılmış atomlar temel enerji düzeylerine dönerken kendilerine has ayırt edici bir ışın yayar ve katot yüzeyinde veya cam tüpün kenarlarında birikirler. Bu analizlerde uygulanan gerilim ve akım, inert gazın cinsi ve basıncı, emisyon hattı, katottaki elementin cinsi ve saflığı genişliği çok önemli olup analiz sonuçlarını direkt etkilemektedirler.⁸

1.1.1.2. Elektrotsuz Boşalım Lambaları

Atomik absorpsiyon spektrofotometresinde elektrotsuz boşalım lambalarında ışık kaynağı olarak kullanılmaktadır. Işık kaynağı olarak kullanılan elektrotsuz boşalım lambalarının içerisinde içinde soygaz olan inert gazlar ve analizi yapılacak metal atomları ya da metal tozları bulunur. Bu lambalarda elektrot bulunmaz, atomların uyarılması mikrodalga ışınlar veya şiddetli radyo frekansları kullanılarak yapılır. Mikrodalga ışınlar veya şiddetli radyo frekansları öncelikle inert gaz atomları iyonlaştırır. Bu iyonlaşmış inert gaz atomları spektrumu istenen analizi yapılacak atomlara çarpıp uyarılır. Elektrotsuz boşalım lambaları özellikle kolay buhar haline geçen metallerin analizi için kullanılır. Bu uçucu element olan As, Se, Sb, Pb, Te ve Cd için kullanılır. Elektrotsuz boşalım lambalarının performansı oyuk katot lambalar kadar iyi değildir.⁸

1.1.1.3. Çok Elementli Lambalar

Oyuk katot lambalarında atomik absorpsiyon spektroskopisi ile analizi yapılacak her element için ayrı bir lamba kullanılması zorunluluğu çok

elementin analizini tek lambayla sağlayacak çok elementli olan oyuk katot lambalarının geliştirilmesini sağlamıştır. Bu çok elementli olan oyuk katot lambalarında analizi yapılacak elementlerin katot kısmı metalik bileşiklerden veya toz haline getirilmiş metal karışımlardan yapılıdır. Çok elementli olan oyuk katot lambalarında görülen en büyük sorun analizi istenen bütün elementlerin kullanışlı bir şekilde bu lambalarda birleştirilememesi ve lambalardaki analizi yapılabilecek element sayısı 3'ü geçtiğinde bu lambaların emisyon şiddetlerinin azalmasına sebep olmakta buda analiz sonuçlarında hatalara neden olmaktadır.⁹

1.1.2. Atomlaştırıcılar

Atomlaştırıcı örnekte bulunan analizi yapılacak elementlerden oluşan molekül ve iyonların temel seviyedeki atom buharının oluşturulduğu, absorpsiyon hücresi olarak adlandırılan kısımdır. Atomizasyon, analizi yapılacak örnek çözeltinin alev içine püskürtülmesiyle elementin atom buharının oluşturulmasına denir. Atomlaştırıcı bölümünün en önemli özelliği analizi yapılacak numunedeki iyon ve moleküllerin buharlaştırma yoluyla temel haldeki element atomlarının oluşumunu sağlamaktır. Analizin doğruluk derecesi elementin atomlaşma derecesi ile orantılılık göstermektedir. Atomlaştırıcı çeşitleri alevli ve alevsiz atomlaştırıcılar olmak üzere iki farklı gruba ayrılmaktadırlar.³

1.1.2.1. Alevli Atomlaştırıcılar

Alevli atomlaştırıcılarda analitin bulunduğu örnek, aleve havalı bir sisleştirici yardımı ile püskürtülür. Çözelti aleve püskürtüldüğü zaman ilk olarak çözücü buharlaşır. Buharlaşma hızı, damlacıkların büyüklüğüne ve çözücü türüne bağlıdır. Buharlaşma sonucu oluşan katı parçacıklar, alev sıcaklığının etkisi ile çeşitli değişikliklere uğrarlar. Numune içerisindeki organik maddeler yanarken, inorganik maddeler alev içerisindeki gazlarla ve birbirleriyle reksiyona girerler.¹⁰

1.1.2.1.1. Türbülent Yakıcılar

Türbülent (ön-Karıştırmalı) yakıcılarda numune doğrudan sis olarak yakıcının merkezinden dik bir şekilde geçen kapilerden püskürtülerek verilir. Türbülent yakıcılarda ayrı ayrı taşınan yanıcı ve yakıcı gazlar yakıcı başlığın altında birleşir.¹¹

1.1.2.1.2. Laminer Yakıcılar

Laminer (Ön-karıştırmaz) yakıcılarda alevin üzerine daha fazla numune gönderilir. Gönderilen bu numunenin buharlaşması tamamlandığından az bir miktarı atomlaşır. Laminer yakıcılar nicel analizlerde daha çok kullanılmaktadır çünkü düzgün bir şekilde yanan alev sayesinde sinyal/

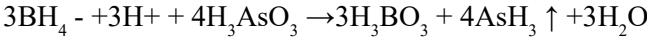
gürültü oranı daha yüksek çıkmaktadır. Laminer karıştırıcıların en büyük dezavantajı ise yanıcı ve yakıcı gazlar ön karıştırma bölmesinde yandığı zaman patlamalara sebep olabilmektedirler.¹²

1.1.2.2. Alevsiz (Elektrotermal)Atomlaştırmacılar

Atomik absorpsiyon spektrometresinde numunelerin atomlaştırılmasında en çok alevli atomlaştırmacılar kullanılmaktadır. Daha az örnekle daha hassas analizler yapma isteği ve bu konularda alevli atomlaştırmacılar çeşitli sınırlamalarla karşılaşılması elektrotermal atomlaştırmacıların kullanımını ve gelişimini artırmaktadır. Elektrotermal atomlaştırma için örnek kayıkçıkları, metal filamanlar, grafit fırınlar, karbon çubuk ve filamanlar kullanılmaktadır. Bu atomlaştırma aygıtlarından en fazla kullanılanı grafit fırınlardır. Elektrotermal atomlaştırmacılar atomlaştırma işlemi süreci sırasıyla, grafit bir tüp içerisine konan numune elektrik yardımıyla ısıtılarak mikro litre seviyesinde kurutularak yakılır. Daha sonra 2000-3000 °C sıcaklık değerlerine ulaşabilen akım birkaç yüz ampere hızlı bir şekilde yükseltilir. Numunelerin atomlaşma süreci milisaniyeler mertebesinde gerçekleşir. Atomlaşma süreci gerçekleşen taneciklerin floresans ve absorpsiyonları ısıtılmış yüzeyin üstündeki yüzeyden ölçülür. Elektrotermal atomlaştırmacıların gözlenebilme sınırları düşük miktardaki numuneler için bile oldukça yüksek olduğundan alevli atomlaştırmacılar tercih edilmektedirler.³

1.1.2.3. Hidrür oluşturma

Bizmut, antinom, kurşun, selenyum, arsenik, kalay gibi elementlerin gaz halinde atomlaştırmacıya verilmesi için hidrür oluşturma tekniği kullanılır. Bu teknik ile bu elementlerin gözlenebilme sınırlarını 10-100 kat arası azaltır. Ayrıca yüksek toksik özelliğe sahip bu elementlerin düşük derişimlerde analizi ve gazlarının atomlaştırmacıdan güvenli bir şekilde uzaklaştırılması çok önemlidir. Uçucu hidrürlerin oluşumu %1'lik sulu sodyum bor hidrürün cam kap içerisine küçük bir hacminin üzerine asitlendirilmiş numunenin sulu çözeltisinin ilavesiyle hızlı bir şekilde sağlanmaktadır. Örnek reaksiyon denklemi aşağıdaki gibidir.



İnert bir gaz yardımıyla reaksiyon sonucunda meydana gelen uçucu olan hidrür gazı atomlaştırma odasına gönderilir. Atomlaştırma odası boru şeklinde yüksek sıcaklığa dayanıklı silisten yapılmış bir odadır. Bu oda boru şeklindeki fırın sayesinde yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak içerisindeki hidrürün bozunarak nötral atomlara dönüşümü sağlanır. Bu atomların konsantrasyonları da absorpsiyon veya emisyon ölçümünden yararlanılarak bulunur.¹³

1.1.2.4. Soğuk Buhar Tekniği

Civa bileşiklerini sağlık açısından büyük zararları olduğundan civa-nın analizinin güvenli bir şekilde yapılması çok önemlidir. Civa analizinde civa oda sıcaklığında bile buharlaşabildiğinden soğuk buharlaştırma yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Civa oda sıcaklığında bile buharlaşabilen bir element olduğundan ataomlaştırma için dışarıdan ısı enerjisi vermeye gerek yoktur. Civa analizi yapılacak numune çözeltilisine kalay iyonu eklenerek metalik hale indirgenir. Daha sonra bir inert gaz yardımıyla absorpsiyon hücreğine gönderilerek 253,7 nm’de absorbands ölçümü yapılır.¹⁴

1.1.3. Kaydedici

Fotoçoğaltıcı çıkış sinyalleri ile alevdeki geçirgenlik orantılı olarak değişmektedir. Alevdeki geçirgenlik ile absorbandsa aşağıdaki eşitlik değerleriyle balı olarak değişmektedir.

$$A = \log(1/T)$$

Eşitlik sonucunda elde edilen absorbands değerleri bilgisayar, yazıcı veya kaydedici yardımıyla gözlenir.¹⁵

1.1.4. Monokromatörler

Monokromatörler rezonans hattını izole etmek ve detektörlere gidecek ışığı spektral hatlara ayırmak için kullanılır. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisinde optik ağ veya prizma olmak üzere iki farklı monokromatör kullanılmaktadır. Monokromatör olarak kullanılan prizmalar kuvars malzemelerden yapılmıştır. Burada kullanılan monokromatörlerin 0,2 nm ayırma gücüne sahip olması analiz için yeterlidir.⁸

1.1.5. Dedektörler

Atomik absorpsiyon spektrometrelerinde fotoçoğaltıcılar ışık sinyallerini elektrik sinyallerine çevirme amaçlı kullanılmaktadır. Fotoçoğaltıcılar anottan oluşan bir vakum fotoseli, oluşan gerilimi artıran emisyon katotları (dinotlar) ve ışığa duyarlı bir katot (fotokatot) bileşenlerinden meydana gelmektedir. Monokromatörden gelen bir foton ışını ışığa duyarlı olan fotokatot yüzeyine çarparak yüzeyden bir elektron koparır. Bu koparılan elektrona gerilim farkı uygulanarak birinci dinottun olduğu tarafa çekilir. Bu elektron sahip olduğu kinetik enerjiyle orantılı olarak dinottun yüzeyine çarpar. Bu elektron çarpması sonucu dinottun yüzeyinden çok sayıda yeni farklı elektron fırlar. Bu işlemler sonucunda çok sayıda oluşan elektron anoda geçerek okunabilecek seviyede akım meydana getirirler. Bu oluşan akım detektöre düşen ışık şiddetiyle doğru orantılıdır. Fotoçoğaltıcıların kullanıldığı spektral bölge, ışığı geçiren malzemenin cinsine ve katot üzerindeki ışığa duyarlı yüzeyin meydana geldiği malzemenin

cinsine bağlı olarak değişmektedir. Katot üzerinde en çok kullanılan malzemeler Sb-Cs elementlerinden meydana gelen malzemelerdir. Bilgisayar veya yazıcı yardımıyla analizi yapılacak elementin detektörlerden alınan sinyal yardımıyla absorpsiyon ölçülerek derişimi ölçülebilmektedir.¹⁶

1.1.6. Kaynak Modülasyonu

Bir atomik absorpsiyon cihazında, alev tarafından salınan ısının neden olduğu girişimi ortadan kaldırmak gerekir. Bu ışının çoğu monokromatör tarafından filtrelenir. Ancak uyarılmış atomların emisyonu ile alevde üretilen ve monokromatörün dalga boyuna karşılık gelen ışınlar dedektöre ulaşan ışının şiddetini artırır. Alevden gelen ışınların etkisini ortadan kaldırmak için kaynaktan gelen ışını modüle etmek, yani yoğunluğunu zaman zaman belli bir frekansla değiştirmek gerekir. Bu durumda dedektör iki tip sinyal ulaşır; kaynaktan modüle edilmiş ışınlar ve alevden çıkan sürekli ışınlardır. Bu sinyaller elektrik sinyallerine dönüştürülür. Modüle edilmiş DC sinyallerini AC sinyallerinden yükseltmek ve çıkarmak için basit bir yüksek geçişli RC filtresi kullanılır. Kaynağı modüle etmenin basit ve tamamen yeterli bir yolu, kaynak ile alev arasındaki ışınların yoluna yuvarlak bir metal disk veya bıçak yerleştirmektir. Işının geçmesine izin vermek için bu diske çapraz halde duran çeyrek parçacıklar kaldırılır. Bilinen sabit bir hızla dönen bu disk, istenen aralıklarla kesilen bir ışın oluşturur. Alternatif olarak, güç kaynağı, kaynak güç kaynağının belirli bir frekansta açılıp kapatılmasıyla modüle edilebilir.⁵

1.2. Atomik absorpsiyon spektrometresinde Görülen Girişimler

Girişim, atomik absorpsiyon sinyalini etkileyen veya yanlış bir sinyal ile neden olan ve numune çözeltisinin fiziksel özelliklerinden veya analiz edilen element dışındaki bir kimyasal bileşimin etkisinden kaynaklanan bir durum olarak tanımlanabilir. 5 tür girişim vardır: kimyasal, fiziksel, spektral, iyonlaştırıcı ve karasal girişim.³

1.2.1. Fiziksel Girişim

Fiziksel girişimler, kalibrasyon eğrisini oluşturmak için kullanılan standart çözeltilerin yoğunluk, viskozite gibi fiziksel özelliklerinin analit çözeltisinin fiziksel özelliklerinden farklı olmasından kaynaklanır. Önlem olarak seyreltme önerilse de analit konsantrasyonunun analizörün hassasiyetinin altına düşmesine neden olabilir. Diğer bir önlem ise triton-X gibi yüzey gerilimini azaltan solüsyonların kullanılmasıdır.³

1.2.2. Kimyasal Girişim

Kimyasal girişimler atamlaştırmalarda meydana gelen kimyasal reaksiyonların sonucunda oluşmaktadır. Özellikle alevli atomlaştırmalarda, analiz

edilen elementin oksijen ile tepkimeye girerek kararlı bileşikler oluşturması, atomik konsantrasyonun düşmesine ve dolayısıyla absorpsiyon değerinin gereğinden fazla düşmesine neden olur. Kararlı oksitler, atomlaştırma sıcaklığında ayrılmayan bileşiklerdir. Alüminyum ve demir, düşük sıcaklıktaki alevlerde kararlı Al_2O_3 ve Fe_2O_3 tipi oksitler oluşturur. Bu tür oksitler ayrıca bor, titanyum, tungsten-uranyum, vanadyum ve zirkonyumdan da oluşur. Alevdeki oksijen miktarı azaltılarak oksit oluşumu önlenir. Örneğin, ortam havasının oksijen içeriği, hava asetilen alevi yerine N_2O asetilen alevi kullanılarak azaltılabilir. Kimyasal engelleri ortadan kaldırmanın bir başka yolu da spektroskopik tamponlar maddeler kullanmaktır.¹⁷

1.2.3. İyonlaşma Girişimi

İyonlaşma girişimleri, belirlenecek elementin iyonlaşmasından kaynaklanır. İyonlaşma arttıkça, elektronlar çevrede yüksek bir konsantrasyona ulaşır. İyonlaşan ve nötr parçacıkların spektrumları tamamen farklıdır, bu nedenle iyonlaşma kötü sonuçlara yol açar. Serbest elektronlar iyonizasyondaki bu olgunun bir sonucu olduğundan, kolaylıkla iyonlaşabilen türler analit iyonlarının iyonlaşmasını engeller.⁸

İyonlaşma girişimi, kullanılan sıcaklıkta atomlaştırıcıda önemli sayıda atom iyonize olduğunda meydana gelir. Önlem olarak, atomlaştırıcının sıcaklığı düşürülebilir. Ancak bu durum atolaşmanın oluşumunda engel olabilmektedir. Standart ve numune çözeltilerine iyonlaşma enerjisi düşük başka bir element eklenerek analiz edilen metalin iyonlaşması önlenir.³

1.2.4. Spektral Girişim

Spektral girişimler; Belirli bir elementin rezonansı başka bir elementin rezonansı ile çakıştığında veya başka bir grubun önceden belirlenmiş bir spektral bandının altına düştüğünde meydana gelir.⁸

1.2.5. Zemin Girişimi

Büyük miktarlarda çözülmüş tuz içeren numuneler, bu tuz parçacıklarının etkisi altında tuttuğunda ve ışığı emdiğinde veya saçtığında zemin girişimleri meydana gelir. GFAAS daha fazla zemin girişimlerine sebep olmaktadır. Bu nedenle GFAAS ile yapılan tayinlerde zemin düzeltme daha gereklidir. Bu girişimlerden kaçınmak için; dalga boyu seçimi ve gaz oranlarına dikkat edilmelidir.⁸

1.3. Zemin Düzeltme Teknikleri

1.3.1. Çift Hat yöntemi

Çift hat yöntemi, absorbansın iki farklı dalga boyunda iki kez ölçül-

mesi prensibine dayanır. İlk ölçüm, analiz edilen elementin ışığı absorbe ettiği karakteristik dalga boyunda yapılır. Elde edilen absorpsiyon, analiz edilen elementin atomlarının absorpsiyonu ile zemin girişimine neden olan diğer türlerin absorpsiyonunun toplamına eşittir. İkinci ölçüm, analiz edilen elementin atomları absorbe etmese de birinci dalga boyuna çok yakın bir dalga boyunda yapılır. Bu dalga boyu, inert bir gaz veya başka bir elementin içi boş bir katot tüpünden bir hat olabilir. İkinci dalga boyunda ölçülen absorpsiyon, yalnızca zemin girişimine neden olan türlerin absorpsiyonudur. Bu iki ölçüm arasındaki fark, numunenin gerçek absorbans değerini verir.¹⁸

1.3.2. Sürekli Işık Kaynağı Yöntemi

Sürekli ışık kaynağı yönteminde oyuk katot lambasına ek olarak döteryum veya hidrojen lambası gibi geniş dalga boyu aralığında yayabilen bir ışık kaynağı yerleştirilir. Bu iki kaynağın yaydığı ışınlar bir ışık dağıtıcısı tarafından arka arkaya iletilir. Oyuk katot lambasının yaydığı ışık, atomlaştırıcıdaki analiz element atomları ve zemin girişimine sebep olan türler tarafından emilir. Sürekli ışık kaynağı tarafından yayılan ışığın analit atomları tarafından emilen kısmı, lamba tarafından yayılan ışığın yoğunluğuna kıyasla ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle, sürekli bir ışık kaynağı tarafından yayılan ışının yalnızca zemin girişimlerine neden olan moleküller ve diğer türler tarafından emildiği varsayılabilir. İki sinyal arasındaki fark, numunenin gerçek absorbans değerini verir.¹⁰

1.3.3. Zeman Yöntemi

Bir manyetik alan uygulandığında, spektral hatlar üç parçaya ayrılır. Bu olaya Zeeman etkisi denir. Manyetik alanın etkisiyle çizgiler π , σ ve σ bileşenlerine ayrılır. Bu ayırmada, merkezi π bileşeni, orijinal dalga boyu manyetik alanına paralel bir düzlemde hizalanır ve bileşenleri, kendisine dik bir düzlemde merkezi bileşenin her iki tarafında aynı dalga boyu aralıklarında hizalanır. Işık kaynağından gelen ışınlar, manyetik alana dik ve paralel olarak polarize edilir. Işık kaynağı tarafından yayılan π ve σ bileşenleri, dedektöre ulaşmadan önce dönen bir polarizörden geçirilerek iki enine bileşene dönüştürülür. Bu bileşenler atomlaştırıcıdan geçerken, π bileşeni analit atomları ve zemin girişim türleri tarafından emilir. Sadece zemin girişimine neden olan türler σ bileşenlerini absorbe eder. Analitin absorbans değeri, π ve σ bileşenlerinin neden olduğu absorbans farkı ölçülerek hesaplanır.¹⁹

1.3.4. Smith-Hieftje Yöntemi

Bu yöntem, yüksek ve düşük akımda çalışan oyuk katot lambasının absorpsiyonlarının ayrı ayrı kaydedilmesi prensibine dayanmaktadır.

Oyuk katot lamba yüksek akımla kullanıldığında ışın yoğunluğu artar ve emisyon spektrumu biraz genişler. Ancak yüksek akımda emisyon yoğunluğu arttıkça oyuk katot lambasındaki serbest atomların sayısı da artar ve bu serbest atomlar yayılan ışını karakteristik bir dalga boyunda soğurur. Bu olaya kendi kendine emilim denir. Böylece, hayali bir kendi kendine absorpsiyon olmayan bir emisyon spektrumunda, analitin karakteristik dalga boyunda sönme olur ve spektrum, karakteristik dalga boyunun etrafında ikiye ayrılır. Oyuk katot lambası düşük akımda çalıştırıldığında analit ve zemin absorpsiyonu, yüksek akımda çalıştırıldığında ise sadece zemin absorpsiyonu ölçülür. Analitin absorbansı, aradaki fark belirlenerek ölçülür.²⁰

1.4. Atomik Absorpsiyon Spektrometresinin Analitik Performansı

IUPAC ve ISO tavsiyelerine göre tüm analitik spektroskopik yöntemlerde (alev emisyonu, atomik absorpsiyon ve atomik floresans) kullanılan terimler aşağıda kısaca açıklanmıştır.²¹

1.4.1. Kesinlik

Aynı yöntemlerle yapılan ölçümler sırasında elde edilen değerlerin tekrarlanabilirliğine ve bu değerler arasındaki uyuma kesinlik denir. Ancak, bu rastgele ve belirsiz bir hata ölçüsüdür. Analiz yönteminin doğruluğu, basitçe ölçülen değerlerin tekrarlanmasıyla bilinebilir. Mutlak standart sapma, bağıl standart sapma, varyasyon katsayısı ve varyans kesinliğin sayısal ölçüleridir.¹⁷

1.4.2. Doğruluk

Analitik test sonuçları için doğruluk, ölçülen değerlerin doğru değere yakınlığıdır. Bu süreçteki çeşitli hatalardan dolayı doğru değer hiçbir zaman bulunamamaktadır. Ancak bu değerler doğru değere en yakın değerlerdir. Elementi belirlemek için yapılan ölçümün doğruluğu, referans maddeler veya bağımsız olarak tanımlanmış analitik yöntemlerle doğrulanır.⁷

1.4.3. Duyarlık

Bir aletin veya yöntemin duyarlılığı, analit konsantrasyonundaki küçük farklılıkları ayırt etme yeteneğini ölçer. Duyarlılığı, kalibrasyon eğrisinin eğimi ve ölçüm cihazının doğruluğu veya tekrarlanabilirliği ile sınırlıdır.⁵

1.4.4. Gözlenebilme Sınırı (LOD)

Bir maddenin tespit limiti, cihazın “tanık” numunesi için verdiği sinyalden önemli ölçüde farklı olan bir sinyale karşılık gelen konsantrasyon

olarak tanımlanabilir. Tespit Limiti (LOD): $3s/m$ formülüyle hesaplanır. Burada; m doğrusal kalibrasyon eğrisinin eğimi olduğunda, s doğrusal kalibrasyon eğrisinin en düşük konsantrasyonunda hazırlanan solüsyon serisinin absorbandsının standart sapmasıdır.²²

1.4.5. Tayin Sınırı (LOQ)

Saptama sınırında tekrar üretilebilirlik çok düşük olduğundan, gerçek belirlemeler için saptama sınırı kullanılır. Tespit sınırı (LOQ): $10s/m$ formülü kullanılarak hesaplanır. Burada; m doğrusal kalibrasyon eğrisinin eğimi olduğunda, s doğrusal kalibrasyon eğrisinin en düşük konsantrasyonunda hazırlanan solüsyon serisinin absorbandsının standart sapmasıdır. Tüm analizler için minimum bir LOQ gereklidir.²²

1.4.6. Geri Kazanma

Bileşimi bilinen bir maddenin analizinden elde edilen değerlerin başlangıç değerine oranı olarak tanımlanır. Geri kazanım verimliliği, incelenen faktörlerin değerlendirilmesinde bir yöntem optimizasyon kriteri olarak kullanılmaktadır. Geri kazanım verimliliği aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

Analizle bulunan konsantrasyon % Geri Kazanım = teorik olarak bulunan konsantrasyon x 100⁸

1.4.7. Tekrarlanabilirlik

Aynı örneklemin paralel sonuçlarının birbirine yakın olması karakteristiklerdir. Ortalamadan sapma olarak tanımlanır. Standart sapma, bağıl standart sapmayı ve bağıl standart sapmanın bir yüzdesi olarak verir.²³

1.4.8. Kalibrasyon Doğrusu ve Analitik aralık

Konsantrasyon-sinyal ilişkisi düşük konsantrasyonlarda doğrusal olmasına rağmen, yüksek konsantrasyonlarda hassasiyet azalır ve çalışma doğrusunda eğilme başlar. Sonuç olarak, kalibrasyon eğrisinin küçük bir kısmı doğrusaldır. Bu bölge aynı zamanda en hassas bölgeyi kapsadığı için önemlidir. Kalibrasyon eğrilerinin lineer aralığı, konsantrasyona karşı artan absorbanda karşı elde edilen eğriye bakılarak belirlenir.²²

1.5. AAS'nin Avantaj ve Dezavantajları

Alevli AAS, en hızlı, kullanımı en kolay ve en uygun maliyetli analitik tekniklerden biridir. Bununla birlikte, tekniğin uygulanmasında bazı sınırlamalar vardır. Örneğin, analiz edilen her eleman için farklı oyuk katot lambaları kullanmanın ana dezavantajı, artan maliyet ve ayrıca incelenen her eleman için lambaların optimum çalışma değerlerini belirlemek için

gereken süredir. Ayrıca alev metali parçalama ve atomize etme eğiliminde olduğundan, FAAS'ın yüksek algılama limiti ve düşük hassasiyeti vardır. Organik çözücülerin kullanımı sınırlıdır. Çünkü organik çözücüler alevde ışık yayarak spektral çizgiyi bulanıklaştırır. Ayrıca, yüksek viskoziteli solventleri analiz ederken FAAS ile ilgili problemler ortaya çıkar. FAAS, her bir elemanın karakteristik dalga boylarını içeren çok elemanlı lambalar gerektirir. Ayrıca FAAS, ICP-OES veya ICP-MS ile karşılaştırıldığında çok yüksek bir tespit limitine ve çok düşük bir dinamik aralığa sahiptir.⁸

1.6. AAS ile Analiz Yöntemleri

Metalik özelliklere sahip elementlerin tayini genellikle AAS ile yapılır. Bir elementin tüm atomları kendi dalga boylarında absorbe edip uyarıldığında, elektronların daha yüksek enerji seviyelerine bağlı olarak değişen yoğunluk ve dalga boyunda absorpsiyon çizgileri üretilir. Spektroskopik bir analizde araştırılacak dalga boyu seçilerek, en güçlü absorpsiyona sahip dalga boyu belirlenir. Böylece seçilen dalga boyunda düşük konsantrasyonlarda dahi absorpsiyon değerleri okunabilmektedir. AAS öğelerini ölçmek için kalibrasyon tablosu ve standart bileşim yöntemleri kullanılır.⁹

Kaynaklar

- (1) Slavin, M.; Slavin, W. Atomic Absorption Spectroscopy. (No Title) **1978**.
- (2) Aydın, A. Bazı Metallerin Tayinleri Öncesi Birlikte Çöktürme İle Zenginleştirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi* **2010**, 4–14.
- (3) Uğuz, A. Çay Olarak Da Tüketilen Bazı Bitkilerdeki Ağır Metal İçeriğinin ASS İle Tayini. Master's Thesis, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, 2017.
- (4) Fidan, N. Atış Artıklarında Et-AAS İle Antimon Analizi ve Gözlenen Analitik Problemler. PhD Thesis, Bursa Uludağ University (Turkey), 2009.
- (5) Skoog, D. A.; West, D. M.; Holler, F. J.; Crouch, S. R. *Fundamentals of Analytical Chemistry*; Cengage learning, 2013.
- (6) Yılmaz, V. Amberlite XAD-1180/TAN Şelat Yapıcı Reçinesi İle Katı Faz Ekstraksiyonu Sonrası Bazı Eser Metallerin FAAS İle Tayini, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 2006.
- (7) Gündüz, T. *Instrumental Analiz*; Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, 1988.
- (8) Altın, R. Eser Düzeydeki Bazı Metallerin Zenginleştirildikten Sonra Alevli AAS İle Tayinleri. Tez, Erciyes Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kimya Ana Bilim Dalı, Kayseri, 2013. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=o8jx4GH0Pr3wBz-8hMzyqA&no=EtyE5JV-zt0BdAbFjeMkpA> (accessed 2023-08-30).
- (9) Şener, S. Bazı Eser Metal İyonlarının Katı Faz Ekstraksiyonu İle Ayrılması/Zenginleştirilmesi ve AAS İle Tayini. Tez, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2013. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=Fzri45EiwmN515WUnOLJKg&no=i52rOW3fLCxrSG5JQ-dtnbg> (accessed 2023-08-30).
- (10) Çetin, V. Amberlite XAD-1180/Tiyosalisilik Asit Şelat Yapıcı Reçine İle Katı Faz Ekstraksiyonu Sonrası Bazı Eser Metallerin FAAS İle Tayini. Tez, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Kayseri, 2006.
- (11) Yıldız, D. Bazı Metal İyonlarının Bulutlanma Noktası Ekstraksiyonu İle Zenginleştirilerek AAS İle Tayini ve Analiz Koşullarının Deneysel Tasarım İle Optimizasyonu. Master's Thesis, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- (12) Karababa, H. Yarıklı Kuvars Tüp-Alevli AAS Kullanılarak Kurşun ve Kadmium Tayini İçin Duyarlı Analitik Yöntem Geliştirilmesi. Master's Thesis, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2011.
- (13) Kürekci, E. F. Sulardaki Arseniğin Uygun Liganlar Kullanılarak Özenleştirilmesi ve AAS Hidrür Tekniği İle Tayini. Master's Thesis, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

- (14) MEB, T. C. Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi. *Ankara 524KI0268* **2012**, 67.
- (15) Çelen, G. Katı Faz Ekstraksiyonundan Sonra Co(II), Mn(II), Cr(III) ve Zn(II) Ağır Metallerinin AAS İle Tayini. Tez, Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kimya Ana Bilim Dalı / Analitik Kimya Bilim Dalı, İstanbul, 2015. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=eZgwHDY1_x4kzi1CVa4WUQ&no=wGofzPzqrnHE4q2u_GXURg (accessed 2023-08-30).
- (16) Ocak, G. Arsenik Türlemesi İçin Yöntem Geliştirilmesi ve Grafit Fırın- lı Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi İle Tayini, Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kimya Ana Bilim Dalı, Ankara, 2014. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> (accessed 2023-08-30).
- (17) Eşer, S. *Salinivibrio sharmensis* tutturulmuş Amberlit XAD-4 kullanarak katı faz ekstraksiyonu ile Cd(II) ve Ni(II) iyonlarının faas ile tayini. masterThesis, Dicle Üniversitesi, 2015. <http://acikerisim.dicle.edu.tr/xmlui/handle/11468/1107> (accessed 2023-08-30).
- (18) Yıldız, A.; Genç, Ö. *Enstrümantal Analiz*; Hacettepe Üniversitesi, 1993.
- (19) Tuzen, M.; Saygi, K. O.; Soylak, M. Separation and Speciation of Seleni- um in Food and Water Samples by the Combination of Magnesium Hydroxide Coprecipitation-Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometric Determination. *Talanta* **2007**, 71 (1), 424–429.
- (20) Ulusoy, H. İ. Eser Düzeydeki İnorganik Arsenik Türlerinin Tayini İçin Bulutlanma Noktası Ekstraksiyonu/Aas Yöntemi Geliştirilmesi. Tez, Cumhuriyet Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kimya Ana Bilim Dalı, Sivas, 2012. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> (accessed 2023-08-30).
- (21) Nişli, G.; Ertaş, F. N. Eser Analizin Önemi ve Yöntem Seçimi. *Eser Analiz Yaz Okulu, Sayfa* **2001**, 1, 25–29.
- (22) Gurbetçiöğlü, Ö. Determination of Cadmium Using Slotted Quartz Tube Atom Trap Atomic Absorption Spectrometry and Metal Coatings. Master's Thesis, Middle East Technical University, 2010.
- (23) Kunç, S. AAS İle P Etmenleri ve Spektral Girişim, 1980.



BÖLÜM 4

ADİYAMAN İL MERKEZİNDE BULUNAN ANAOKULLARINDA GAMA DOZ HIZLARININ BELİRLENMESİ

Mehmet Fatih AYDIN¹, Ömer SÖĞÜT²

1 Dr. Öğr. Üyesi, Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3497-9910>, mfoyadin@adiyaman.edu.tr

2 Prof. Dr., Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1987-1116>, omersogut@gmail.com

GİRİŞ

Dünya varoluşundan bu yana radyasyonla etkileşim halindedir. İnsanoğlu radyoaktif atomlardan kaynaklanan radyasyon ile iç içe yaşamaktadır. Bu nedenle insanlar her zaman havadan, sudan, topraktan ve kozmik ışıklardan gelen radyoaktif maddelere maruz kalmaktadır (UNSCEAR, 2008; Yümün et al., 2020).

Günümüzde herhangi bir bölgenin gama radyasyon düzeyini araştırmak amacıyla çevresel gama radyasyon doz ölçümleri yapılmaktadır. Çevresel gama radyasyon doz ölçümlerinin amacı, doğal arka plan gama radyasyon doz miktarını ölçerek insanların ne kadar radyasyon dozuna maruz kaldığını belirleyerek başta insan olmak üzere tüm canlıların biyolojik sistemleri üzerindeki etkilerini belirlemektir. Bir bölgenin arka plan doğal gama radyasyon doz düzeyi, bölgenin jeolojik ve coğrafi yapısına, toprak ve kayaların mineralojik yapısına ve deniz seviyesinden yüksekliğine (kozmetik ışınlarla orantılı) bağlı olarak değişmektedir. Nükleer silah testleri, nükleer santral kazalarından kaynaklanan sızıntılar ve sanayide ve tıpta kullanılan radyoaktif maddeler, bir bölgenin doğal arka plan radyasyon düzeyini artırır (IAEA 2011; Yümün et al. 2020).

Bu kapsamda çevresel gama doz miktarının, radyasyon türünün belirlenmesine ve canlıların sağlığı üzerinde oluşabilecek risklerin araştırılmasına yönelik dünyada ve Türkiye’de çalışmalar yapılmaktadır. Kam ve ark. “Kulakçayırı doğal gölü ve çevresinde (Arnavutköy, İstanbul) gama doz hızı değerleri” çalışmasını yapmışlardır. Çalışmada Kulakçayırı ve çevresinde gama doz hızı ölçümleri sonucunda ortalama gama doz hızı 37.5 nGy h^{-1} olarak hesaplanmıştır (Kam et al. 2016). Yümün ve ark., “Kaz Dağları’nın Behramkale (Çanakkale) -Zeytinli (Edremit-Balıkesir) bölümünde yüzeylenen stratigrafik birimlerin gama doz değerleri” çalışmasını yapmışlardır. Çalışmada Edremit ve Behramkale çevresinde gama doz hızı ölçümleri sonucunda ortalama gama doz hızı 111.2 nGy y^{-1} , ortalama yıllık etkin doz eşdeğerini ise 0.14 mSv olarak hesaplanmıştır (Yümün et al. 2020). Karataşlı M., “Hatay ve Çevresinde Çevresel Gama Radyasyon Ölçümü” çalışmasını yapmışlardır. Yapılan ölçümler sonucunda gama doz hızı ölçümlerinin ortalama değerini $61,9 \text{ nGy h}^{-1}$, ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri ise $75.91 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır (Karataşlı 2018). Zuhur ve ark., “Gaziantep ve Çevresinde Gama Radyasyonu Ölçümü” çalışmasını yapmışlardır. Yapılan ölçümler sonucunda gama doz hızı ölçümlerinin ortalama değerini 7.6 nSv h^{-1} , ortalama yıllık etkin doz eşdeğerini ise $66 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır (Zuhur S et al. 2017). Kürkçüoğlu ve ark., “İsparta İl Merkezindeki Okullarda Gama Ortam Doz Eşdeğeri Ölçümleri” çalışmasında ortalama yıllık etkin doz eşdeğerini 1.11 mSv y^{-1} olarak hesaplanmıştır (Kürkçüoğlu and Çine 2017).

Bu çalışmada ise, Adıyaman şehir merkezinde Millî Eğitim Bakanlığına bağlı 14 anaokulu binasında bina içi ve bina dışı havadaki çevresel gama radyasyon doz hızlarının ölçülmesi, anaokulunda okuyan öğrencilerin aldığı yıllık etkin doz eşdeğerlerini hesaplamaktır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Sahası

Adıyaman ili 37° 25' ile 38° 11' kuzey enlemi, 37° 0' ve 39° 0' doğu boylamı arasında yer alır. Adıyaman ilinin yüzölçümü 7614 km², merkez ilçenin yüzölçümü 1702 km² olup, rakımı 669 m'dir. Adıyaman'ı doğudan batıya doğru bölen Anti Torosların kuzeyinde kalan dağlık bölgenin iklimi ile güneyinde kalan bölgenin iklimi birbirinden farklıdır. Güneyi, yazları kurak ve sıcak, kışları ılık ve yağışlı; kuzeyi yazları kurak ve serin, kışları yağışlı ve soğuktur (Adıyaman Governorship 2011).

Adıyaman, tektonik intikal kuşağında bulunan, fazla kıvrımlara az rastlanmasına rağmen kuzey hariç geniş düzlüklere çokça rastlanmaktadır. İlin merkezdeki toprakları düz, verimli alüvyon tarım arazileridir. Jeolojik yapı itibariyle, alt kretase yaşlı kireçtaşıdır. Bu jeolojik yapı, dolomitik ve yarı kristalize yapıdadır. Bu yapı üzerinde paleosen-alt eosen yaşlı germav formasyonu bulunur. Bu formasyon üzerinde, eosen yaşlı Midyat kireçtaşı yapısı yer almaktadır. Kireçtaşı yapısının üzerinde de üst miyosen yaşlı tortullar alanın güneyine doğru vadi yamaçlarında görülmekte ve Eğri Çayının getirdiği alüvyon malzemeler bu akarsu boyunca yer almaktadır (Adıyaman Governorship 2011).

Bu çalışmada Adıyaman merkez ilçede Millî Eğitim Bakanlığına bağlı 14 tane anaokulunda gama doz hızı ölçümleri gerçekleştirilmiş olup Şekil 1'de okulların harita üzerindeki konumlarını gösterir. Ayrıca Tablo 1'de ölçümlerin yapıldığı anaokullarının coğrafi koordinatları ve buldukları mahalle isimleri verilmektedir.

Tablo 1. Ölçüm yapılan anaokulları ve buldukları mahalle isimleri

Sıra no	Ölçüm istasyonu	Mahalle adı	İstasyon koordinatları (Coğrafi)	
			Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)
1	Altınşehir Anaokulu	Altın şehir	37°44'34.97"K	38°13'17.60"D
2	Zübeyde Hanım Anaokulu	Altınşehir	37°44'34.46"K	38°14'1.51"D
3	Sümer Anaokulu	Sümerevler	37°44'55.11"K	38°14'57.94"D
4	Latife Hanım Anaokulu	Barbaros	37°45'28.46"K	38°15'8.81"D
5	Nasreddin Hoca Anaokulu	Karapınar	37°45'36.88"K	38°14'30.49"D

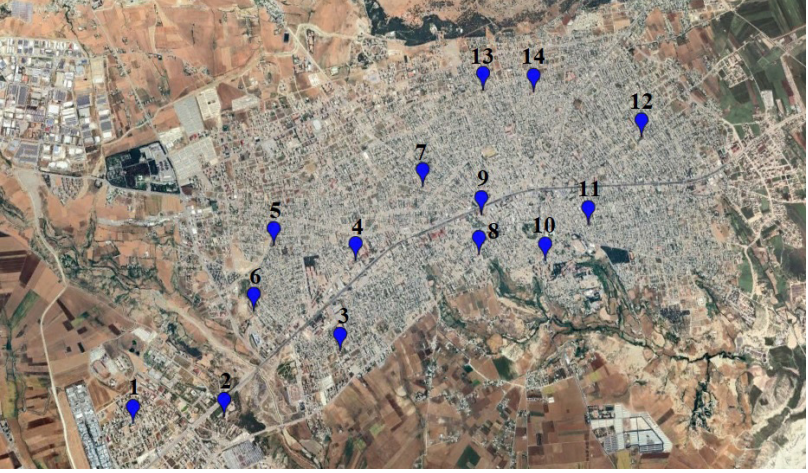
6	Vilayetler Birliği Anaokulu	Yeni Sanayi	37°45'12.89"K	38°14'18.73"D
7	Gül Anaokulu	Yenimahalle	37°45'54.01"K	38°15'43.85"D
8	Pınar Anaokulu	Alitaşı	37°45'26.52"K	38°16'7.64"D
9	Eskisaray Anaokulu	Eskisaray	37°45'41.55"K	38°16'10.89"D
10	Nene Hatun Anaokulu	Musalla	37°45'21.93"K	38°16'38.77"D
11	Bahar Anaokulu	Bahçelievler	37°45'34.04"K	38°17'1.06"D
12	Halide Edip Anaokulu	Siteler	37°46'5.25"K	38°17'30.62"D
13	Sevgi Anaokulu	Kayalık	37°46'28.73"K	38°16'16.86"D
14	Malazgirt Anaokulu	Malazgirt	37°46'26.30"K	38°16'41.69"D

Kullanılan Materyaller

Bu çalışmada, kapalı ortam ve açık ortam gama radyasyon seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, Atomtex AT1121 model olan, ucunda ağır metal katkılı plastik sintilasyon dedektörü bağlı taşınabilir mikro bilgisayarlı bir cihaz kullanılmıştır. Radyasyon doz hızı ölçümlerini tespit etmek amacıyla hazırlanan Atomtex AT1121, ölçülen radyasyon doz hızı bilgilerini hem kaydetmede hem de sonrasında bağlanan bir yazıcıya kaydedilmiş olan bilgileri aktarabilen bir cihazdır. Atomtex AT1121 cihazının genel görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir. Cihazın ayırma gücü aralığı, ^{137}Cs atomunun 661 keV'de 15 keV-60 keV aralığındadır.

Ölçüm cihazında kullanılan sintilasyon dedektörlerinin içerisinde, foton üretici bir tüp (Şekil 3) ve onun hemen önünde sintilatör olarak kullanılan bir madde bulunmaktadır. Katı, sıvı ve gaz halinde bulunan bazı maddelerin etkileşmesi ile iyonlaştırıcı radyasyonun sintilasyon fosforu, iyonlaşma ve uyarılma meydana getirir. Enerji verilen elektron, enerjisi ortamdaki konumundan ayırmaya yeterli olmadığı zaman uyarılan elektron, yeniden önceki haline dönerken ışık yayınlar. Yayınlanan bu ışık sintilasyon fosforlarının yaydığı ışıktır. Bu ışık, foton çoğaltıcı tüplerce toplanarak, gerilim pulsu haline getirilmektedir. Radyasyon enerjisi ile ortaya çıkan pulsun genliği orantılıdır. Cihazda yer alan dedektörler sayım ve enerji ayırımında kullanılmaktadır. Cihazda yer alan sintilasyon fosforların ise, kristal ya da sıvı halde olabilmelerine karşın radyasyon kontrol işleri için yalnızca kristal olanlar kullanılmaktadır. Alfa ışınlarının sayımları sırasında sıklıkla gümüş ile aktive edilmiş olan çinko sülfür (ZnS) ekrandan faydalanılmaktadır. Beta radyasyonunun sayımında ise, cihaz içerisinde bulunan alfa tutmak için ince bir metal varakla kaplı olan antrasen kristallerin kullanımı tercih edilmektedir. Gama ışınları ya da x-ışınları için sıklıkla talyumla aktive edilen sodyum iyodür (NaI) kristallerin kullanımı

tercih edilmektedir (Göksel A S 1973).



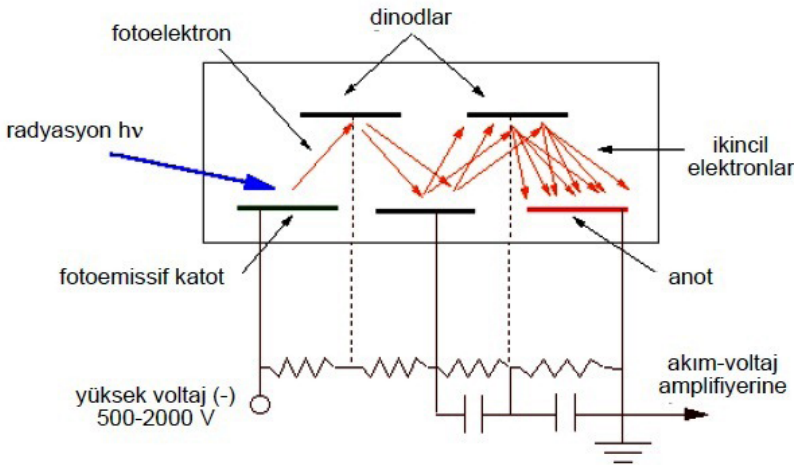
Şekil 1. Okulların şehir merkezindeki dağılımı



Şekil 2. Atomtex AT1121 sintilasyon gama dedektörü

BULGULAR TARTIŞMA

Bu çalışmada Adıyaman il merkezinde Millî Eğitim Bakanlığına bağlı 14 anaokulunda yerden 1 metre yükseklikte kapalı ve açık ortamlarda ölçümler yapılmıştır. Çevresel gama doz hızı ölçümlerinde ölçüm hatalarını en aza indirmek için her ölçüm noktasından üç okuma yapılarak ve bu üç değer aritmetik ortalaması alınarak her ölçüm bölgesi için gama doz hızı değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler hem karasal radyonüklidlerden hem de kozmik ışınlardan gelen radyasyonları içerir. Ölçümlerde kullanılan sintilasyon dedektörü ölçüm sonuçlarını $nGy h^{-1}$ cinsinden gösterir. Her ölçüm noktası için elde edilen ortalama gama doz hızı değerleri Tablo 2’de ve bu değerlere ait grafiksel dağılım Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 3. Fotoçöğaltıcı tüpün çalışma şeması (URL-1)

Tablo 2. Anaokullarında havada soğrulan gama doz hızı değerleri ($nGy h^{-1}$)

Ölçüm istasyonu	Havada soğrulan gama doz hızı		
	Kapalı Ortam ($nGy h^{-1}$)	Açık Ortam ($nGy h^{-1}$)	Kapalı Ortamın Açık Ortama oranı
Altınşehir Anaokulu	54	59	0.92
Zübeyde Hanım Anaokulu	68	78	0.87
Sümer Anaokulu	71	67	1.06
Latife Hanım Anaokulu	70	62	1.13
Nasreddin Hoca Anaokulu	68	55	1.24

Vilayetler Birliği Anaokulu	65	58	1.12
Gül Anaokulu	61	55	1.11
Pınar Anaokulu	72	62	1.16
Eskisaray Anaokulu	70	60	1.17
Nene Hatun Anaokulu	69	55	1.25
Bahar Anaokulu	60	58	1.03
Halide Edip Anaokulu	66	56	1.18
Sevgi Anaokulu	70	60	1.17
Malazgirt Anaokulu	68	64	1.06
Aritmetik Ortalama	67	61	1.10

Çalışmamızda elde edilen çevresel gama doz hızı değerleri ile denklem (1) kullanılarak yıllık etkin doz eşdeğer değerleri (YEDE) ve denklem (2) kullanılarak toplam yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmıştır (Aydın, Söğüt, and Kara 2022; Kayakökü H 2022; UNSCEAR 1988). Hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğer değerleri Tablo 3’de ve bu değerlerin grafiksel dağılımı Şekil 3’de verilmiştir.

$$YEDE (\mu Sv \cdot y^{-1}) = D \times DF \times DCF \times T \quad (1)$$

$$YEDE_{toplam} = YEDE_{kapalı} + YEDE_{açık} \quad (2)$$

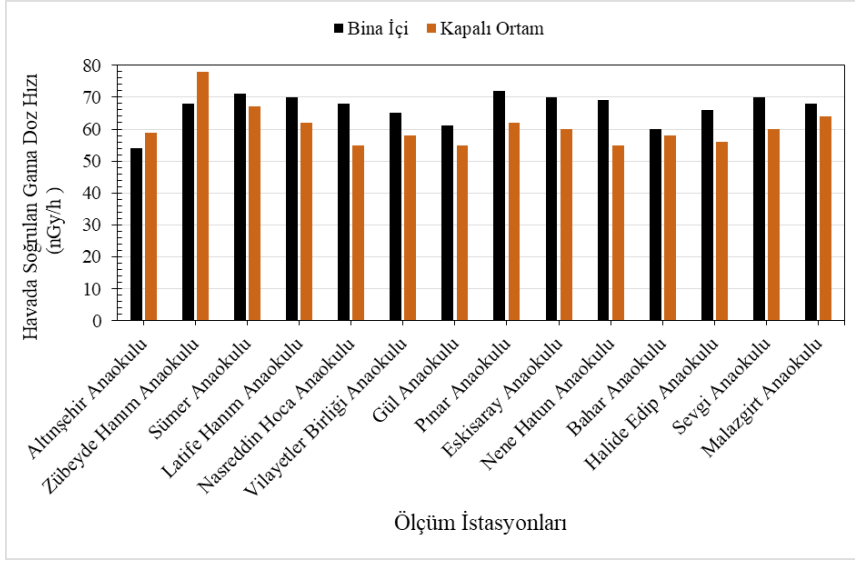
Burada D havada soğrulan gama doz hızı değerini ($nGy \cdot h^{-1}$), DCF gama doz hızı dönüştürme faktörünü ($0.7 Sv \cdot Gy^{-1}$), OF zaman meşguliyet faktörü olup, kapalı ve açık ortamlar için sırasıyla 0.8 ve 0.2 değerini, T, bir yılda maruz kalınan süreyi (8760 saat) gösterir.

Ayrıca, havada soğrulan çevresel gama doz radyasyonunun patolojik etkilerini belirlemek için, yaşam boyu kanser riski (YBKR) denklem (3) kullanılarak hesaplanmıştır (Küçükönder et al. 2023). Hesaplanan yaşam boyu kanser riski değerleri Tablo 3’de bu değerlerin grafiksel dağılımı Şekil 4’de verilmiştir

$$YBKR = YEDE \times DL \times RF \quad (3)$$

Burada, YEDE yıllık etkin doz eşdeğerini, DL ortalama yaşam süresini (70 yıl) ve RF Sv^{-1} ’de yaşam boyu kanser risk faktörünü gösterir. Bu ça-

İşmada RF değerlerini ICRP 103, BEIRVII ve ICRP 60'ın sırasıyla 0.057, 0.064 ve 0.072 değerleri kullanıldı (Aydın et al. 2022).

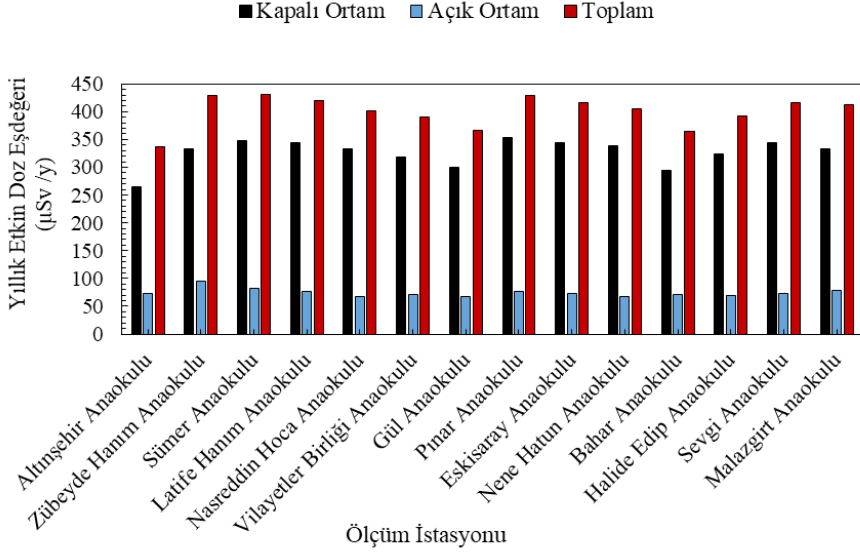


Şekil 2. Anaokullarında havada ölçülen gama doz hızı değerlerinin grafiksel dağılımı

Tablo 3. Anaokullarında yıllık etkin doz eşdeğeri ($\mu\text{Sv y}^{-1}$) ve yaşam boyu kanser riski (%) değerleri

Ölçüm İstasyonu	Yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE)			Yaşam boyu kanser riski (%) (YBKR)		
	Kapalı Ortam ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)	Açık Ortam ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)	Toplam ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)	ICRP 103	BEIR VII	ICRP 60
Altınşehir Anaokulu	264.9	72.4	337.3	0.135	0.151	0.170
Zübeyde Hanım Anaokulu	333.6	95.7	429.2	0.171	0.192	0.216
Sümer Anaokulu	348.3	82.2	430.5	0.172	0.193	0.217
Latife Hanım Anaokulu	343.4	76.0	419.4	0.167	0.188	0.211
Nasreddin Hoca Anaokulu	333.6	67.5	401.0	0.160	0.180	0.202
Vilayetler Birliği Anaokulu	318.9	71.1	390.0	0.156	0.175	0.197
Gül Anaokulu	299.2	67.5	366.7	0.146	0.164	0.185
Pınar Anaokulu	353.2	76.0	429.2	0.171	0.192	0.216
Eskisaray Anaokulu	343.4	73.6	417.0	0.166	0.187	0.210

Nene Hatun Anaokulu	338.5	67.5	405.9	0.162	0.182	0.205
Bahar Anaokulu	294.3	71.1	365.5	0.146	0.164	0.184
Halide Edip Anaokulu	323.8	68.7	392.4	0.157	0.176	0.198
Sevgi Anaokulu	343.4	73.6	417.0	0.166	0.187	0.210
Malazgirt Anaokulu	333.6	78.5	412.1	0.164	0.185	0.208
Aritmetik Ortalama	326.6	74.4	401.0	0.160	0.180	0.202



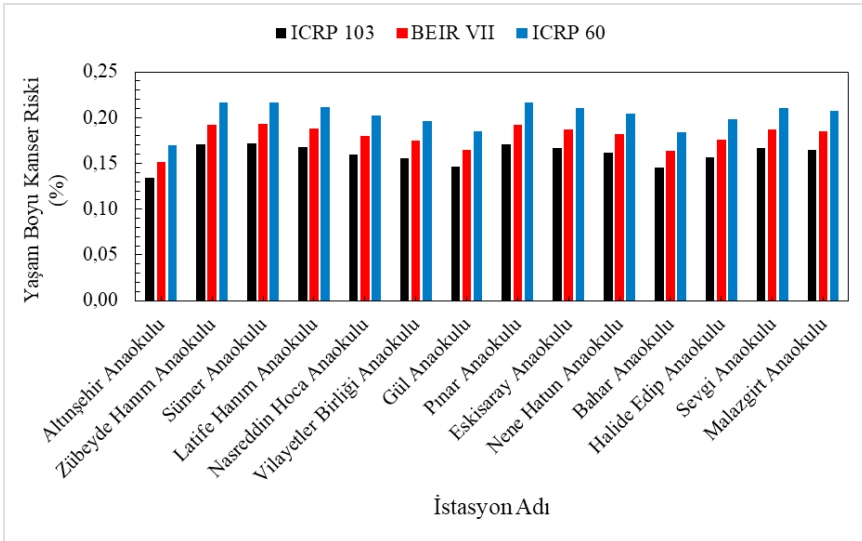
Şekil 3. Yıllık etkin doz eşdeğerlerinin grafiksel dağılımı

Tablo 2 ve Şekil 2’de görüldüğü gibi; kapalı ortamlar için ölçülen gama doz hızı en düşük değeri 54 nGy h^{-1} ile Altınşehir Anaokulunda, en yüksek değeri 72 nGy h^{-1} ile Pınar Anaokulunda ve ortalama değer 67 nGy h^{-1} ölçülmüştür. Açık ortamlar için ölçülen gama doz hızı en düşük değeri 55 nGy h^{-1} ile Nasreddin Hoca, Gül ve Nene Hatun Anaokullarında, en yüksek değeri 78 nGy h^{-1} Zübeyde Hanım Anaokulunda ve ortalama değer 61 nGy h^{-1} ölçülmüştür. Bu çalışmada kapalı ve açık ortamlar için toplam ortalama gama doz hızı değeri 64 nGy h^{-1} hesaplanmıştır. UNSCEAR raporuna göre, gama doz hızı için dünya ortalama değeri, 59 nGy h^{-1} ’tır (UNSCEAR 2000). Bu çalışmada kapalı ve açık ortamlar için toplam ortalama gama doz hızı değeri 64 nGy h^{-1} olup, bu değer dünya ortalama değerinin biraz üstündedir.

Ayrıca, 14 anaokulunda elde edilen gama doz hızı değerleri ile yapılan hesaplamalar sonucunda Tablo 3 ve Şekil 3’te görüldüğü gibi açık ortam-

larda yıllık etkin doz eşdeğeri $67 \mu\text{Sv y}^{-1}$ ile $96 \mu\text{Sv y}^{-1}$ arasında değişmekte ve ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri $74 \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde kapalı ortam yıllık etkin doz eşdeğeri $265 \mu\text{Sv y}^{-1}$ ile $353 \mu\text{Sv y}^{-1}$ arasında değişmekte ve ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri $327 \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, 14 istasyonun toplam ortalama (açık ve kapalı ortamlar) yıllık etkin doz eşdeğeri $401 \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak hesaplanmış olup, UNSCEAR raporlarında verilen dünya ortalama değeri olan, $410 \mu\text{Sv y}^{-1}$ altında kalmaktadır (UNSCEAR 1988).

Benzer şekilde Tablo 3 ve Şekil 4'te görüldüğü gibi 14 anaokulu için hesaplanan ortalama yaşam boyu kanser riski değerleri ICRP 103, ICRP 60 ve BEIR VII için sırasıyla 0.160, 0.180 ve 0.202 olarak hesaplanmıştır (-BEIR 2006 2006; ICRP 1990, 2007).



Şekil 4. Yaşam boyu kanser riski değerlerinin grafiksel dağılımı

SONUÇLAR

Bu çalışma ile Adıyaman şehir merkezinde bulunan Milli Eğitim Bakanlığına ait 14 anaokulunda okuyan öğrencilerin maruz kaldıkları radyasyon dozu değerleri hesaplanmıştır. Yapılan çevresel gama radyasyonu doz hızı ölçüm sonuçları, ölçülen bölgeler arasında değişiklik göstermektedir. Bu farklılık, anaokullarının bulunduğu bölgede toprakta ya da kayaçlarda doğal olarak bulunan radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonu ile ilgilidir. Havadaki gama doz hızı ölçümleri sonucunda Altınşehir ve Zübeyde Hanım Anaokulları hariç diğer 12 anaokulunda kapalı ortamlarda soğrulan gama doz hızı açık ortamlarda soğrulan gama doz hızı değerlerinden yük-

sek çıkmıştır. Bunun nedeni binaların yapıldığı yapı malzemelerinde bulunan radyonüklitlerin daha yüksek radyoaktivite konsantrasyonuna sahip olmasından kaynaklı olabilir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde havada soğrulan gama doz hızı oranları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri temel radyasyon değerlerinin sağlık etkileri ağıısından UNSCEAR tarafından belirlenen dünya ortalama değerlerinin altında bulunmuştur. Ayrıca, gelecekte gama doz hızı ölçümleri Adıyaman il genelinde tüm okullarda yapılması ve maruz kalınan toplam gama dozun belirlenmesi ile okullarda okuyan öğrencilerin sağlığı ağıısından radyolojik tehlike değerlendirmelerinin olup olmadığı araştırılmalıdır.

Teşekkür

Bu araştırma, Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı tarafından TEBMYOMAP/2023-0001 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazar, Adıyaman Üniversitesi'ne ve yasal izinler için Adıyaman Valiliği ile İl Milli Eğitim Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Adıyaman Governorship, Provincial Directorate of Environment and Urban Management. 2011. *Adıyaman Province Environmental Status Report 2011*.
- Aydın, Mehmet Fatih, Ömer Söğüt, and Ayhan Kara. 2022. "Radiological Health Risks Assessment of Vegetable and Fruit Samples Taken from the Provincial Borders of Adıyaman in the South-Eastern Anatolia Region, in Turkey." *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 15(4). doi: 10.1016/j.jrras.2022.100491.
- BEIR 2006. 2006. *Biologic Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VII, National Academy of Sciences*.
- Göksel A S. 1973. *Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması*. 1st ed. İstanbul: İTÜ Matbaası.
- IAEA. 2011. *Radioactive Particles in the Environment, Particle Characterization and Analytical Techniques*.
- ICRP. 1990. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3)*.
- ICRP. 2007. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37*.
- Kam, Erol, Z. Ü. Yümün, M. Önce, and G. Acikgoz. 2016. "Gamma Dose Rate Values In The Kulakçayırı Natural Lake And The Vicinity (Arnavutköy, İstanbul)." *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences* 1(1):29–33. doi: 10.30931/jetas.281380.
- Karataşlı, Muhammet. 2018. "Measurement of Environmental Gamma Radiation in and Around The Hatay Province, Turkey." *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering* 18(3):780–85. doi: 10.5578/fmbd.67766.
- Kayakökü H. 2022. "Malatya İli ve İlçelerinde Çevresel Gama Radyasyonunun Ölçümü, Doz Hızı ve Ömür Boyu Kanser Riski Değerlendirmesi." *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 12(2):634–44. doi: 10.31466/kfbd.1091391.
- Küçükönder, Erdal, Serdar Gümbür, Ömer Söğüt, and Mahmut Doğru. 2023. "Natural Radioactivity in Soil Samples Taken from Kahramanmaraş Provincial Center." *Environmental Geochemistry and Health* 45(7):5245–59. doi: 10.1007/s10653-023-01577-w.
- Kürkçüoğlu, Mehmet Ertan, and Ahmet Çine. 2017. "Isparta İl Merkezindeki Okullarda Gama Ortam Doz Eşdeğeri Ölçümleri." *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 21(2):549. doi: 10.19113/sdubed.98213.
- UNSCEAR. 1988. *Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation, United Nations Sales Publication No. E. 88.IX.7*. Newyork.

- UNSCEAR. 2000. "Sources and Effects of Ionizing Radiation." Retrieved June 7, 2022 (<https://digitallibrary.un.org/record/422833>).
- UNSCEAR. 2008. "United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation." *United Nations I*:66.
- URL-1. n.d. "Http://Besergil.Cbu.Edu.Tr/2_iyon_dedektorleri.Pdf."
- Yümün, Zeki Ünal, Erol Kam, and Melike Önce. 2020. "Gamma Dose Values of Stratigraphic Units Surfaced in Behramkale (Çanakkale) - Zeytinli (Edremit-Balıkesir) Section of Kaz Mountains." *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry* 7(1):207–14. doi: 10.18596/jotcsa.565054.
- Zuhur S, Çeliktürk D, Yazıcı A N, and Öztürk Z. 2017. "Assessment of Gama Dose Rates around Gaziantep City, Turkey." *Journal of Nuclear Sciences* 4(1):19–25.



BÖLÜM 5

TARIMSAL AÇIDAN ÖNEMLİ OLAN MİKORİZAL MANTARLARIN BİTKİ BÜYÜME VE GELİŞMESİ ÜZERİNE FAYDALARI

*Zekiye ERDOĞAN¹, Emre Cem ERASLAN²,
Hasan AKGÜL³*

1 Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye

2 Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Antalya, Türkiye

3 Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Antalya, Türkiye

GİRİŞ

Artan dünya nüfusuna bağlı olarak insanların besin ihtiyaçlarına olan talep de artmaktadır. Bu yüzden daha fazla gıda maddesi elde etmek için tarımsal üretimde birim alandan maksimum verim almak gerekmektedir. Bu bağlamda tarımsal üretim miktarının artışı sağlamak için bir takım tarımsal uygulamalara başvurulmaktadır. Bu uygulamalar, kaliteli üretim materyali seçiminden hasat edilen ürünlerin muhafazasına kadar tüm işlemleri kapsamaktadır. Yapılan bu uygulamalar, ürünlerin hastalık ve zararlılardan arı, kaliteli, albenili, lezzetli, raf ömrü uzun olması için çeşitli uygulamalar içermektedir. Bu uygulamalar esnasında yüksek miktarda kimyasal madde kullanılmaktadır. Bu durumda insanlara fayda sağlamanın ötesinde ciddi sağlık problemlerine yol açmaktadır. Tarımsal üretimin artmasını hedef olarak benimseyen ülkelerde bitki büyüme ve gelişmesi için hormon ve kimyasal ürün kullanımını yoğun olarak yapılmaktadır. Yapılan bu uygulamalar ve kullanılan ürünler beraberinde ekolojik sorunları da getirmektedir. Bu uygulamalarda özellikle pestisit maddelerin başta olduğu pek çok ürünün doğada yok olması uzun yıllar almaktadır (Sezen ve Külekci 2020). Bitki gelişiminde büyük rolü olan bitki besin elementlerinin de karşılanması adına uygulanan pek çok kimyasal gübre uygulaması başta bitkiler olmak üzere doğal çevreyi de olumsuz etkilemektedir. Bitkiler ihtiyaçları olan besin elementlerini havadan ve yetişme ortamları olan topraktan almaktadır. Eğer ki ihtiyaç duydukları besin elementlerinde noksanlık ya da ortamda hiç bulunmaması durumunda bitkilerde yaşamsal faaliyetler olumsuz etkilenmektedir. Bitki besin elementleri bitkilerde bulunış miktarlarına göre makro ve mikro besin elementi olarak tanımlanmaktadır. Makro besin elementleri; Karbon (C), Hidrojen (H), Oksijen (O), Azot (N), Fosfor (P), Potasyum (K), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg), Kükürt (S) iken mikro besin elementleri; Demir (Fe), Çinko (Zn), Bor (B), Klor (Cl), Molibden (Mo), Bakır (Cu), Mangan (Mn) elementini kapsamaktadır. Tüm bu besin elementlerinin her biri bitkide ayrı fonksiyona sahiptir. Besin elementlerinin bitkide bulunış miktarları, bitkiden bitkiye göre değıştiğı gibi bitki doku ve organlarında da farklılık gösterebilmektedir. Bu yüzden bitkilerde yapılacak olan gübreleme uygulamalarının öncesinde toprak ve bitki analizlerinin yapılması büyük önem arz etmektedir (Anonim 1). Ayrıca tarımda patojenlerle ve zararlı böceklerle mücadele kullanılan pestisitler çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Kullanılan kimyasallar uzun süre boyunca doğada ayrıştırılamamaktadır.

Tüm bu sıkıntıların önüne geçmek için dünya genelinde ilk defa Avrupa'da iyi tarım uygulamaları, gıda güvenliğı ve kalitesinin sağlanması için çeşitli uygulamalar başlatılmıştır. Türkiye ise 2007'de bazı illerde başlayan iyi tarım uygulamaları, üreticilere destek sağlanması ile büyük gelişme

göstermiştir. Böylece kaliteli ve sağlıklı besin elde edilmesi sağlanmıştır (Eryılmaz ve Kılıç 2018). Tarımda sürdürülebilirlik olması için zirai bitkilerin üretimi sırasında bitkilerde kimyasal uygulamanın önüne geçmek için ya da uygulanan kimyasal miktarını en aza indirmek için faydalı mikroorganizmaların kullanılması, tüm olumsuz etkilerin karşısında alternatif bir uygulama yoludur. Mikroorganizma kullanımı oldukça geniş bir skalada karşımıza çıkmaktadır. Faydalı olan bu mikroorganizmalar bitkide patojenik reaksiyonlar vermezken bitkide büyüme ve gelişmeyi olumlu yönde etkilemektedir (Soylu 2016). Tarımda kullanılan mikroorganizmalar bakteri ve fungus içeriklidir. Özellikle faydalı kök bakterileri bitkiler için alınamayacak formda olan azotu fikse ederek alınabilir forma çevirmektedir. Bu yüzden tarımdaki kimyasal gübre ile karşılanacak olan azotun, bu şekilde faydalı bakteriler ile daha az enerji ve daha düşük maliyet ile uygulanması avantaj sağlamaktadır. Bitki gelişmesinde faydalı bakteriler sadece azot fiksasyonu ile kalmayıp siderefor üretimi, fosforun alınabilir hale getirilmesi, bitki büyümesini teşvik eden hormonların salgılanmasını bitki gelişimini engelleyen hormon miktarının azalmasını sağlamak gibi pek çok faydaları bulunmaktadır. Bitkide çimlenme artışı, kök gelişiminin artması, verim artışı, hastalık etkenlerine karşı daha dayanıklı bir yapıya sahip olma, kuraklık, susuzluk vb. stres koşullarına karşı toleranslı olmak sayılabilecek faydalar arasındadır (Çakmakçı 2005). Bitki faydalı mantarlarına bakarsak bitki kökleri ile mantar arasındaki karşılıklı fayda sağlayan simbiyotik bir yaşam şekli görülmektedir. Bu simbiyotik yaşamdaki bitki ve kök birlikteliğine mikoriza denilmektedir. Yeryüzünde var olan hemen hemen tüm bitkilerde mikorizal birliktelik görülmektedir. Dünyada ve Ülkemizde funguslar ile ilgili birçok sistematik ve biyolojik aktivite çalışmaları olmasına rağmen mikorizal birlikteliklerle ilgili çalışmalar hala yeterli seviye de değildir (Ergül vd., 2005a; Ergül vd., 2005b; Hüseyin vd., 2009; Selçuk vd., 2009; Ergül vd., 2011; Ergül vd., 2016; Akgül vd., 2016; Akgül vd., 2017; Yılmazkaya vd., 2019; Gürgen vd., 2020; Sevindik vd., 2021a; Eraslan vd., 2021a; Sevindik vd., 2021b; Akgül vd., 2021; Baba vd., 2021; Eraslan vd., 2021b; Eraslan vd., 2022; Bal vd., 2022).

Mikorizal Mantar Türleri

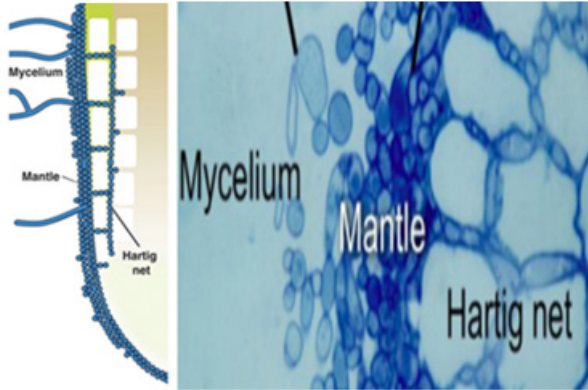
Mikoriza; mantar miselleri ile bitki kökleri arasında karşılıklı fayda sağlamaya yarayan simbiyotik bir yaşam biçimidir. Burada mantar bitkiden karbon ve organik bileşikler temin ederken, bitkiye su ve mineral maddelerin alımında yardımcı olmaktadır (Kara ve Tilki 2001). İsim olarak baktığımızda da Yunanca mantar anlamına gelen Mykes ve Rhiza olarak tanımlanan kök kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Kök mantarları olarak da bilinmektedirler. Mantar ve ağaçlarda gözlenen mikorizal ilişki 1885 yılında ilk olarak A.B. Frank'ın ifadesiyle ortaya çıkmıştır. Kendi besinini kendisi üreten bitki ile kendi besinini kendisi üretemeyen

bir mikroorganizma arasındaki bu simbiyotik ilişki, aslında çevre bütünlüğünün korunması için oldukça önem teşkil etmektedir (Kibar, 2007). Yeryüzündeki var olan çoğu kara bitkilerinde mikorizal mantar birlikteliği görülmektedir. Mikorizalar, morfolojik ve fizyolojik, evrimsellik işlevleri bakımından farklılıklar gösterirler ve bu farklılıklara göre sınıflandırılmaktadırlar. Dört sınıfa ayrılan mikorizalar; Arbüsküler mikorizalar (AM), Ektomikorizalar (EcM), Ericoid mikorizalar (ErM), Orkide mikorizalarıdır (OM) (Tedersoo ve Bahram 2019).

Ektomikorizalar: Basidiomycota, Ascomycota ve Zygomycota'ya ait çok sayıda tür içermektedir. Çoğunlukla odunsu bitkilerin köklerinde ortaya çıkmaktadırlar. Ektomikorizaların karakterize edilmelerinde iki önemli yapı vardır; Hartig ağı ve rizomorf yapılarıdır (Ediriweera vd., 2022).



Şekil 1. *Quercus* kökünde ektomikoriza Foto: Hasan Akgül



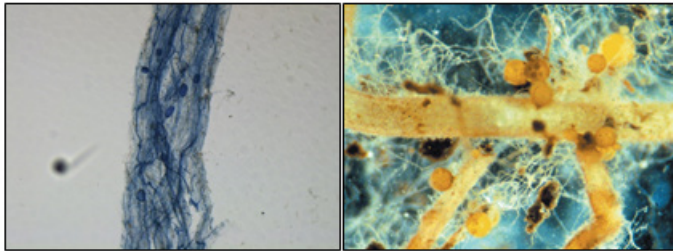
Şekil 2. Ektomikorizalarda Hartig ağı ve mantle

Ektomikorizalar, bitki köklerini mantar mantosu ile kaplar ve mantarın çoğunluğu kök dışında kalmaktadır. Özellikle ormanlardaki ağaçlarda (meşe, çam, huş ağacı vb.) ektomikoriza fungusları görülmektedir (Van der Heijden vd., 2015).



Şekil 3. Soldan sağa doğru sırasıyla; *Morchella esculenta*, *Sarcosphaera coronaria*, *Suillus luteus*, *Leccinum aurantiacum* (Anonim 2, 3, 4, 5).

Arbüsküler mikorizalar; Bitki kökleri ile funguslar arasındaki patojenik olmayan simbiyotik birliktelik göstermektedir. Çoğu kültür bitkileri ile hemen hemen tüm bitkilerde görülmektedir. Ektomikorizalardan farklı olarak AM funguslar konukçu bitkide, kök korteks bölgesi içerisinde emici hifleri bulunan, dallanma özelliği olan (arbüsküller), vesikülleri (yağ, besin depo eden yapıları) ve toprağı çok iyi saran hiflerin bir araya gelmesiyle oluşan miselyumları vardır. Taksonomik olarak baktığımızda Zygomycetes sınıfında yer alan, Glomales takımında, Glomus cinsine ait türleri içermektedir (Gosling ve ark. 2006). AM fungusların simbiyotik etkileşiminde ilk olarak bitkiler tarafından sinyal molekülleri olan fitohormonlar salgılanır ve AM, bitki kökleri ile temasa geçer. Daha sonra bitki kök hücreleri içerisine girişi için özel appressorium yapısı ile hücre içerisine girer ve arbüsküllerini oluşturur. Tüm bu aşamalar basit gibi görünse de ardından çok komplike, bazı noktaları henüz net olarak açıklanamayan aşamaları içermektedir (Chen vd. 2018).



Şekil 4. Orkide mikoriza Foto: Hasan Akgül, *Glomus mosseae* spor ve hifleri (Rosendahl 2008)

Arbüsküler mantarların faydaları; bitkilerin beslenmesine (Özellikle fosfor elementinin alımında belirleyici rol oynamaktadırlar) fayda sağlamak, toprak-bitki-diğer mikroorganizmalar arasında engelleyici ya da teşvik edici olarak etkin olabilmek, çeşitli fungal hastalıklar ve bitki zararlıları üzerinde engelleyici olabilmek ya da oluşacak hastalık şiddetini azaltabilmek olarak sayılabilir (Biçici 2011).

Orkide mikorizaları, yaklaşık olarak 25.000 bitki türünde görülmektedir. Histolojik ve morfolojik olarak bakıldığında endomikorizalara benzemektedirler (Rasmussen ve Rasmussen 2009). Erikoid mikorizalar ise Ericaceae familyasında yer alıp genellikle çoğunluğu AM ile bağlantılıdır. Kök yüzeyinden içeriye girerek hücreden hücreye daha az penetrasyon eğilimindedir. Özellikle eriköz kıl kökleri ile yalnızca epidermal kök hücrelerinde kolonize olma eğilimindedir (Leopold 2016).

Mikorizal Fungusların Bitkilerin Büyüme ve Gelişmesindeki Faydaları

Bitkilerin beslenmesinde mikorizal funguslar hifleri büyük öneme sahiptir. Bitkilerde kök yüzey alanını genişletmek suretiyle besin elementlerinden daha fazla yararlanma imkânı sağlarlar. Özellikle mikorizasız bitkiler köklerine çok yakın mesafeden besin elementlerini alabilirken, mikorizalı bitkilerin kökleri daha geniş alanlardaki besin elementlerine rahatlıkla ulaşabilmektedirler. Mikorizalar, bitki köklerinin besin alımını 10-1000 katı arttırabilmektedir (Biçici 2011).

Bu besin elementlerinin başında alımında sıkıntı yaşanan Fosfor (P) elementi gelmektedir. Mikorizal mantarlarının kolonizasyonuna bağlı olarak P alımı etkin olurken, mikorizaların kolonizasyonunda olumsuzluklar olduğu zaman P alımı da kesintiye uğramaktadır. Mikorizal mantarlar azot, fosfor, potasyum gibi elementlerin yanında alımında P gibi sıkıntılar yaşanan bakır, demir, kalsiyum ve magnezyum gibi besin elementlerinin alımını da olumlu yönde etkilemektedir (Chen vd., 2018). Fosfor alımında, doğrudan alınan fosfat iyonları arbüsküllere ulaştıktan sonra kök korteks hücrelerinde toplanmaktadır. Fosfor alımında doğrudan alım yerine arbüsküler mikorizaların aracılığı ile fosforun çoğunluğu alınmaktadır. Burada etkin olan mekanizma ise arbüsküler mikorizaya özgü fosfor taşıyıcı iki genin (PT2, PT6) bulunmasıdır. Mikorizalarda azot alımında ise iki form da alım gözlenmiştir. Bunlardan ilki organik form olan amino asitler şeklinde iken ikincisi ise inorganik form olan amonyum ve nitrat iyonları şeklindedir. Buradaki çalışma sistemi ise amonyum iyonunun arginine dönüştürüldükten sonra arbüsküllerde negatif yüklü iyonlarla yer değiştirmesi şeklindedir. Arbüsküllerde de arjinin tekrar amonyuma dönüştürülerek amonyum taşıyıcıları tarafından bitki hücrelerine taşınmaktadır. Ayrıca arbüsküller mikorizanın azotu komşu bitkilere de aktarabildiği belirlenmiştir. Dünya'da

patatesten sonra üretimi ve tüketimi en çok olan domates üzerinde yapılan bir çalışmada, arbüsküler fungus olan *Rhizopagus irregularis* kullanılmıştır. Sera ortamında yapılan denemelerde mikorizal mantar solüsyon şeklinde uygulanmıştır. Mantar solüsyonları hazırlanırken litre başına 0, 40, 80 ve 120 mantar sporu eklenmiştir. Bu solüsyon sıralamasına göre oluşturulan deneme modelleri sırasıyla kontrol, AMF1, AMF2, AMF3 şeklinde belirtilmiştir. Mikoriza aşılı bitkilerde (AMF3) kök kolonizasyonu %36.74 ile maksimum başarı elde edilmiştir. Yine AMF3'te, toplam kuru ağırlık 1.386g, hayatta kalma oranı %94.79, azot içeriği 3.376mg, fosfor içeriği 0.497mg olarak bulunmuştur. Aşısız bitkilere göre kök uzunluğu ve bitki kuru ağırlığında artış gözlemlenmiştir. Mikoriza uygulamalarında tohumların çimlenmesi ve besin elementlerinin alınması olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir (Roussis 2022). Yapılan bir diğer çalışmada, üretim yapılan toplamda 28 farklı mısır, patates, buğday, kırmızı yonca tarlalarından toprak örnekleri alınarak, mikorizal mantar çalışmaları pırasa bitkisi üzerinde yapılmıştır. Toprak örnekleri, yerel bir tarladan alınan mikorizal mantarlar (NAT) ile, bir kültür koleksiyonundan referans izolat (REF) ve mikoriza ile aşılınmamış şekilde uygulamalarda kullanılmıştır. Denemeler sonunda, mikoriza ile aşılınmış bitkilerde kontrol grubuna göre özellikle fosfor (kontrol:1.99, NAT:3.14, REF:2.99mgg⁻¹) alımda olumlu yönde belirgin sonuçlar elde edilmiştir ve fosfor artışı 28 bölgeden 18'inde pozitif sonuçlar sağlamıştır. Sürgünlerdeki azot ve fosfor konsantrasyonları ile kök ve sürgün biyokütlesinde de artışlar gözlemlenirken sürgünlerde azot konsantrasyonu kontrol gruplarında 40.87, REF gruplarında 42.52, NAT gruplarında ise 45.70mgg⁻¹ olarak elde edilmiştir (Buil vd., 2022). *Rhizopagus irregularis* kullanarak karabiber bitkisi üzerinde yapılan çalışmada aşılınmış karabiberin ortalama sürgün uzunluğu (124.6cm), kontrole göre (117.4 cm) önemli ölçüde artmıştır. AM aşılmasından 120 gün sonra, AM aşılınmış bitkilerde kuru ağırlık 34.72g, aşılınmamış bitkilerde ise 25.2g olarak tespit edilmiştir. Kontrol ile karşılaştırıldığında, kök uzunluğu ve kuru ağırlık sırasıyla %37.8 ve %13.9 oranında fazla bulunmuştur (Sarathambal vd., 2022). Topraksız uygulamanın yapıldığı kavun bitkisinde *Glomus* ve *Gigaspora* cinslerini içeren bir solüsyon kullanılmıştır. Denemeler %100 besin ile kontrol, %100 besin+mikoriza, %80 besin, %80 besin+mikoriza, %60 besin, %60 besin+mikoriza, %40 besin, %40 besin+ mikoriza olacak şekilde tasarlanmıştır. Mikorizal uygulamalarda azalan besin içeriğine rağmen bitki büyümesi artmıştır. Verim üzerinde de artış elde edilirken en yüksek artış %80 besin+mikoriza uygulamasından elde edilmiştir. Mikoriza içermeyen kontrol gruplarına (8.3kgm⁻²) göre verimde %49.5 artış sağlarken m²'de verim 12.4kg şeklindedir (Dere vd., 2019). Ortaş, 2012'de yaptığı çalışmada, çinko ve fosfor eksikliği olan iki farklı kireçli toprak kullanarak mısır ve biber bitkileri üzerinde çalışmıştır. Arbüsküler mantar olarak; *Glomus moseea* ve *G. etunicatum* türlerini

kullanarak sera koşullarında saksı denemeleri yapmıştır. Yapılan çalışma sonunda, mikoriza ile aşılınmamış bitkilerde sürgün ve kuru madde miktarı, fosfor ve çinko noksanlığından büyük oranda etkilenmiştir. Fosfor ve çinko noksanlığı giderildiğinde ise bitki büyüme ve gelişmesi olumlu etkilenmiştir. Mikorizal aşılamanın ise bitkide fosfor ve çinko noksanlığında bu besin elementlerinin konsantrasyonunda artışlar gözlemlenmiştir. Fakat mikorizalı bitkilerde çinko ve fosfor konsantrasyonun artış oranına göre büyüme ve gelişme oranı daha az oranda olduğunu belirlemiştir.

AMF; ferrikrosin, glomuferrin gibi sideroforları üretebilmektedirler. Şelatlama yaparak bitkiler tarafından özellikle demir eksikliği olan durumlarda alım sağlayabilmektedirler. Böylece eksik olan besin elementleri şelatlanarak bitki ve mantar tarafından alınabilir hale getirilmiş olmaktadır (Khaliq vd., 2022).

Bitkilerde su büyük öneme sahiptir. Fakat yaşanan küresel iklim değişikliği beraberinde kuraklığı da getirmektedir (Öztürk 2002). Kuraklık, insanoglunun karşılaştığı doğal afetler arasında canlıları ve geçim kaynaklarını önemli derecede etkileyen farklı meteorolojik ve çevresel koşullarda meydana gelen en önemli afetlerden birisidir (Sırdaş 2010). Küresel ısınma, yetersiz yağış, düşük yağış miktarı ve süresi, düşük bağıl nem vb. faktörler kuraklığı beraberinde getirmektedir (Musa ve Yüce 2022). Bu durum özellikle üretimi yapılan bitkilerde ilerleyen yıllarda artan kuraklık stresi ile daha da artarak verim kayıplarını arttıracaktır. Kuraklığa maruz kalan bitkilerin morfolojik ve biyokimyasal yapılarında değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimler bir süre sonra bitkilerde verim kaybına yol açarken kuraklığa uzun süre maruz kalan bitkilerde bitki kaybına yol açmaktadır. Bu sebeple kuraklık konusu başlı başına büyük önem arz etmektedir (Farooq vd., 2012). Mikorizal mantarlar bitki kök alanını genişlettiği için daha geniş alanlara ulaşarak bitkinin su teminine katkı sağlamaktadır. Ayrıca toprak agregatlaşmasında önemli olan glomalın isimli glikoproteinini salgırlar. Böylece toprak yapısı da iyileşerek bitki köklerinin daha iyi gelişmesi için uygun bir ortam halini alırlar. Kısacası bitkilerde su ve besin alımını mikorizalar olumlu yönde etkilemektedir (Chen vd., 2018). Kavun bitkisi kullanılarak kısıtlı su altında arbüsküler mikorizal mantar uygulamaları yapılan çalışmada üç farklı su %100, %75, %50 uygulaması yapılmıştır. *Glomus sp.*, *Sklerosistis sp.* ve *Akaulospora sp.* kullanılarak bir karışım kullanılmıştır. Denemeler %100, %100+mikoriza, %75, %75+mikoriza, %50, %50+mikoriza şeklinde oluşturulmuştur. Kök uzunluğu (39 cm) en yüksek %75+mikoriza uygulamalarında elde edilirken bitki boyu(114.25 cm), yaprak sayısı(40), yaprak alanı(43.36 cm²), sürgün kuru ağırlığı(13.81 g), kök kuru ağırlığı (7.71 g) %100+mikoriza uygulamasından elde edilmiştir. %75+mikoriza uygulamalarında stoma yoğunluğu (2.91 mmol/m²s), klorofil a(461.62 µg/g), klorofil b(23.75 µg/g), ka-

rotenoid(319,31 µg/g) en yüksek değerleri vermiştir(Meddich vd., 2021).

Mikorizal mantarlar, bitkilerde kuraklık, su sıkıntısı gibi stres koşullarında olduğu gibi ağır metal stresinde de oldukça önemli fayda sağlamaktadır. Bakır, çinko, demir gibi besin elementleri bitki hücresel fonksiyonları için önemli bir yere sahip olsa da fazla miktarda bitki tarafından alınması toksik etkiler göstermektedir. Yapılan çalışmalarda arbüsküler mikorizal mantarlar, ağır metal toksisitesini azalttığı gözlemlenmiştir (Berruti vd., 2016). Bu Arbüsküler mantarlar, ağır metalleri vesiküllerinde ve arbüsküllerinde biriktirerek, bitkide oluşacak olan ağır metal yoğunluğunu önleyebilmektedir. Böylece ağır metallerin sebep olduğu diğer besin elementlerinin de alınımının engellenmesi durumunun önüne geçilmiş olmaktadır. Arbüsküler mikorizal mantarlar tarafından toprakta agregatlaşmayı sağlayan glikoprotein yapıdaki glomalın aynı zamanda ağır metallerin immobilizasyonunda oldukça etkilidir. Glomalinden ayrı bir protein olan metalotiyani salgılayarak ağır metal toksisitesini önlemektedirler (Bano ve Ashfaq 2013). Biberde, *Glomus mosseae* kullanarak yapılan bir çalışmada, kadmiyum stresi üzerinde denemeler yapılmıştır. Kadmiyum uygulamaları kontrol, 0.10, 0.50 mM olacak şekilde su ile birlikte sulamada toprağa uygulanarak yapılmıştır. Mikorizalı olan bitki gruplarında kök kuru ağırlığı 0.65 g, sürgün kuru ağırlığı 2.05 g mikorizasız olan bitkilerdeki kök kuru ağırlığı 0.45 g, sürgün kuru ağırlığı 1.37 g elde edilmiştir. Mikorizalı bitkilerde kadmiyum konsantrasyonu köklerde sürgünlere göre daha fazla gözlemlenmiştir. Köklerde en yüksek 0.50mM konsantrasyonunda mikorizalı bitkilerde $2.6\mu\text{gg}^{-1}$, mikorizasız bitki köklerinde $2\mu\text{gg}^{-1}$, mikorizalı sürgünlerde $0.69\mu\text{g}^{-1}$, mikorizasız sürgünlerde $0.896\mu\text{gg}^{-1}$ 'dır. Bu da mikorizaların bitki köklerinde kadmiyumu hareketsiz hale getirip biriktirmesinden kaynaklanmaktadır. Kadmiyum (Cd) bitki yapraklarında; klorofil içeriğini, toplam şeker ve protein içeriğini, Fosfor(P) ve Magnezyum (Mg) konsantrasyonu azaltırken mikorizalı bitkilerde bu parametrelerin konsantrasyonlarında artışlar meydana gelmiştir. Mg (5.9mgg^{-1}) ve P (4.7mgg^{-1}) içeriği en yüksek kadmiyum uygulanmayan mikorizalı bitkilerde elde edilmiştir. Kadmiyum stresi altında ise P ve Mg içeriği en yüksek 0.10mM'de elde edilmiştir. Mikorizalı bitkilerde klorofil içeriği en yüksek (3.23mgg^{-1}) kadmiyum stresi olmadan elde edilirken en düşük (1.96mgg^{-1}) 0.50mM kadmiyum stresi altındaki mikorizalı gruplarda elde edilmiştir. Kadmiyumun bitkideki konsantrasyonunun artması bitkilerde malondialdehit (MDA) artışına sebep olmuştur. Fakat mikorizalı bitkilerde (%51) MDA artışı mikorizasız bitkilere (%90) oranla daha az olmuştur. Ayrıca mikorizalı ve mikorizasız bitkilerin yapraklarında, süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi azalırken, peroksidaz ve askorbat peroksidaz (APX) aktivitesini arttırmıştır, fakat mikorizasız bitkilerin yapraklarında kadmiyum stresi altında POD 0.5mM ile mikorizalı bitkilere kıyasla %39 artmıştır. Çalışma

sonunda kadmiyum stresine karşı *G. mosseae*'nin kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır (Latef 2018). Ağır metal toksisitesinin araştırıldığı bir başka çalışmada farklı çinko (0.00, 100, 300 ve 900mgkg⁻¹) konsantrasyonları buğday bitkisi üzerinde uygulanarak arbusküler mikoriza uygulamaları yapılmıştır. *Glomus* sp. mikorizalar ile aşılansmış bitkiler farklı çinko konsantrasyonlarında büyüme ve gelişme parametreleri üzerinde olumlu sonuçlar veririrken en iyi sonucu ise 300mgkg⁻¹ çinko uygulamaları vermiştir. Fosfor konsantrasyonu mikorizalı bitkilerde mikorizasız bitkilere göre daha yüksek elde edilmiştir. Çinko yoğunluğu köklerde sürgünlere oranla daha yüksek bulunmuştur. Yüksek çinko konsantrasyonunda antioksidan enzim aktiviteleri gözlemlenmiştir. (Kanwal vd., 2016). *Glomus clarum* kullanarak buğday bitkisi üzerinde bor denemelerinin yapıldığı çalışmada, mikoriza ve mikoriza uygulanmayan saksılara kontrol (0), 3, 6mgg⁻¹ bor ilavesi yapılmıştır. Genel olarak mikorizalı ve mikorizasız buğday bitkilerinde verimde azalma olurken, kök ve sürgünlerde bor konsantrasyonlarda artış gözlemlenmiştir. Mikorizasız sürgünlerde en yüksek bor konsantrasyonu 6mgg⁻¹ bor uygulamasında olurken bu oran 30.8-58.9mgg⁻¹ arasında değişmiştir. Mikorizasız sürgünlerde en düşük ve en yüksek oranlar 67.3-589.3mgg⁻¹, mikorizalı sürgünlerde bu değerler 30.8-299.6mgg⁻¹olarak elde edilmiştir. Mikorizalı köklerde bor konsantrasyonu 29.5-89.2mgg⁻¹ arasında değişirken mikorizasız köklerde bor konsantrasyonu 36.5-136.1mgg⁻¹ arasında bulunmuştur. Stres altında olmayan bitkilerde mikoriza uygulanması olumlu sonuçlar vermiştir, verimi artırmıştır. Bor stresi altındaki bitkilerde ise verimde kayda değer bir artış gözlemlenmemiştir. (Sönmez, 2009). Buğdayda nikel elementinin zararlı etkilerini azaltmak için arbusküler mikoriza olan *Glomus intraradices* kullanılmıştır. Çalışmada dört farklı nikel konsantrasyonu (0, 60, 120, 180mgkg⁻¹) ile mikorizalı ve mikorizasız denemeler oluşturulmuştur. Kontrol gruplarında tüm parametreler en yüksek değerleri veririrken nikel uygulamalarında mikoriza aşılansmaları en yüksek sonuçları vermiştir. Kontrol gruplarında bin dane ağırlığı 42.15g iken nikel uygulamalarında bu değer en yüksek 40.11g ile 60 mgkg⁻¹ nikel uygulamalarında elde edilmiştir. Mikorizalı bitkilerde ise bin dane ağırlığı 40.35g iken mikorizasız bitkilerde bu oran 36.45g'dır. Mikorizal mantar uygulamasının nikelin olumsuz etkilerini azalttığını göstermiştir. Buradaki olumlu etkiler, başak başına tohum sayısı, bin dane ağırlığını, kolrofil a ve b miktarını artırmıştır. Mikorizal mantar katalaz (CAT) ve ditrozin(DT) aktivitelerini azalttığı tespit edilmiştir (Heydarian vd., 2018).Genel olarak arbusküler mikorizaların kullanıldığı ağır metal stresi çalışmalarının yanında ayrıca ektomikorizalar ile de bu çalışmalar yapılmaktadır. Sun'un 2022'de yaptığı çalışmada *Suillus luteus* ektomikorizal mantarını (EMF) kullanarak *Quercus acutissima* fidelerini aşılansmıştır. Ağır metal olarak da Kadmiyum (Cd) (0.1 ve 5 mg kg⁻¹) kullanmıştır. Cd 0.1mgkg⁻¹ uygulanmış mikorizalı bitkilerde fide boyu 38.86cm olarak en yüksek değeri veririrken

Cd 5mg kg^{-1} en yüksek kök ve sürgün kuru ağırlığını sırasıyla 2.48g, 3.07g vermiştir. Bitki organlarında Cd konsantrasyonu köklerde sürgünlere göre daha yüksek gözlemlenmiştir. Mikorizalı bitkilerde 0.1mgkg^{-1} 'da kökteki kadmiyum konsantrasyonu $24.99\mu\text{gg}^{-1}$ iken sürgünlerde $10.8\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir, 5mgkg^{-1} 'da da benzer sonuçlar elde edilmiştir. CAT aktivitesi, 0,1 ve 5mgkg^{-1} Cd stresleri altında köklerde sırasıyla %138,5 ve %228,2 artmış olarak bulunmuştur. Aşılınmış fidelerin köklerindeki MDA içeriği, tek başına Cd tedavisine kıyasla $0,1\text{mg kg}^{-1}$, Cd stresi altında %25,4 oranında önemli ölçüde azalmıştır. Her iki Cd konsantrasyonunda EMF aşılmasından sonra indirgenmiş glutatyon (GSH) artmasına rağmen, en yüksek Cd konsantrasyonu altında yapraklarda ve köklerde malondialdehit salınımı arttığı gözlemlenmiş ve bu da EMF'nin *Q.acutissima*'daki savunma rolünün Cd konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermektedir.. Bu sonuçlar, EMF'nin, oksidatif stresi azaltmak için antioksidan sistemi modüle ederken bitki büyümesini ve besin alımını teşvik ederek Cd stresini azalttığını göstermektedir.

Arbüsküler mikorizalar bitkilerde uçucu organik bileşiklerin (VOC) salgılanmasını değiştirerek, otçul canlıların uzaklaşmasını sağlayabilmektedir. Bitkilerde çiçek sayısını, çiçek albenisini, nektar üretimini artırarak tozlayıcı böcekleri bitkilere çekmektedir (Thirkell vd., 2017).

Arbüsküler mikorizalar, bitkide savunma mekanizmasını aktive ederek patojenlere karşı tolerans sağlar. Patojenlerin sebep olduğu enfeksiyon şiddetini azaltabilir, patojenlerin gelişmesi için ihtiyaç duydukları besin maddelerinin alınmasını engelleyerek patojenlerin gelişmesini engelleyebilmektedirler (Borowicz 2001). Arbüsküler mikorizal mantarlar, bitkilerin patojenlere karşı tolerans göstermeleri için bitkilerde etilen miktarını azaltarak, bitki besin elementlerinin alımını artırarak, bitkiye dayanıklılık sağlayarak, bitki büyüme düzenleyici hormonların salgılanmasını teşvik ederek de patojenlere karşı savunma oluşturur. Bitkilerde mikorizal mantarların yanında mikorizal mantar olmayan *Trichoderma* türleri bitkilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. *Trichoderma* bitki kök bölgesini asidik hale getirerek besin elementi alımını artırır, salgıladığı maddeler ile bitkide oksin hormonu salgılanmasını sağlar. Bu gerçekleşen olaylarda bitkinin daha sağlıklı ve dirençli hale gelmesi sağlanmış olur (Altunlu vd., 2019). Bitkilerde savunma tipleri; antibiyosis, rekabet, hiperparazitizm, hipovirulens, uyarılmış dayanıklılık, çapraz koruma olarak bilinmektedir. Burada etken olan uyarılmış dayanıklılık sistemi, bitkide var olan savunma sisteminin harekete geçirilmesidir. Salgılanan salgı maddeleri, bitkide patojene karşı bitki uyarılmış dayanıklılık sisteminin aktivasyonu sağlamış olur. Bu maddeler; salisilik asit, jasmonik asit, etilen ve çeşitli maddelerdir. Mikorizalar, bitkiyi uyarak ya da patojenin aktivitesini bozacak sekonder metabolitler üretmektedirler. Böylece arbüsküler mantar-

lar biyolojik mücadele imkanı sunmaktadır (Beram vd., 2019). Vasküler bir patojen olan, *Verticillium dahliae* ile biber bitkisi üzerinde yapılan bir çalışmada *Glomus mosseae*, *G. intraradices*, *G. Deserticola* mikorizal mantarları kullanılmıştır. Hastalıkla inokulum edilen bitkilerde günlük kök kolonizasyonu belirtilen *Glomus* cinsleri sırasıyla %17.11, 19.50, 26.21'dir. Deneme süresi sonunda tüm bitkiler hastalık etmenine karşı kök kolonizasyonunu başarıyla sağlarken *G. mosseae* %73.75, *G. intraradices* %87.50 kolonizasyon sağlamıştır. *G. intraradices* ile kolonize edilen biberlerde hastalık şiddeti, bitki büyümesi ve verimi üzerinde mikorizal olmayan bitkilere oranla daha yüksek bulunmuştur. *G. mosseae* ise bitki büyümesini iyileştirirken bitkilerde generatif aşamanın erken başlaması, hastalıklı bitkilerde yüksek oranda biyokontrol sağlanması, yüksek verim eldesi gözlemlenmiştir. Mikorizalı bitkilerde düşük fosfor uygulamasına rağmen *G. deserticola* ile aşlanmış bitkiler mikorizal olmayanlara göre hem sağlıklı hem de hastalıklı bitkiler daha fazla verime sahip olmuşlardır. Ayrıca çalışmada, *Verticillium*- *G. deserticola* ile aşlanmış bitkilerde patojene karşı köklerden salgılanan fenolik bileşiklerin, biberin *Verticillium* solgunluğuna karşı toleransını sağladığı belirsizlik olarak kalmıştır (Garmendia vd., 2004). D Aljawasim, 2020'de yaptığı çalışmada, *Glomus mosseae* ve *G. clarum* mantarı kullanılarak *Rhizoctonia solani*'nin salatalık bitkisi üzerindeki olumsuz etkilerini nasıl etkilediğini incelemiştir. Bu uygulamalar sonunda *G. mosseae* ve *G. clarum*'un hastalık şiddetinde %21 ve %25'lik azalma gösterirken aşlanmamış bitkilerde hastalık şiddeti %65 olarak belirlenmiştir. Hastalık etmeni altında mikoriza ile aşlanmış bitkilerde aşlanmamış bitkilere göre kök ve sürgün kuru ağırlığında artış gözlemlenmiştir. Hastalık etmeni yokken kontrol gruplarında (0.55, 0.83g) kök ve sürgün ağırlıkları en yüksek değerleri verirken *G. mosseae* (0.55, 0.80g) ikinci sırada yer almıştır. Hastalık etmeni altında ise *R. solani*+*G. mosseae* (0.45, 0.70g) uygulamaları en yüksek sonuçları vermiştir. Çalışma sonunda mikorizal mantarların salatalık bitkisi üzerinde toprak kaynaklı patojenlerini kontrol altına almak, besin elementlerinin alımını arttırmak, abiyotik streslere karşı tolerans sağlayacağı öngörülmüştür. Domateste *Fusarium oxysporum*'un oluşturduğu olumsuz etkilerin önüne geçmek için mikorizal mantar (AMF) olan dört farklı mantar (*Glomus*'un dört cinsi, *Acaulospora*'nın üç cinsi, *Gigaspora*'nın bir cinsi) kullanılmıştır. Bu mantarlara ek olarak çalışmada *Fusarium* solgunluğunu baskılayan mikorizal mantar olmayan *Trichoderma harzianum* mantarı kullanılmıştır. Deneme deseni *F. oxysporum* ile enfekte edilmiş bitkilerde; *Trichoderma*, AMF, AMF+*Trichoderma*, kontrol uygulaması şeklinde oluşturulmuştur. Denemedeki tüm parametreler, 3,6,9 hafta sonra değerlendirilmiştir. Bitki boyları ve kuru ağırlıkları üzerinde, AMF, AMF+*Trichoderma*, *Trichoderma* uygulamaları kontrol gruplarına göre olumlu sonuçlar vermiştir. 9 haftanın sonunda en yüksek bitki boyu 60.1cm, sürgün kuru ağırlığı 1.03 g, kök kuru ağırlığı

ğı 0.69g ile Trichoderma+AMF uygulamalarında elde edilmiştir. Genel olarak Trichoderma+AMF birlikteliği diğer uygulamalara göre büyüme ve gelişmede daha iyi sonuçları verirken, hastalık şiddetini de azaltmıştır (Mwangi vd., 2011).

SONUÇ

Günümüzde çevre kirliliği; su, hava, toprak kirliliği vb. şekilde sınıflandırılırken kirliliğe sebep olan kaynakların bilinmesi büyük önem taşınmaktadır. Artan nüfus ile birlikte kirlilik de artarken kirleticilerin çeşidi de artmaktadır. Kirleticiler doğal ve insan kaynaklı olabilmektedir. Kirlilik etmenleri genelde doğa tarafından ayrıştırılıp geri dönüştürülmeye çalışılırken insan kaynaklı kirleticiler doğanın bütünlüğünü bozmakta ve ekosistemde tehdit oluşturmaktadır (Kumar 2013). Bunun yanında insan sağlığı üzerinde de olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Özellikle tarımda kullanılan kimyasallar hem dolaylı olarak dışarıdan hem de doğrudan bu kimyasallar ile üretilen besinlerin tüketilmesi ile insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerini göstermektedir. Tüm bu sayılan olumsuzlukların önüne geçmek için tarımda organik uygulamalara geçmek, oluşacak zararın şiddetini azaltacak ya da önleyecektir. Bu organik uygulamaların arasında biyolojik uygulamalar büyük önem arz etmektedir. Mikorizal mantar uygulamaları da bunlar arasındadır. Mikorizal mantarlar; bitkinin besin elementi alımını artırarak beslenmesini sağlar, bitki büyüme ve gelişmesini arttırır, daha dayanıklı hale gelmesini sağlar, kullanılan kimyasal gübre ve pestisitlerin kullanımını azaltır ya da gerektirmez, üretimde girdi miktarını azaltır, iş gücü ve maliyetten tasarruf sağlar (Kurtar ve Ayan 2004). Tüm bu faydalarından dolayı organik üretimde büyük avantaj sağlayacak olan mikorizal mantarların kullanımının tarımda yaygın hale getirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akgül, H., Sevindik, M., Coban, C., Alli, H., & Selamoğlu, Z. (2017). New approaches in traditional and complementary alternative medicine practices: Auricularia auricula and Trametes versicolor. *J Tradit Med Clin Natur*, 6(2), 239.
- Akgül, H., Aslan, A., Akata, I., Günal, S., Bal, C., & Baba, H. (2021). Phenolic content and biological activities of *Trametes hirsuta*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30, 4130-4135.
- Akgül, H., Yılmazkaya, D., Akata, I., Tosunoğlu, A., & Bıçakçı, A. (2016). Determination of airborne fungal spores of Gaziantep (SE Turkey). *Aerobiologia*, 32, 441-452.
- Altunlu, H., Demiral, O., Dursun, O., Sönmez, M., & Ergün, K. (2019). Mikrobiyal gübre uygulamasının tatlı mısır (*Zea mays* L. var. *saccharata*) yetiştiriciliğinde bitki gelişimi ve verim üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50(1), 32-39.
- Anonim 1: https://obs.ahievran.edu.tr/oibs/akademik/shr_files/FILE_tnh9cfbdrhp111zchsmrfkg3legxu_duyuru.PDF (Erişim tarihi: 14.09.2023).
- Anonim 2: https://en.wikipedia.org/wiki/Ectomycorrhiza#/media/File:Suillus_luteus_G4.JPG (Erişim tarihi: 14.09.2023).
- Anonim3: https://en.wikipedia.org/wiki/Morchella#/media/File:Morchella_conica_1_beentree.jpg (Erişim tarihi: 14.09.2023).
- Anonim 4: https://en.wikipedia.org/wiki/Sarcosphaera#/media/File:Sarcosphaera_coronaria_42754.jpg (Erişim tarihi: 14.109.2023).
- Anonim 5: https://en.wikipedia.org/wiki/Leccinum_aurantiacum (Erişim tarihi: 14.09.2023).
- Baba, H., Sevindik, M., Er, A., Atay, M., Doğan, Y., Altaş, B., & Akgül, H. (2021). New four Mycetozoa records from South East Anatolia-Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(4), 3565-3574.
- Bal, C., Baba, H., Akata, I., Sevindik, M., Selamoğlu, Z., & Akgül, H. (2022). Biological Activities of Wild Poisonous Mushroom *Entoloma sinuatum* (Bull.) P. Kumm (Boletales). *KSU J. Agric. Nat*, 25(1), 83-87.
- Bano, S. A., & Ashfaq, D. (2013). Role of Mycorrhiza to Reduce Heavy Metal Stress. *Natural Science*, 2013.
- Beram, R.C., Beram, A., & Lehtijarvi, H.T.D. (2019). Fungal Endofitler ve Etkileşimleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 161-166.
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., & Bianciotto, V. (2016). Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit From Past Successes. *Frontiers in microbiology*, 6, 1559.
- Bıçıcı, M. (2011). Bitki Hastalık Etmenleri ile Biyolojik Mücadelenin Başarısını

- Arttırmada Mikoriza'nın Rolü. *Türkiye biyolojik mücadele dergisi*, 2(2), 139-174.
- Borowicz, V.A. (2001). Do Arbuscular Mycorrhizal Fungi Alter Plant–Pathogen Relations?. *Ecology*, 82(11), 3057-3068.
- Buil, P. A., Jansa, J., Blažková, A., Holubík, O., Duffková, R., Rozmoš, M., ... & Janoušková, M. (2022). Infectivity and Symbiotic Efficiency of Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi From High-Input Arable Soils. *Plant and Soil*, 1-19.
- Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E., & Reinhardt, D. (2018). Beneficial Services of Arbuscular Mycorrhizal Fungi–From Ecology to Application. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1270.
- Çakmakçı, R. (2005). Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakterilerin Tarımda Kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(1), 97-107.
- D Aljawasim, B., M Khaeim, H., & A Manshood, M. (2020). Assessment of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (*Glomus* Spp.) As Potential Biocontrol Agents Against Damping-Off Disease *Rhizoctonia solani* on Cucumber. *Journal of Crop Protection*, 9(1), 141-147.
- Dere, S., Coban, A., Akhoundnejad, Y., Ozsoy, S., & Daşgan, H. (2019). Use of Mycorrhiza to Reduce Mineral Fertilizers in Soilless Melon (*Cucumis melo* L.) Cultivation. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(4).
- Ediriweera, A. N., Karunarathna, S. C., Yapa, P. N., Schaefer, D. A., Ranasinghe, A. K., Suwannarach, N., & Xu, J. (2022). Ectomycorrhizal Mushrooms as a Natural Bio-Indicator for Assessment of Heavy Metal Pollution. *Agro-nomy*, 12(5), 1041.
- Eraslan, E. C., Altuntas, D., Baba, H., Bal, C., Akgül, H., Akata, I., & Sevindik, M. (2021b). Some biological activities and element contents of ethanol extract of wild edible mushroom *Morchella esculenta*. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 39(1), 24-28.
- Eraslan, E. C., Çırçırılı, B., Özkan, A., & Akgül, H. (2021a). Anticancer Mechanisms of Action of Macrofungus Extracts. *Eurasian Journal of Medical and Biological Sciences*, 1(2), 58-69.
- Eraslan, E. C., Korkmaz, A. İ., Uysal, İ., & Bal, C. (2022). Antioxidant Potential and Heavy Metal Accumulation of *Hygrocybe conica*. *Eurasian Journal of Medical and Biological Sciences*, 2(1), 1-5.
- Ergul, C. C., Dulger, B., & Akgul, H. (2005a). Myxomycetes of Mezit stream valley of Turkey. *Mycotaxon*, 92.
- Ergul, C. C., Dulger, B., Oran, R. B., & Akgul, H. (2005b). Myxomycetes of the western Black Sea region of Turkey. *Mycotaxon*, 93.
- Ergül, C. C., & Akgül, H. (2011). Myxomycete diversity of Uludağ national park, Turkey. *Mycotaxon*, 116(479), 1-16.
- Ergül, C. C., Akgul, H., & Oran, R. B. (2016). New records of Mycetoza taxa

- from Turkey. *Oxidation Communications*, 39(2), 1615-1623.
- Eryılmaz, G. A., & Kılıç, O. (2018). Türkiye’de Sürdürülebilir Tarım ve İyi Tarım Uygulamaları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4), 624-631.
- Eşit, M., & Yüce, M. İ. (2022). Çok Değişkenli Kuraklık Frekans Analizi ve Risk Değerlendirmesi: Kahramanmaraş Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(2), 368-382.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, KHM (2012). Bitkilerde Kuraklık Stresi: Genel Bir Bakış. *Bitkilerin kuraklık stresine tepkileri*, 1-33.
- Garmendia, I., Goicoechea, N., & Aguirreolea, J. (2004). Effectiveness Of Three *Glomus* Species in Protecting Pepper (*Capsicum annuum* L.) Against Verticillium wilt. *Biological Control*, 31(3), 296-305.
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., & Bending, G. D. (2006). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Organic Farming. *Agriculture, ecosystems & environment*, 113(1-4), 17-35.
- Gürgen, A., Sevindik, M., Yıldız, S., & Akgül, H. (2020). Determination of anti-oxidant and oxidant potentials of *Pleurotus citrinopileatus* mushroom cultivated on various substrates.
- Heydarian, A., Tohidi Moghadam, H. R., Donath, T. W., & Sohrabi, M. (2018). Study of Effect of Arbuscular Mycorrhiza (*Glomus intraradices*) Fungus on Wheat Under Nickel Stress *Agronomy Research* 16(4), 16601667.
- Hüseyin, E., Buelbuel, A. S., & Akguel, H. (2009). Some notes on micromycetes from Turkey. *Pakistan Journal of Botany*. 1(41).
- Kanwal, S., Bano, A., & Malik, R. N. (2016). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Phytoremediation of Heavy Metals And Effects On Growth And Biochemical Activities Of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Plants in Zn Contaminated Soils. *African Journal of Biotechnology*, 15(20), 872-883.
- Kara, Ö., & Tilki, F. (2001). Mikoriza ve Ormancılıkta Kullanımı. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 51(1), 127-139.
- Khaliq, A., Perveen, S., Alamer, K. H., Zia Ul Haq, M., Rafique, Z., Alsudays, I. M., ... & Attia, H. (2022). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Symbiosis to Enhance Plant–Soil Interaction. *Sustainability*, 14(13), 7840.
- Kibar, B., & Pekşen, A. (2007). Ektomikorizanın Tarım ve Ormancılık Bakımından Önemi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(2), 232-238.
- Kumar, S. R., Arumugam, T., Anandakumar, C., Balakrishnan, S., & Rajavel, D. (2013). Use of plant species in controlling environmental pollution. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 2(2), 52.
- Kurtar, E. S., & Ayan, A. K. (2004). Organik Tarım ve Türkiye’deki Durumu. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 19(1), 56-64.
- Latef, A. A. (2018). Growth and Some Physiological Activities of Pepper (*Capsi-*

- cum annuum* L.) in Response to Cadmium Stress and Mycorrhizal Symbiosis *J. Agr. Sci. Tech. (2013) Vol. 15: 1437-1448*
- Leopold, D. R. (2016). Ericoid Fungal Diversity: Challenges and Opportunities For Mycorrhizal Research. *Fungal Ecology*, 24, 114-123.
- Meddich, A., Ait Rahou, Y., Boutasknit, A., Ait-El-Mokhtar, M., Fakhech, A., Lahbouki, S., ... & Wahbi, S. (2021). Role of Mycorrhizal Fungi in Improving The Tolerance of Melon (*Cucumis melo*) Under Two Water Deficit Partial Root Drying and Regulated Deficit Irrigation. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 1-11.
- Mwangi, M. W., Monda, E. O., Okoth, S. A., & Jefwa, J. M. (2011). Inoculation of Tomato Seedlings with *Trichoderma harzianum* and Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Their Effect on Growth and Control of Wilt in Tomato Seedlings. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42, 508-513.
- Ortaş, İ. (2012). Mısır ve Biber Bitkileri Fosfor ve Çinko Alımı Açısından Mikorizaya Bağımlı Mıdır? *Bitki Besleme Dergisi*, 35 (11), 1639-1656.
- Öztürk, K. (2002). Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1).
- Rasmussen, H. N., & Rasmussen, F. N. (2009). Orchid Mycorrhiza: Implications of A Mycophagous Life Style. *Oikos*, 118(3), 334-345.
- Rosendahl, S. (2008). Communities, Populations and Individuals of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *New Phytologist*, 178(2), 253-266.
- Roussis, I., Beslemes, D., Kosma, C., Triantafyllidis, V., Zotos, A., Tigka, E., ... & Kakabouki, I. (2022). The Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Rhizophagus irregularis* on The Growth and Quality of Processing Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Seedlings. *Sustainability*, 14(15), 9001.
- Sarathambal, C., Sivaranjani, R., Srinivasan, V., Alagupalamuthirsolai, M., Subilla, K. P., & Anamika, B. (2022). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Inoculation on Growth, Mineral Nutrient Uptake, Photosynthesis and Antioxidant Activities of Black Pepper Cuttings. *Journal of Plant Nutrition*, 1-17.
- Selçuk, F., Erdoğan, M., Akgül, H., & Hüseyin, E. (2009). The genus *Septoria* Sacc. in Turkey. *Mycopath*, 7(1), 21-28.
- Sevindik, M., Akgül, H., Selamoğlu, Z., & Braidy, N. (2021a). Antioxidant, antimicrobial and neuroprotective effects of *Octaviania asterosperma* in vitro. *Mycology*, 12(2), 128-138.
- Sevindik, M., Özdemir, B., Braidy, N., Akgül, H., Akata, İ., & Selamoğlu, Z. (2021b). Potential cardiogenic effects of poisonous mushrooms. *Mantar Dergisi*, 12(1), 80-86.
- Sezen, İ., & Külekçi, E. A. (2020). Süs Bitkilerinin Gelişim Parametreleri Üzerine Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bakterilerin Etkisi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(Özel Sayı), 9-20.

- Sırdaş, S., & Şen, Z. (2010). Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması. *İtüdergisi/D*, 2(2).
- Soylu, S., Sülü, S. M., & Bozkurt, İ. A. (2016). Bitki Büyüme Düzenleyici ve Biyolojik Mücadele Etmeni Olarak Bakteriyel Endofitler. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(1).
- Sönmez, O., Aydemir, S. & Kaya, C. (2009). Mitigation Effects of Mycorrhiza on Boron Toxicity in Wheat (*Triticum durum*) Plants. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 37(2), 99-104.
- Sun, W., Yang, B., Zhu, Y., Wang, H., Qin, G., & Yang, H. (2022). Ectomycorrhizal Fungi Enhance The Tolerance of Phytotoxicity and Cadmium Accumulation in Oak (*Quercus acutissima* Carruth.) Seedlings: Modulation of Growth Properties and The Antioxidant Defense Responses. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(5), 6526-6537.
- Tedersoo, L., & Bahram, M. (2019). Mycorrhizal Types Differ in Ecophysiology and Alter Plant Nutrition and Soil Processes. *Biological Reviews*, 94(5), 1857-1880.
- Thirkell, T. J., Charters, M. D., Elliott, A. J., Sait, S. M., & Field, K. J. (2017). Are Mycorrhizal Fungi Our Sustainable Saviours? Considerations For Achieving Food Security. *Journal of Ecology*, 105(4), 921-929.
- van der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal Ecology and Evolution: The Past, The Present, and The Future. *New phytologist*, 205(4), 1406-1423.
- Yilmazkaya, D., Akgül, H., Altunoğlu, M. K., Tosunoğlu, A., & Biçakçı, A. (2019). Fungal spore calendar of Yalova province (2005). *Mantar Dergisi*, 10(2), 116-123.



BÖLÜM 6

ANTALYA'DA YAYILIŞ GÖSTEREN BAZI TIBBİ BİTKİLERLE YAPILAN ANTİKANSER ÇALIŞMALARI

*Meryem GÖKOĞLU¹, Emre Cem ERASLAN²,
Hasan AKGÜL³*

1 Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı
Antalya, Türkiye

2 Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Antalya, Türkiye

3 Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Antalya, Türkiye

GİRİŞ

Tıbbi bitkiler ilaç olarak eski çağlardan bugüne geleneksel olarak birçok hastalığın tedavisinde direkt ya da dolaylı yolla kullanılmakla birlikte günümüzde özellikle gelişmekte olan ülkelerde birincil sağlık ihtiyaçları için vatandaşlarının büyük bir kısmı geleneksel olarak süregelen tıbbi bitkilere bağlıdır. Birleşik Krallık'taki Kew Kraliyet Botanik Bahçesi'nin sunduğu Dünyanın Bitkileri ve Fungus durumu 2020 raporuna göre 325 bini çiçekli bitkilerin oluşturduğu yaklaşık 350 bin kabul edilmiş tür literatüre kaydedilmiştir. Bu sayının yanı sıra her geçen gün yeni bitkilerin tanımlanıp eklendiği unutulmamalıdır. Bu sayıya Funguslar eklenmemiş olup aynı raporda 148 bin tür tanımlandığını ancak hala %90 dan fazla fungus türünün bir yerlerde keşfedilip tanımlanmayı beklediğini tahmin etmektedirler.

Dünya sağlık örgütüne verilerine göre tüm fitocoğrafik bölgelerde var olan bitki çeşitliliğinin içerisinde 20 bin kadar bitkide tıbbi etkilerinin olduğu ifade edilmektedir. Başlıca da tedavi etme, tatlandırma, kokulandırma ya da renklendirme amacıyla ilaç, gıda, parfümeri ve kozmetik gibi birçok sanayi dalında üretilen ürünlere hammadde olarak kullanılırken (Faydaoğlu ve ark., 2011), son dönemlerde bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin göze hoş gelmesinden ve yaydığı hoş kokudan dolayı peyzaj alanında ön plana çıkmaya başladığı görülmektedir (Sönmez ve ark., 2016).

Tıbbi ve aromatik bitkilerle tedavi birincisi alternatif tedavi amacı güdülerek ikincisi destekleyici (alternatif) tedavi olarak iki yolla tercih edilebilir. Literatürün genelinde bilimsel tedaviye seçenek olarak sunulan ve etkisi tam olarak kanıtlanmamış tedaviler için alternatif tedavi, tıbbi tedavi uygulanırken tıbbi bitki destek amaçlı kullanıldığı durumlara ise tamamlayıcı tedavi denilmiştir.

Doğada bulunan her bitkinin kendine has bileşenleri ve biyolojik aktiviteleri bulunur. (Dogan ve ark., 2013; Pehlivan ve ark., 2013a; Pehlivan ve ark., 2013b; Dogru ve ark., 2014; Dogan ve ark., 2015; Erdogan ve ark., 2015; Dogan ve ark., 2017; Sevindik ve ark., 2017; Dogru ve ark., 2018; Pehlivan ve ark., 2018; Polat ve ark., 2018; ; Erdemli ve ark., 2018; Mohammed ve ark., 2018a; Mohammed ve ark., 2018b; Mohammed ve ark., 2019a; Mohammed ve ark., 2019b; Ege ve ark., 2020; Akgul ve ark., 2020; Mohammed ve ark., 2020a; Mohammed ve ark., 2020b; Mohammed ve ark., 2020c; Mohammed ve ark., 2021a; Mohammed ve ark., 2021b; Mohammed ve ark., 2022; Unal ve ark., 2022; Akgül ve ark., 2022). Bitkilerden elde edilen bu bileşenler yetişirken kaldığı maruziyete daha açıklayıcı bir ifadeyle yetiştirme koşullarına, toplanma zamanına ve toplandıktan sonraki saklama koşulları, süreleri ve kullanım şekilleri gibi faktörlere bağlı olarak anlamlı farklılıkların tespit edildiği çalışmalar literatürde mevcuttur.

Kanser, bir organizmanın DNA dizisinde çevresel (%90-95) veya kalıtsal faktörlere (%5-10) bağlı olarak (Anand ve ark., 2008) oluşan bazı anomalilerin gerçekleşmesiyle hücre için gerekli olan emirlerin verilememesi ve hücredeki DNA tamir mekanizmalarının ise bertaraf edememesi sonucu hücrelerin klonal olarak büyümeye devam ettiği komplike bir somatik genetik durumdur. Dünya üzerinde WHO 2020 verilerine göre 10 milyon bireyin yaşamını kaybetme nedeni olan kanser hastalığı hem Türkiye’de hem de Dünyada en fazla ölüm nedeni sıralamasında 2. sırada yer almaktadır. Bu durumun nedenlerinden bahsedecek olursak tütün ve alkol gibi bağımlılıklar, fiziksel aktivitelerin azalması, vücut kitle indeksinin değerinin yüksek oluşu, karsinojenik enfeksiyonların yanı sıra artan ve yaşlanan nüfus gibi risk faktörler önümüzdeki yıllarda bu sayının artarak devam edeceği senaryolarını güçlendirmektedir. Ayrıca 2018 yılında yapılan çalışmanın bulgularına göre dünya genelinde teşhis edilen kanser vakalarının %13’lük bir diliminde kanser oluşum nedeni karsinojenik enfeksiyonlara bağlanabilir. Human papilloma virüs (HPV), *Helicobacter pylori* gibi virüslerde bu grupta yer almakta olup kanser oluşumu için riski yükselten faktörlere örnek teşkil etmektedir (de Martel ve ark., 2020). Aslında bakıldığında birkaç istisna dışında çevresel nedenlerin tetikleyicisi olarak çoğunlukla antropojenik etkinin çevreye olan etkileri ve iklim değişikliğinin etkileri olarak özetlenebilir.

Toplumun azımsanmayacak bir bölümü ciddi bir rahatsızlık olan kanser hastalığının oluşumunu önleme ya da tedavi etme amaçlı birçok bitkiden faydalanmakta olup kimileri uygulamada bitkileri tamamlayıcı tedavi amaçlı olarak kimileri de alternatif tedavi amaçlı şifa yollarını izlemektedirler. Türkiye’de tamamlayıcı ve alternatif tedavi (TAT) ortalama kullanım sıklığı %46 bulunmuştur (Kav ve ark., 2008). Samur ve ark. (2001) de yayınlanan çalışmanın bulgularına göre değerlendirdikleri 135 vakanın %50 si TAT kullanmalarının ve devam etmelerinin yanı sıra hastalık süresinin TAT kullanımıyla ilişkili bulmuştur. Bir başka TAT konusunda çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalarda kullanım sıklığının %7 ile %64 arasında olduğu (ortalama %31,4) belirtilmektedir (Ernst, 1998). Yapılan tüm bu çalışmalar bize; TAT’ın kanser hastalığına karşı tedavi amaçlı kullanım eğiliminin giderek arttığını göstermektedir. Türkiye’nin dahil edildiği 14 Avrupa ülkesinde yürütülen bir çalışmada sadece kanser hastalarını örnek alınmış ve sonucunda TAT kullanım oranının %36 olduğu ve %15-%73 arasında geniş bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir (Molassiotis ve ark., 2005). Yapılan bu çalışmanın sonucunu Ernst’in 1998’de vermiş olduğu maksimum kullanım sıklığının üzerinde bir eğilim olduğunu göstermektedir. Bu durum başta TAT kullanımının bireylerde var olan rahatsızlıkların ne olduğu ile kullanım tercihinin değişip değişmediğini akıllara getirmektedir.

Medikal anlamda kanser tedavisi için kullanılan bitkilerin bileşenleri bakımından anti-kanserojen anti-protetik özellikte olup aynı zamanda geleneksel terapötiklere göre daha az toksik olmaları nedeniyle diğer bitkilerden ayırt edilmektedir. Geleneksel Çin tıbbında kullanılan antikanser ilişkili 112 tıbbi bitki türünün fenolik içerikleri ve antioksidan aktivitesi parametrelerine bakılarak antioksidan madde ve fenolik bileşiklerin totali arasında doğrusal ilişki olduğu yani fenolik bileşikleri test edilen şifalı bitkilerde antioksidan bileşenlerin baskın olarak bulunduğu tespit edilmiştir (Yizhong ve ark., 2004).

Hindistan nüfusunun büyük bir kısmı tıbbi ve aromatik bitkileri birçok alanda kullanılmaktadır. Nitekim Hindistan’da yapılan bir çalışmada Hint halkının geleneksel olarak tedavi amacıyla kullandığı 82 bitkiden 56 sınıfın antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir (Ahmad ve ark., 1998).

Bangladeş halk tıbbında kullanılan bitkilerin antikanser potansiyeline karşı 2005’te yapılan çalışmada incelenen 11 tıbbi bitkinin 8 inin düşük aktivite gösterdiği ayrıca geriye kalan 3 bitkinin (*Oroxylum indicum* (L.) Kurz, *Moringa oleifera* Lam. ve *Aegles marmelos* (L.) Correa) özlerinin potansiyel antikanser bileşiklerinin kaynağı görülmesi gerektiği ifade edilmiştir (Leticia ve ark., 2005). 2003’teki çalışmada ise *Aegles marmelos* (L.) Correa meyvesinden elde edilen ekstraktların insan tümör hücreleri üzerindeki etkisine bakılmış ve MCF7 and MDA-MB-231 hücre hatlarının dizilerinin *in vitro* koşulda proliferasyonunu inhibe ettiği tespit edilmiştir (Lampronti ve ark., 2003).

Lipofilik yapıda olan uçucu yağlar, hücre içindeki etkilerini plazma zarını geçerek gösterirler (Griffiths, 2005).

Türkiye’de özellikle son yıllarda kanser hücre oluşumunu önleme veya kanseri tedavi etmede tamamlayıcı bir tedavi olarak birçok tıbbi bitki kullanımının prevalansı yüksektir (Kav ve ark., 2008; Özgüç ve ark., 2018). Örneğin doğal bitkisel tedaviye olan ilginin artmasının nedenlerinden birisi kanser tedavisinde çalışılan en önemli mekanizmalardan biri olan apoptotik mekanizmalara etkili çoğu kemoterapötikler sağlıklı olan diğer hücreleri ayırt etmeden etki göstermesi gösterilebilir (Gökhan, 2021). Aslında burada oluşan inanışın temeldeki nedeni endemik bitkilerin kullanılarak yeni olumlu sonuçların elde edildiği kanser tedavi çalışmalarının artmasıdır.

Origanum acutidens (Hand.-Mazz.) Ietswaart.’in literatürde esansiyel yağ içerik analizini, *Origanum acutidens*’in hem yabani hem de kültürlenmiş formunun ana bileşenlerinin karvakrol ve p-simen olduğu tespit edilmiştir (Gökhan, 2021). Yapılan birçok çalışmada ana bileşenleri karvakrol ve p-simen olan birçok esansiyel yağın antikanser etkilerinin benzer olduğu gösteren çalışmalar bulunmasının (Lambert ve ark., 2001; Essien

ve ark., 2016; Ozkan ve Erdogan, 2011) yanında *Origanum acutidens* 'in H_2O ile hazırlanan ekstraktının MCF-7, MDA-MB-468 ve MDAMB-231 gibi meme kanseri hücrelerinde sitotoksik etkilerinin olduğunu işaret eden çalışmalar da vardır (Tuncer ve ark., 2013).

Türkiye'nin endemizm oranına ve endemik bitki envanterine bakıldığında alternatif tamamlayıcı tedavi potansiyeli gözler önündedir ve sevindiricidir.

MATERYAL VE METOT

Antalya ilinde yayılış gösteren tıbbi bitkilerin antikanser çalışmaları literatür taraması ile tespit edilmiştir. Elde edilen makalelerde çalışılan bitkiler, kanser hücre serileri ve kanser hücrelerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular makale bazında bitki-bitki verilmiştir.

BULGULAR

Makale taraması sonucu elde edilen verilen incelenmesi ile tespit edilen bitkiler, özellikleri, kanser hücre serileri ve kanser etkileri bilgileri derlenmiş ve aşağıda bilgi ve tablo olarak (Tablo 1) verilmiştir.

Asteraceae

Artemisia absinthium L.

Artemisia cinsi ülkemizin çeşitli bölgelerindeki doğal alanlarda 30 türle temsil edilir (Bizimbitkiler, 2013). Antalya bölgesinde *Artemisia* familyasını temsil eden 5 tür bulunmaktadır. *Artemisia absinthium* L. halk arasında yavşan otu, pelin otu, acı yavşan, acı pelin ve ak pelin gibi farklı isimlerle bilinmektedir.

Artemisia absinthium L. türünden elde edilen metanolik ekstraktın antioksidan etkisinin olduğu ve içerik analizinde en çok klorojenik asitin olduğu belirtilmiş kinik asit, sinamik asit, rhoifolin ve malik asitin bulunduğu belirtilmiştir. *Artemisia absinthium* L ekstraktının sitotoksik olarak ECC-1 ve DLD-1 kanser hücreleri üzerinde anlamlı bir aktivite gösterdiği, HEK-293 hücreleri üzerinde ise sitotoksik aktivitesinin düşük olduğu yapılan çalışmada bulunmuştur (Koyuncu, 2018).

Centaurea solstitialis L. subsp. *solstitialis* L.

Centaurea solstitialis L. subsp. *solstitialis* L. bitkisinden elde edilen ekstralla yapılan çalışmada doğal antioksidan ve antikanser ajanların yeni ve alternatif kaynağı olarak önermiştir. *Centaurea solstitialis* L. subsp. *solstitialis* L. Hücre canlılığı üzerinde yüksek inhibitör etkisinin olduğu ve yüksek miktarda Caffeic asid bulunur (Alper ve ark. 2021).

Asparagaceae

Asparagus acutifolius L.

Asparagus cinsi ülkemizin çeşitli bölgelerindeki doğal alanda 15 türle temsil edilir. 15 türden 3'ü endemik olup bunlar; *Asparagus coodei* P.H. Davis *Asparagus lycaonicus* P.H.Davis *Asparagus lycicus* P.H.Davis'tir. *Asparagus* cinsinin Antalya bölgesinde 1'i endemik 2 türünün doğal yayılış alanı Antalya bölgesidir (Bizimbitkiler, 2013).

Asparagus acutifolius L. ekstraktı akciğer kanseri A549 hücre dizisi üzerinde test edilmiş yüksek antioksidan potansiyele sahip olduğu bulunmuş ve ayrıca antimikrobial aktivitesi olduğu agar seyreltme yöntemiyle yapılan çalışmada tespit edilmiştir (Muhammed ve ark., 2021). Yapılan çalışmada geçen diğer bitki ise *Asparagus officinalis* L. olup antifungal antimikrobiyal ve potansiyel antioksidan etki her iki bitkide de paralellik göstermektedir.

Lamiaceae

Mentha longifolia (L.) Hudson subsp. *typhoides* (Briq.) Harley var. *typhoides* (L.) Hudson,

Calamintha nepeta (L.) Savi subsp. *nepeta* (L.) Savi,

Thymus convolutus Klokov,

Thymus kotschyanus Boiss. Et Hohen. var. *glabrescens* Boiss.

Mentha L. cinsi Türkiye'de doğal alanlarda 15 tür ve tür altı seviyesinde yayılış gösterir. Antalya bölgesinde 7 tür ve tür altı seviyesinde doğal alanlarda yayılış gösterir. *Thymus kotschyanus* var. *glabrescens*, *Thymus convolutus* Klokov (Endemik); *Thymus* L. cinsi 48 taksonla Türkiye'de yayılış gösterir. Antalya bölgesinde de 1'i endemik 9 taksonla yayılış gösterir. *Satureja cuneifolia*, Türkiye'de *Satureja* cinsi 17 taksonla temsil edilir. Antalya bölgesinde 4 taksonla yayılış gösterir. *Lamiaceae* familyasına ait *Calamintha* MILLER cinsi Türkiye'de doğal alanlarda 53 tür ve alttür seviyesinde temsil edilmektedir. 14 tür alttür seviyesinde Antalya bölgesinde görülür ve bu 14 türün 3'ü endemiktir (Bizimbitkiler, 2013).

Mentha longifolia subsp. *typhoides* var. *typhoides*, *Thymus kotschyanus* var. *glabrescens*, *Thymus convolutus* Klokov, *Satureja cuneifolia* türlerin Osmaniye'den elde edilen örneklerinin uçucu yağının ana bileşenleri Nepetalakton, timol, piperiton oksit ve karvakrol olarak tespit edilmiştir. Diğer bitkilerden elde edilen uçucu yağa göre *Calamintha nepeta* subsp. *nepeta* dan elde edilen uçucu yağın hücre hareketliliğini azalttığı ve hücre apoptozunu tetiklediği bulunmuştur. Yine aynı çalışmada *Satureja cuneifolia* A549 hücreleri üzerinde geç apoptozda yüksek konsantrasyonda apoptotik etki gösterdiği *Calamintha nepeta* subsp. *Nepeta* A549 hücrelerinin

ise hareketliliğini anlamlı düzeyde baskıladığı tespit edilmiştir (Kilinç, ve ark., 2022).

***Cyclotrichium origanifolium* (Labill.) Manden. Et Scheng,
Thymus revolutus Celak.**

Türkiye’de *Cyclotrichium* cinsi 6 tür alttür seviyesinde temsili vardır. *Cyclotrichium origanifolium* (Labill.) Manden. Et SCHENG Antalya bölgesinde *Cyclotrichium* cinsini temsil eden yayılışı olan bilinen tek türdür. *Thymus* cinsi ise ülke genelinde 48 taksonla, Antalya bölgesinde ise 1’i endemik 9 taksonla yayılış gösterir. Antalya da yayılış olan *Thymus* cinsi tek endemik tür *Thymus revolutus* Celak. dir. Göktürk ve ark., 2013 yılında yaptıkları çalışmada bu iki türün esansiyel yağ içeriklerinin Carvacrol, timol, p -cimene ve borneol ağırlıklı olduğunu ve esansiyel yağlarının ana bileşen olarak bisiklo[3.1.1]hepten-3-on, 2,6,6-trimetil-,(1.α, 2.β, 5.α), pulegon ve 2-siloheksen-1-ol, 1-metil-4-(1-metiletil),- cis içerdiği bulunmuş. Aynı çalışmada *Cyclotrichium origanifolium* (Labill.) Manden. Et Scheng ve *Thymus revolutus* Celak esansiyel yağının%0,2 ve %0,5’lik konsantrasyonlarında hiçbir inhibisyon etkisinin olmamasının yanı sıra %1-%2 lik konsantrasyonlarda Gram (+) bakterilere karşı antibakteriyel aktivite göstermesine karşın *Mycobacterium smegmatis*’e karşı ise bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmanın bulguları arasında Gram (+) bakterilerin Gram (-) bakterilerden daha fazla esansiyel yağlara ve ekstraktlara duyarlı olduğu açıkça ifade edilmiştir (Göktürk ve ark., 2013).

***Salvia caespitosa* Montbret & Aucher ex Benth (Endemik),**

***Salvia marashica* İlçim, Celep & Doğan (Endemik)**

Salvia cinsi Türkiye’de 114 taksonla yayılış göstermektedir (Bizimbitkiler, 2013). Antalya bölgesinde doğal alanlarda yayılış gösteren endemik olan *Salvia caespitosa* Montbret & Aucher ex Benth ve *Salvia marashica* İlçim, Celep & Doğan metanol ekstraktı çıkarılarak yapılan bir araştırmaya göre tür üzerinde antifungal aktivite bulguları dikkat çekici olduğu özellikle *Candida parapsilosis* üzerine oldukça yüksek etkilere sahip olduğu görülmüştür. Öte yandan antioksidan analizi sonucu *Salvia marashica* ve *Salvia caespitosa* bitkilerinin 1 mg/ml’de yaklaşık %75 oranında antioksidan aktiviteye sahip olduğu bildirilmiştir. Her iki *Salvia* türünün de MCF-7 Hücre hattı üzerinde sitotoksik etkiye sahiptir (Bostancı ve ark., 2022).

***Salvia pisidica* Boiss. et Heldr. (Endemik)**

Antalya’da doğal alanlarda yayılışı olan endemik bir tür *Salvia pisidica* Boiss. Et Heldr ekstraktı kullanılarak yapılan bir çalışmada türün hem doğal hemde kültür formları değerlendirilmiş her iki formundan da çıkarılan esansiyel yağın kanser hücrelerinde yüksek oksidanın neden olduğu

sitotoksitesiyi anlamlı olarak azalttığı ve her iki formdan elde edilen esansiyel yağın Hep G2 ve H1299 hücreleri üzerinde anti tümöral etkisi bakımında farklı farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Özkan ve ark., 2010). *Salvia psidica*'nın doğal ve kültür formundan elde edilen sulu ekstraktın linoleik asit oksidasyonunun inhibisyonu (%50,93 ve %59,66) uçucu yağlardan daha düşük olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra Yabanıl ve kültür formundan elde edilen uçucu yağlar, sulu ekstraktlara göre daha yüksek indirgeme gücü aktivitesine ve hidroksil radikal temizleme aktivitesine sahiptir (Özkan ve ark., 2010).

***Salvia virgata* Jacq.**

Salvia virgata Jacq toprak üstü ekstraktlarında ana bileşen olarak sırasıyla rosmarinik asit, kafeik asit ve lutelin-7-O-glikozit olarak tespit edilmiştir (Karatoprak ve ark., 2008). *Salvia virgata* Jacq.'ın toprak üstü kısımlarının metanol ve su ekstresinin fenolik içeriği ve antioksidan özellik durumunun tespiti üzerine yapılan çalışmada Metanol ekstresi DPPH radikalini süpürücü etkide aktif bulunurken, su ekstresi ABTS radikalini süpürücü etkide aktif bulunmuştur. Metanol ekstraktının fenolik bileşiminin daha zengin olduğu ve her iki ekstrede de rosmarinik asitin ana bileşen olduğu tespit edilmiştir (Karatoprak ve ark., 2016).

***Sideritis stricta* Boiss & Heldr. (Endemik)**

Sideritis cinsi Türkiye'de 61 taksonla temsil edilir. Antalya bölgesinde 28 taksonu yayılış gösterir bu 28 taksonun 16'sı endemiktir. Erdoğan ve ark. (2018) yapmış olduğu çalışmada endemik bir bitki olan *Sideritis stricta* Boiss & Heldr. uçucu yağı parental H1299 hücrelerine ve epirubicin-HCl dirençli H1299 hücreleri üzerinde uygulama yapılmıştır. Parental H1299 hücreleri sitotoksik etkilerine duyarlı olmasının yanı sıra *Sideritis stricta* Boiss & Heldr. bitkisinden elde edilen uçucu yağ, zaman ve konsantrasyona bağlı olarak daha seçici etkiler göstermektedir. Şöyle ki hem parental hem de epirubicin-HCl dirençli H1299 hücrelerinde malondialdehit seviyesinde artışa neden olmaktadır. Ek olarak parental H1299 hücrelerinde ve epirubicin-HCl dirençli H1299 hücrelerinde en yüksek membran hasarına nedeni doğrusal olarak en yüksek konsantrasyondur (Erdoğan ve ark., 2018).

***Stachys aleurites* Boiss. Et Heldr. Apud Benth (Endemik)**

Lamiaceae familyasına ait kozmopolit bir cins olan *Stachys L.*, 270'ten fazla tür içerir (Meremetietal, 2004). *Stachys* cinsi Türkiye'de 120 taksonla yayılış gösterir (Meremeti ve ark., 2004). Antalya bölgesinde 35 taksonla yayılış gösterir (Bizimbitkiler, 2013).

Özkan ve arkadaşları 2006 yılındada Antalya bölgesinde doğal alanlarda yayılışlı endemik 3 bitki türü; *Stachys pinardii* Boiss, *Stachys cretica*

L. subsp. mersinaea (Boiss.) Rech., ve *Stachys aleurites* Boiss. Et Heldr. Apud Benthan uçucu bileşenlerinin ve toplam fenolik içerikleri çalışılmış olup 3 tünde ana bileşenlerinin farklı olmasına rağmen bileşenlerin hepsinin ninispeten yüksek konsantrasyonda seskiterpen hidrokarbon olduğu ifade edilmiştir. Ana bileşenler α -kurkumen, tetradekanol, (Z)- β -karyofillen, karyofillen dioksit, germakren D, humulen oksit ve β -bourbonene içermektedir. *Stachys cretica* subsp. *mersinaea* Cedrendi, karyofillen dioksit, α -humulen, humulen oksit, germacrene D, Karyofillen oksit, α -bisabolen, alloaromadrene, γ -cadinene, δ -cadinene, β -eudesmol, α -cubene ve β -bourbonene olarak bulunmuştur. *Stachys pinardii*'nin ana bileşenleri ve *Stachys aleurites*'in ana bileşenleri (Z)- β -karyophyllene, karyofillen dioksit, α -humulen, karvakrol ve germacrene D olarak tespit edilmiştir. Farklı *Stachys* cinsine ait türler üzerinde yapılan antioksidan, oksidan, antienflamatuvar antimikrobiyal etkileri çalışılmıştır ancak daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır (Özkan ve ark., 2006).

***Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart.(Endemik)**

Lamiaceae familyasında bulunan *Origanum* L. cinsi 21'i Türkiye'ye endemik olmak üzere 22 tür veya 32 taksonla Türkiye'de doğal olarak yayılış göstermektedir (Bizimbitkiler, 2013). *Origanum*'un bilinen 52 taksonunun %60'ının Türkiye'de yetiştiği kayıtlara geçmiştir (Akgül ve Kıvanç, 1988).

Origanum acutidens'in yabani ve kültürlenmiş formlarından elde edilen uçucu yağları H1299 ve A549 hücrelerinde ve kontrol gruplarında lipit peroksidasyonunun son ürünü olan Malondialdehit (MDA) düzeylerini artırdığı tespit edilmiştir. Daha yüksek konsantrasyonlarda karvakrol, timol öjenol, okaliptol, terpinen-4ol ve kafur, hem ebeveyn hem de epirubisine dirençli H1299 hücrelerinde MDA seviyelerini artırarak membran hasarına neden olduğu bildirilmiştir (Ozkan ve ark., 2011; Ozkan ve ark., 2011). Dolayısıyla *Origanum acutidens*'in uçucu yağlarının bildirilen etkileri sebebiyle yeni antikanser ilaçlarının üretiminde kullanılabilecek potansiyeli yüksek Antalya bölgesinde doğal yayılışı olan yabancı bitkidir.

***Origanum majorana* L. (Endemik)**

Lamiaceae familyasına ait *Ornithogalum* cinsi 68 taksonla Türkiye'de doğal alanlarda yayılış gösterir. Antalya bölgesinde doğal alanlar 26 taksonun, bunun da 10'u endemik olarak yayılış göstermektedir (Bizimbitkiler, 2013).

Origanum majorana L. bitkisinin yabani ve kültür formlarından yapılan bileşen analizinde ana bileşenin karvakrol olduğu, linalool'un karvakrolü takip ettiği bilinir (Ozkan ve ark., 2011; Erdogan ve Ozkan, 2017). *Origanum majorana* L. Yağının ana bileşenleri sırasıyla karvakrol (%52,5)

ve linalool (%45,4) olarak tespit edilmiştir. Esansiyel yağ esas olarak oksijenli monoterpenlerden (%98,2) oluşurken, monoterpen hidrokarbonlar zayıf bir şekilde (%1,7) tespit edilmiştir.

Diğer *Origanum* türleri ile karşılaştırıldığında, *Origanum majorana*'dan elde edilen uçucu yağın DPPH radikal temizleme aktivitesinin *Origanum vulgare* ssp.'den daha yüksek olduğu bulunmuştur (Erdogan ve Özkan, 2017). Esansiyel yağın ve oksijenli monoterpen bileşeni linalolün, Hep G2 hücreleri üzerindeki güçlü oksidan H₂O₂'ye karşı koruyucu etkisini araştıran diğer çalışmada H₂O₂ sitotoksitesine karşı hücre canlılığını arttırdığı dolayısıyla uçucu yağ ve linalool'ün H₂O₂ kaynaklı sitotoksitesiyi azaltabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Erdogan ve Özkan, 2017). Ancak Esansiyel yağ ve linaloolün membrana zarar veren etkileri konsantrasyonların artmasıyla arttığı ve Linalool'ün membrana zarar veren etkisi, esansiyel yağın membrana zarar veren etkisinden daha güçlü olduğunu bildirmişlerdir (Erdogan ve Özkan, 2017). Bu durum uçucu yağların ve linaloolün sitotoksitesini etkileyeceği için Hep G2 hücreleri üzerinde uçucu yağ ve linaloolün değişen sitotoksik etkilerinin olabileceğini gösterir. Antalyada doğal yayılışı olan *Origanum majorana* bitkisi bileşenlerindeki linalool'ün ikinci ana bileşen olarak tespit edilmesi ve antitümoral özellikleri ile hepa-selülüler karsinom tedavisi için potansiyel taşıdığını gösterir.

***Origanum onites* L.**

Origanum onites (Lamiaceae) esansiyel yağı ve iki fenolik bileşeni (timol ve karvakrol) Hep G2 hücrelerinde membran hasarına neden olduğu tespit edilmiştir (Ozkan ve ark., 2011). *Origanum onites*'den elde edilen esansiyel yağ, daha yüksek konsantrasyonlarda kanser hücresi canlılığını azalttığı tespit edilmiştir. Esansiyel yağın Hep G2 hücreleri için karvakrol ve timolden daha az sitotoksik olduğu bildirilmiştir. Öte yandan, *O. onites* esansiyel yağı ile karvakrol ve timol, hücreler yağ ve bileşenleri ile daha düşük bir konsantrasyonda ön inkübasyona tabi tutulduğunda hücreleri H₂O₂ kaynaklı sitotoksitesiyeye karşı koruduğu ortaya çıkarılmıştır (Ozkan ve ark., 2011).

***Rosmarinus officinalis* L.**

***Populus alba* L.**

Rosmarinus cinsi ise Türkiye'de yayılışı olan 1 taksonu Antalya bölgesinde yetişir *Populus* cinsi 14 taksonla Türkiye'de yayılış gösterir Antalya bölgesinde 8 takson görülür. (Bizimbitkiler, 2013).

Sitotoksik aktivite ile ilgili olarak *Rosmarinus officinalis* L. esansiyel yağı, *Populus alba* L. ile karşılaştırıldığında hücre proliferasyonunun güçlü inhibisyonuna sahiptir. Ayrıca *Rosmarinus officinalis* L.'den elde edilen esansiyel yağın daha yüksek antioksidan ve lipit peroksidasyon kapasite-

lerine sahip olduğu yapılan çalışmada bildirilmiştir.: Her iki bir türünde esansiyel yağların güçlü antiproliferatif, sitotoksik ve güçlü antioksidan özellikler sergilediğini ve dolayısıyla kanser tedavisinde potansiyel uygulamalara sahip olabileceğini göstermektedir (Gezici ve ark. 2017).

***Stachys bombycina* Boiss.**

Stachys L., 270'ten fazla tür içerir ve Lamiaceae'nin en büyük türlerinden biri olarak kabul edilir (Meremetietal.2004). *Stachys bombycina* Boiss. bu cinsin 81 Türkiye endemik türünden biridir (Bhattacharjee,1982).

Delazar ve arkadaşları 2005'te yapmış oldukları çalışmada iki açılmış flavonoid glikozitlerin serbest radikal temizleme aktivitesini incelemiştir. Bu inceleme sonucunda bitkinin radikal temizlemede etkili olduğu görülmüştür. Bitkinin sahip olduğu bileşiklerin içerikleri incelenmiş ve çalışmada *S.bombycina*'nın toprak üstü kısımlarından yeni doğal bileşen elde edilmiştir.

***Ziziphora clinopodioides* Lam.**

Ziziphora cinsi 11 taksonla Türkiye'de yayılış gösterir. Antalya bölgesinde 3 taksonla yayılış gösterir (Bizimbitkiler, 2013).

Özkan ve ark. 2020 *Ziziphora clinopodioides* Lam Antioksidan, antikolinesteraz, antimikrobiyal ve antikanser aktivitelerini araştırmıştır. Araştırmanın sonucunda *Ziziphora clinopodioides* LAM kinik asidin, malik asidin ve rhoifolin ana bileşenler olduğu tespit edilmiştir. Bu bileşikler *Ziziphora clinopodioides* Lam toprak üstü kısımlarından ve kök ekstraktlarında bol miktarda bulunan bileşiklerdir. Antioksidan aktivite olarak toprak üstü kısım ekstraktının kök ekstraktına göre daha güçlü ABTS katyon radikali ve DPPH serbest radikal temizleme aktivitesine sahip olduğunu gösterdi. Ekstraktlar, 100 µg/mL'de 1,74 absorbans değeriyle orta dereceli kuprik indirgeme aktivitesi gösterdiği bildirilmiştir. Toprak üstü ve kök ekstraktlarının her ikisinin *Candida tropikalıs*'e karşı orta düzeyde antifungal aktivite göstermektedir. Ekstraktların COLO205, KM12 hücre hatlarına karşı ve Renal A498, UO-31 hücre hatlarında sitotoksik aktivite göstermemiştir. Ayrıca ekstraktların osteosarkom MG63.3, MG63 hücre dizilerine karşı metastatik anlamda potansiyeli bulunmamaktadır. *Ziziphora clinopodioides* vücuda herhangi bir zararlı etkisinin bulunmamasının yanı sıra sağlık açısından yüksek yararlarının olduğu zengin fitokimyasal bileşenleri barındırmaktadır (Özkan ve ark., 2020).

Fabaceae

***Ebenus boissieri* BARBEY (Endemik)**

Fabaceae familyasına ait *Ebenus* cinsi Türkiye'de 16 tür ve alttür seviyesinde temsil edilir (Bizimbitkiler, 2013). Antalya bölgesinde 5 tür

tamamı endemik olarak doğal alanlarda yayılış gösterir. *Ebenus boissieri* Barbey türünün bitki toprak üstü kısımlarının ve köklerinden elde edilen ekstraktla insan rahim ağzı kanseri hücre dizisi HeLa'da apoptotik etkisi incelenen çalışmada apoptotik süreçte önemli rolü olan kaspaz enziminin düzeylerinde önemli artışa neden olduğu bulunmuştur. Çalışma özellikle kaspaz-3 enzim aktivitesinde keskin indüksiyonun olduğu ve ekstraktla tedavi edilen gruplarda dozajına bağlı olarak TNF-a ve IFN-y seviyelerinin yüksek olduğu sonucu yapılan çalışmada rapor etmiştir (Şimşek ve ark., 2017).

Ebenus boissieri BARBEY türünün hidroalkolik ekstraktlarıyla yapılan diğer bir çalışmada meme kanseri MDA-MB231 hücreleri ve kanserli olmayan insan embriyonik böbrek hücre dizisi 293T üzerindeki sitotoksik ve immünomodülatör etkileri araştırılmış ekstraktının bileşeni kaspaz, TNF-alfa ve IFN-gama düzeylerini değiştirerek meme kanseri hücrelerinde apoptozu indüklemesinin yanı sıra in vitro olarak kanser hücrelerine karşı seçiciliğinin yanı sıra potansiyel antitümör ve immünomodülatör aktivite gösterdiğinin ortaya koymuştur. Şöyle ki bitkiden elde edilen kök ekstraktları 1000 µg/mL'ye kadar olan konsantrasyonlarının MDA-MB231 hücrelerine muamelesinin TNF-alfa ve IFN-gamma seviyeleri önemli ölçüde arttırdığı da görülmüştür (İmir ve ark., 2016). *Ebenus boissieri* Barbey bitkisi ile yapılan diğer bir çalışmada akciğer kanseri hücre dizisi olan A549 hücre hattında çalışılmış, hidroalkolik ekstraktların tüm kaspazlarda artış görülmüş ve hücrelerin apoptozu uğramasını indüklediği tespit edilmiştir. Kaspaz-3 aktivitesini, TNF-a ve IFN-y salınımını artırarak apoptozu indüklediği ve ekstrakt ile tedavi edilen gruplarda konsantrasyona bağlı olarak TNF-a hem de IFN-y anlamlı seviyelerde bulunmuş doza bağlı artışlar olduğu çalışmada ortaya konulmuştur (Aydemir ve ark., 2015). 3 çalışmada birbirini destekler niteliktedir.

***Glycyrrhiza flavescens* Boiss. subsp *antalyensis* (Endemik)**

Fabaceae familyasına ait *Glycyrrhiza* cinsi Türkiye'de 10 tür ve alttür seviyesinde temsil eden doğal alanlarda tür bulunur. Antalya bölgesinde doğal alanla 8 tür yayılış gösterir ve bu 8 türden 4'ü endemiktir (Bizimbitkiler, 2013). *Glycyrrhiza flavescens* subsp. *antalyensis*, hem yaprak hem de çiçeklerinden elde edilen ekstraktları fare melanom hücre hatlarında çalışılmış ve çalışma sonucunda kaspaz-3 aktivitesinin, TNF-a ve IFN-y salınımının indüksiyonu açısından apoptozu tetiklediği çalışmada tespit edilmiş. Bunun yanı sıra ekstraktın farklı konsantrasyonları ile muamele edilmesi sonucunda TNF-a IFN-y konsantrasyonları, göreceli kontrollerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde ve uygulanan farklı konsantrasyonlardan oluşturulan doza bağlı olarak yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada ayrıca ekstraktların kaspaz-3, TNF-a ve IFN-γ süreçleri üzerindeki etkileri, *Glycyrrhiza flavescens* subsp. *antalyensis*'nin apoptoz

indüksiyonunun makul mekanizmasına aracılık ettiği ortaya konulmuştur (Aydemir ve ark., 2011).

Iridaceae

***Romulea tempkyana* Freyn**

Romulea cinsi 11 taksonla doğal alanlarda yayılışı vardır. Antalya bölgesinde 4 taksonun yayılışı görülür. Iridaceae Familyasından tıbbi bir bitki olan *Romulea tempkyana*'nın taze soğan suyu ekstraktı çıkarılarak çalışılmış, H₂O₂ sitotoksitesine karşı hücre canlılığını önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir (Özkan ve Erdoğan, 2011). Ayrıca lipit peroksidasyon aktivitesinin, azaltıcı güç aktivitesinin ve hidroksil (IC₅₀ 38,66 µg mL⁻¹), süperoksitin yüksek düzeyde inhibisyonunu gösterdiği bildirilmiştir. Öte yandan, hücrelerin daha yüksek özüt konsantrasyonuyla işlenmesi, sitotoksiteyi tetikleyen antikanser aktivitesi gösterdiği bildirilmiştir. Ekstrakt, Hepatoma G2 ve H1299 hücre proliferasyonunu önemli ölçüde etkilemiştir (IC₅₀; 103.79 ve 88.15 µg mL⁻¹). MDA miktarı (2 kat ve 2,5 kat) ve Se-GSPx (%30, %15), Se-GSH-Px olmayan (%11, %16) ve GST (Ekstraktın IC₅₀ konsantrasyonlarıyla tedavi edilen Hepatoma G2 ve H1299 hücrelerinde sırasıyla %17, %23 artış tespit edilmiştir (Özkan ve Erdoğan, 2011). Dolayısıyla *Romulea tempkyana* taksonundan elde edilen ekstraktın antioksidan ve karsinogenezi azaltıcı potansiyelinin olduğu görülmektedir.

Polygonaceae

***Rumex scutatus* L.**

Rumex cinsi 54 taksonla Türkiye'de yayılışı temsil edilir. Antalya bölgesi 1'i endemik olan 19 taksonun yayılış alanıdır. Antalya bölgesinde 33 takson yayılış gösterir 14 endemik düzeydedir (Bizimbitkiler, 2013).

Yapılan bir çalışmada Antalya ilinden toplanan *Rumex scutatus* L.'nin bitkinin fenolik içeriğinde Kateşin, Epikateşin, Klorojenik asit, Sinapik asit, Kumarik asit ve Benzoik asit'in ön plana çıktığı görülmüş, toprak üstü kısımlarının kullanılarak yapılan analizde bitkinin antioksidan etkisinin yüksek olduğu, oksidan ve Standart bakteri ve mantar sularına karşı özellikle de gram negatif bakterilere karşı antimikrobiyal özellik taşıdığı yapılan çalışmada ifade edilmiştir (Ünal ve ark., 2022).

Tablo 1. Antalya ilinde yayılış gösteren tıbbi bitkilerle yapılan kanser çalışmaları

Bitki İsmi	Araştırma	Kaynak
<i>Artemisia absinthium</i> L.	Ekstraktında antikanser, antioksidan aktivite ve fenolik bileşiklerinin değerlendirilmesi	(Koyuncu ve ark., 2018).
<i>Asparagus acutifolius</i> L. <i>Asparagus officinalis</i> L.	Antioksidan, oksidan, antimikrobiyal ve antiproliferatif aktiviteleri	(Mohammed ve ark., 2021).
<i>Centaurea solstitialis</i> L. subsp. <i>solstitialis</i> L. <i>Urospermum picroides</i> (L.) F. W. Schmidt	<i>C. solstitialis</i> ve <i>U. picroides</i> ekstraktlarının fenolik bileşimi, antioksidan aktivitesi ve sitotoksik potansiyeli araştırılması	(Alper ve ark., 2021).
<i>Ebenus boissieri</i> Barbey (Endemik)	İnsan rahim ağzı kanseri hücre hattı <i>Ebenus boissieri</i> Barbey Ekstraktlarının İnsan Rahim Ağzı Kanseri Hücre Dizisi HeLa Üzerinde Kaspaz Aracılı Apoptotik Etkileri	(Simsek ve ark., 2017)
<i>Ebenus boissieri</i> Barbey (Endemik)	Meme kanseri hücreleri üzerindeki sitotoksik ve immünomodülatör etkileri	(İmir ve ark., 2016)
<i>Ebenus boissieri</i> Barbey (Endemik)	İnsan akciğer kanseri hücre dizisi A549 sitotoksik ve apoptotik etkileri	(Aydemir ve ark. 2015)
<i>Glycyrrhiza flavescens</i> Boiss. subsp. <i>antalyensis</i> (Endemik)	melanom hücreleri üzerinde antiproliferatif etkiler gösterir.	(Aydemir ve ark., 2011)
<i>Mentha longifolia</i> (L.) Hudson subsp. <i>typhoides</i> (Briq.) Harley var. <i>typhoides</i> (L.) Hudson, <i>Thymus kotschyanus</i> Boiss. Et Hohen. var. <i>glabrescens</i> Boiss. <i>Calamintha nepeta</i> (L.) Savı subsp. <i>nepeta</i> (L.) <i>Satureja cuneifolia</i> Ten.	Bazı Lamiaceae Bitkilerinden Elde Edilen Uçucu Yağlar: Termal Özelliklerin Yanında Antioksidan ve Antikanser Potansiyelleri	(Kilinc ve ark., 2022).
<i>Origanum acutidens</i> (Hand.-Mazz.) Ietswaart. (Endemik)	Akciğer kanseri hücre hattı (A549) Apoptotik etki üzerine bir çalışma	(Özkan ve ark., 2018).
<i>Origanum acutidens</i> (Hand.-Mazz.) Ietswaart. (Endemik)	Kekiğin (<i>Origanum acutidens</i>) yabani ve kültürlü formlarından elde edilen uçucu yağların akciğer kanseri hücre zarı üzerine etkileri	(Gökhan ve ark., 2021).
<i>Origanum acutidens</i> (Hand.-Mazz.) Ietswaart. (Endemik)	Akciğer Kanseri metastazik hücre hattı H1299 Uçucu yağ bileşimleri ve sitotoksik etkileri üzerine karşılaştırmalı olarak çalışma	(Dulgeroglu ve ark., 2018).
<i>Origanum majorana</i> L.	İnsan kaynaklı Hep G2 Hücre Hattı Antioksidatif, Sitotoksik, Membran Hasarlı ve Membran Koruyucu Etkileri üzerine bir çalışma	(Erdogan ve Özkan, 2017).
<i>Origanum majorana</i> L.	Epirubisine dirençli H1299 hücreleri sitotoksik, zar ve DNA'ya zarar veren etkileri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma	(Erdogan ve Özkan, 2017).
<i>Origanum onites</i> L.	Esansiyel yağının antioksidan ve antikanser aktivitesi	(Ozkan, Erdogan, ve Trak, 2010).
<i>Origanum onites</i> L.	Esansiyel yağının antioksidan ve antikanser aktivitesini tespit eden bir çalışma	(Özkan ve ark., 2010)

<i>Origanum onites</i> L.	hepatoma G2 (Hep G2) hücrelerinde Esansiyel yağındaki 2 ana fenolik bileşeni olan karvakrol ve timolün hücre canlılığı üzerindeki etkilerini belirleyen ve hidrojen peroksit'e karşı Sitoprotektif (antioksidan) etkileri üzerine bir çalışma	(Özkan ve Erdoğan, 2011)
<i>Populus alba</i> L. <i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Uçucu yağlarının in vitro antikanser aktivitesi ve antioksidan özellikleri	(Gezici ve ark., 2017)
<i>Romulea tempskyana</i> Freyn	Antioksidan ve antikanser etkileri çalışması	(Özkan ve Erdoğan, 2012) (Bizimbitkiler, 2013).
<i>Rumex scutatus</i> L.	Biyolojik Aktiviteleri ve Fenolik İçeriği	(Unal ve ark., 2022).
<i>Salvia caespitosa</i> Montbret & Aucher ex Benth (Endemik)	Metanol ekstraktlarının antibakteriyel, antifungal, antibiyofilm, antioksidan ve antikanser özelliklerinin araştırılması	(Bostancı ve ark., 2022).
<i>Salvia pisidica</i> Boiss. Et Heldr.	<i>Salvia pisidica</i> 'dan elde edilen esansiyel yağların ve sulu ekstraktların in vitro antioksidan özellikleri çalışılmış	(Özkan ve ark., 2010)
<i>Salvia pisidica</i> Boiss. Et Heldr.	hepatoma G2 hücreleri Antioksidan özellikleri ve sitotoksik etkileri	Özkan ve Erdoğan, 2009)
<i>Salvia pisidica</i> Boiss. Et Heldr. (Endemik)	Esansiyel yağının ve ekstraktının kimyasal bileşimi ve biyolojik aktiviteleri üzerine çalışma	(Özkan ve ark., 2010)
<i>Salvia virgata</i> JACQ.	Antioksidan Özellikleri ve Fenolik Bileşimi	(Karatoprak ve Koşar, 2011)
<i>Salvia virgata</i> JACQ.	<i>Salvia virgata</i> Jacq'ın metanol ve su özlerinde fenolik içerikler ve antioksidan aktivitelerinin İncelenmesi	(Karatoprak ve ark., 2016)
<i>Sideritis stricta</i> Boiss & Heldr. (Endemik)	epirubisin-HCl dirençli H1299 hücreleri sitotoksik ve hücre zarına zarar verici etkilerinin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma	(Erdoğan ve ark., 2018)
<i>Sideritis stricta</i> Boiss & Heldr. (Endemik)	Akciğer Kanseri Hücre Dizisinde Antikanser Etkisinin Araştırılması	(Özkan ve ark., 2014)
<i>Stachys aleurites</i> BOISS. Et Heldr. Apud Benth (Endemik)	Uçucu yağı	(Flamini, ve ark., 2005)
<i>Stachys bombycina</i> Boiss.	İki açılmış flavonoid glikozit ve bunların serbest radikal süpürme aktivitesi	(Delazar ve ark., 2005)
<i>Stachys pinardii</i> Boiss.(Endemik) <i>Stachys cretica</i> L. subsp. <i>mersinaea</i> (Boiss.) Rech., (Endemik) <i>Stachys aleurites</i> Boiss. & Heldr. (Endemik)	Uçucu Bileşenler ve Toplam Fenolik İçeriklerin Belirlenmesi	(Özkan ve ark., 2006)
<i>Thymus revolutus</i> Celak (Endemik)	Farklı kanser hücreleri Sitotoksik, membran ve DNA'ya zarar verici etkileri üzerine bir çalışma	(Özkan ve Erdoğan, 2017)
<i>Thymus revolutus</i> Celak (Endemik)	Uçucu yağının antikanser etkisi üzerine bir çalışma	(Özkan ve Erdoğan, 2014)

<i>Thymus revolutus</i> Celak. (Endemik)	Hep G2 hücre zarı Esansiyel yağdan elde edilen cymene ve gamma-terpinen bileşenlerinin Hücre zar hasarı etkileri üzerine bir çalışma	(Erdogan ve Özkan, 2013)
<i>Thymus revolutus</i> Celak. (Endemik) <i>Cyclotrichium origanifolium</i> (Labill.) Manden. Et Scheng.	Uçucu Yağ Bileşimleri Uçucu Yağ Bileşimleri ve Biyoaktiviteleri	(Göktürk ve ark., 2013)
<i>Ziziphora clinopodioides</i> Lam.	Türkiye'den: Antioksidan, antikolinesteraz, antimikrobiyal ve antikanser aktiviteleri LC-MS/MS analizleri.	(Özkan ve ark., 2020)

SONUÇ

Antalya ilinde yayılış gösteren tıbbi bitkilerin antikanser çalışmaları literatür taraması ile 27 tane bitki tespit edilmiştir. Bazı bitkilerde birden fazla çalışma tespit edilmiştir. Çalışmalara bakıldığında bitkilerin farklı kanser hücre hatlarında antikanser özellik gösterdiği bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Ahmad, I., Mehmood, Z., & Mohammad, F. (1998). Screening of Some Indian Medicinal Plants For Their Antimicrobial Properties. *Journal of Ethnopharmacology*, 62(2), 183-193. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(98\)00055-5](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(98)00055-5)
- Akgül, H., Korkmaz, N., Dayangaç, A., & Sevindik, M. (2020). Antioxidant potential of endemic *Salvia absconditiflora*. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(10), 2222-2224.
- Akgül, A., & Kivanc, M. (1988). Inhibitory Effects of Selected Turkish Spices and Oregano Components on Some Foodborne Fungi. *International Journal of Food Microbiology*, 6(3), 263-268.
- Akgül, H., Mohammed, F. S., Kına, E., Uysal, İ., Sevindik, M., & Doğan, M. (2022). Total Antioxidant and Oxidant Status and DPPH Free radical activity of *Euphorbia eriophora*. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(2), 272-275.
- Alper, M., Özey, C., Güneş, H., & Mammadov, R. (2021). Assessment of Antioxidant and Cytotoxic Activities and Identification of Phenolic Compounds of *Centaurea solstitialis* and *Urospermum picroides* from Turkey. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 64, e21190530.
- Anand, P., Kunnumakara, A. B., Sundaram, C., Harikumar, K. B., Tharakan, S. T., Lai, O. S., ... & Aggarwal, B. B. (2008). Cancer is a Preventable Disease That Requires Major Lifestyle Changes. *Pharmaceutical research*, 25, 2097-2116.
- Antonelli, A.*, Fry, C.*, Smith, R.J.*, Simmonds, M.S.J.*, Kersey, P.J.*, Pritchard, H.W.*, et. all., (2020). State of the World's Plants and Fungi 2020. Royal Botanic Gardens, Kew. DOI: <https://doi.org/10.34885/172>
- Aydemir, E. A., Oz, E. S., Göktürk, R. S., Ozkan, G., & Fiskin, K. (2011). *Glycyrrhiza flavescens* subsp. antalyensis Exerts Antiproliferative Effects On Melanoma Cells Via Altering TNF- α and IFN- α Levels. *Food and Chemical Toxicology*, 49(4), 820-828. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.12.003>
- Aydemir, E., Şimşek, E., İmir, N., Göktürk, R. S., Yesilada, E., & Fışkın, K., (2015). Cytotoxic and Apoptotic Effects of *Ebenus boissieri* Barbey on Human Lung Cancer Cell Line A549. *Pharmacognosy Magazine*, vol.11, no.42.
- Bhattacharjee, R. (1982). *Stachys L.* In: DavisPH (ed.) *Flora of Turkey and the East Aegean islands*, *Edinburgh University Press*, Edinburgh, p204206.
- Bizimbitkiler (2013). <<http://www.bizimbitkiler.org.tr>>, [er. tar.: 20.09.2023].
- Bostanci, M. T., Bulbul, A. S., Celik, I. S., Kocabas, Y. Z., Burhan, H., Bayat, R., ... & Karimi-Maleh, H. (2022). Investigation of Antibacterial, Antifungal, Antibiofilm, Antioxidant and Anticancer Properties of Methanol Extracts of *Salvia marashica* İlçim, Celep & Doğan and *Salvia caespitosa* Montbret

- & Aucher ex Benth Plants with Medicinal Importance. *Chemosphere*, 288, 132602.
- Cai, Y., Luo, Q., Sun, M., & Corke, H. (2004). Antioxidant Activity and Phenolic Compounds of 112 Traditional Chinese Medicinal Plants Associated with Anticancer. *Life sciences*, 74(17), 2157-2184. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.09.047>
- Costa-Lotufo, L. V., Khan, M. T. H., Ather, A., Wilke, D. V., Jimenez, P. C., Pessoa, C., ... & de Moraes, M. O. (2005). Studies of The Anticancer Potential of Plants Used in Bangladeshi Folk Medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(1), 21-30. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.01.041>
- de Martel, C., Georges, D., Bray, F., Ferlay, J., & Clifford, G. M. (2020). Global Burden of Cancer Attributable to Infections in 2018: A Worldwide Incidence Analysis. *The Lancet Global Health*, 8(2), e180-e190.
- Delazar, A., Çelik, S., Gokturk, R. S., Unal, O., Nahar, L., & Sarker, S., (2005). Two Acylated Flavonoid Glycosides From *Stachys bombycina*, and Their Free Radical Scavenging Activity. *Pharmazie*, vol.60, no.11, 878-880.
- Dogan, M., Akgul, H., & Tozlu, I. (2013). Lead accumulation and toxicity in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(8), 2350-2356.
- Dogan, M., Akgul, H., Inan, O. G., & Zeren, H. (2015). Determination of cadmium accumulation capabilities of aquatic macrophytes *Ceratophyllum demersum*, *Bacopa monnieri* and *Rotala rotundifolia*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 14(4), 1010-1017.
- Dogan, M., Pehlivan, M., Inan, O. G., & Akgul, H. (2017). Effects of lead application on growth and nutrient accumulations in *Mirabilis jalapa* L. *Feb-Fresenius Environmental Bulletin*, 4470.
- Dogru, A., Akgul, H., Erdogan, K., Polat, H., Kandemir, S., Yilmaz, S., ... & Orun, I. (2014). The effects of terebinth extracts on common carp (*Cyprinus carpio* L.) serum growth hormone, IGF-1, serum glucose and total protein levels. *Fresenius environmental bulletin*, 23, 1997-2001.
- Dogru, A., Polat, H., Orun, I., Erdogan, K., Kandemir, S., Yilmaz, S., ... & Dogru, M. I. (2018). The effect of rosehip (*Rosa canina* L.) plant extract application on serum ACTH, Cortisol and aldosterone hormone levels of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Fresenius environmental bulletin*, 27(4), 2051-2056.
- Dönmez, Ş., Çakır, M., & Şeyma, K. E. F. (2016). Bartın'da Yetişen Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Peyzaj Mimarlığında Kullanımı. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 1(2), 1-8.
- Dulgeroglu, C., Erdogan, A., & Özkan, A., (2018). A Comparative Study On Essential Oils Compositions and Cytotoxic Effects of Wild and Cultured Form of *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart. (Lamiaceae) on H1299 cells. *Febs Open Bio*, vol.8, 278.

- Ege, B., Aras, M. H., Akgul, H., Kara, M. I., Aydemir, I., Inan, S., ... & Altundag Kahraman, S. (2020). Histomorphometric analysis of the effects of grape seed extract (*vitis vinifera*) and low-level laser therapy (LLLT) on fracture healing.
- Erdemli, M. E., Ekhteiari Salmas, R., Durdagi, S., Akgul, H., Demirkol, M., Ak-sungur, Z., & Selamoglu, Z. (2018). Biochemical changes induced by grape seed extract and low level laser therapy administration during intraoral wound healing in rat liver: an experimental and in silico study. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 36(4), 993-1008.
- Erdogan, A., & Özkan, A., (2013). Effects of *Thymus revolutus* Celak Essential Oil and its Two Major Components on Hep G2 Cells Membrane. *Biologia*, vol.68, no.1, 105-111.
- Erdogan, A., & Özkan, A., (2017). Investigation of Antioxidative, Cytotoxic, Membrane-Damaging and Membrane-Protective Effects of The Essential Oil of *Origanum majorana* and its Oxygenated Monoterpene Component Linalool in Human-Derived Hep G2 Cell Line. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, vol.16, 24-34.
- Erdogan, A., Özkan, A., Ünal, O., & Dülgeroğlu, C., (2018). Evaluation of The Cytotoxic and Membrane Damaging Effects of Mountain Tea (*Sideritis stricta* Boiss & Heldr.) Essential Oil on Parental and Epirubicin-HCl Resistant H1299 Cells. *Cukurova Medical Journal*, vol.43, no.3, 669-677.
- Erdogan, M. S., Babacan, H., Kara, M. I., Gurler, B., Akgul, H., & Soyler, D. A. (2015). Effect of Capparis spinosa extract on sutural ossification: A stereological study. *Archives of Oral Biology*, 60(8), 1146-1152.
- Erdoğan, A. ve Özkan, A., (2013). A Comparative Study of Cytotoxic, Membrane and DNA Damaging Effects of *Origanum majorana*'s Essential Oil And its Oxygenated Monoterpene Component Linalool on Parental and Epirubicin-resistant H1299 cells. *Biologia*, vol.68, no.4, 754-761.
- Ernst, E. (1998). The Prevalence Of Complementary/Alternative Medicine in Cancer: A Systematic Review. *Cancer: Interdisciplinary International Journal of the American Cancer Society*, 83(4), 777-782.
- Essien EE, Newby JM, Walker TM, Ogunwande IA, Setzer WN, Ekundayo O. (2016). Essential Oil Constituents, Anticancer And Antimicrobial Activity of *Ficus mucoso* and *Casuarina equisetifolia* Leaves. *J Essent Oils*; 41: 1-6.
- Faydaoğlu, E., & Sürücüoğlu, M. S. (2011). Geçmişten Günümüze Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanılması ve Ekonomik Önemi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 11(1), 52-67.
- Flamini, G., Cioni, P. L., Morelli, I., Çelik, S., Gokturk, R. S., & Unal, O., (2005). Essential oil of *Stachys aleurites* from Turkey. *Biochemical Systematics and Ecology*, vol.33, no.1, 61-66.

- Genel, T. S. B. H. S. Müdürlüğü. Türkiye Kanser İstatistikleri 2018. Retrieved March 3, 2020.
- Gezici, S., Sekeroglu, N., & Kijjoa, A. (2017). *In vitro* Anticancer Activity and Antioxidant Properties of Essential Oils from *Populus alba* L. and *Rosmarinus officinalis* L. from South Eastern Anatolia of Turkey. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, vol. 51 (3), p. S498-S503.
- Göktürk, R. S., Sağıdıç, O., Özkan, G., Ünal, O., Aksoy, A., Albayrak, S., ... Arıcı, M. (2013). Essential Oil Compositions and Bioactivities of *Thymus revolutus* and *Cyclotrichium origanifolium*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, vol.16, no.6, 795-805.
- Gönel, A., Akdağ, A., & Yilmaz, M. A. (2018). Identification of Phenolic Compounds, Antioxidant Activity and Anti-Cancer Effects of The Extract Obtained From The Shoots of *Ornithogalum narbonense* L. *Cellular and Molecular Biology*, 64(1), 75-83.
- Griffiths DE. (2005). Psi-screen, an *in vitro* Toxicity Test System: Applications in The Bioassay of Perfumes and Fragrance Chemicals. *Altern Lab Anim*; 33: 471-86.
- İmir, N., Aydemir, E., Şimşek, E., Göktürk, R., Yesilada, E., & Fıskın, K. (2016). Cytotoxic and Immunomodulatory Effects of *Ebenus boissieri* Barbey on Breast Cancer Cells. *Genetics and Molecular Research*, 15(1).
- Karatoprak, G. Ş., & Koşar, M. (2011). Antioxidant Properties and Phenolic Composition of *Salvia virgata* from Turkey. *Planta Medica*, 77(12), PL44.
- Karatoprak, G. Ş., Ilgün, S., & Koşar, M. (2016). Antioxidant Properties And Phenolic Composition of *Salvia virgata* Jacq. *Turk. J. Pharm. Sci*, 13(2), 87-104.
- Kav, S., Hanoğlu, Z., & Algier, L. (2008). Türkiyede Kanserli Hastalarda Tamamlayıcı ve Alternatif Tedavi Yöntemlerinin Kullanımı: Literatür Taraması. *International Journal of Hematology & Oncology/UHOD: Uluslararası Hematoloji Onkoloji Dergisi*, 18(1). https://www.uhod.org/pdf/PDF_308.pdf
- Kav, S., Hanoğlu, Z., & Algier, L. (2008). Türkiyede Kanserli Hastalarda Tamamlayıcı ve Alternatif Tedavi Yöntemlerinin Kullanımı: Literatür Taraması. *International Journal of Hematology & Oncology/UHOD: Uluslararası Hematoloji Onkoloji Dergisi*, 18(1).
- Kilinç, B. Ö., Gödelek, D., Süfer, Ö., Saygideğer Demir, B., Sezan, A., Saygideğer, Y., & Bozok, F. (2022). Essential oils from some Lamiaceae plants: antioxidant and Anticancer Potentials Besides Thermal Properties. *Chemistry & Biodiversity*, 19(10), e202200418. Doi: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200418>
- Koyuncu, I. (2018). Evaluation of Anticancer, Antioxidant Activity And Phenolic Compounds of *Artemisia absinthium* L. Extract. *Cellular and Molecular Biology*, 64(3), 25-34. Doi: <https://doi.org/10.14715/cmb/2018.64.3.5>

- Lambert RJV, Skandamis PN, Coote PJ, Nychas GJ. (2001). A Study of The Minimum Inhibitory Concentration and Mode of Action of Oregano Essential Oil, Thymol and Carvacrol. *J Appl Microbiol*; 91: 453-62.
- Lampronti, I., Martello, D., Bianchi, N., Borgatti, M., Lambertini, E., Piva, R., ... & Gambari, R. (2003). *In vitro* Antiproliferative Effects on Human Tumor Cell Lines of Extracts From The Bangladeshi Medicinal Plant *Aegle Marmelos correa*. *Phytomedicine*, 10(4), 300-308. Doi: <https://doi.org/10.1078/094471103322004794>
- Meremeti, A., Karioti, A., Skaltsa, H., Heilmann, J., & Sticher, O. (2004). Secondary metabolites from *Stachys ionica*. *Biochemical systematics and ecology*, 32(2), 139-151.
- Mohammed, F. S., & Akgül, H. (2018a). Ethnobotanical analysis of cultivated and indigenous plants in Duhok Province in Iraq. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(9), 1191-1195.
- Mohammed, F. S., Akgul, H., Sevindik, M., & Khaled, B. M. T. (2018b). Phenolic content and biological activities of *Rhus coriaria* var. *zebaria*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(8), 5694-5702.
- Mohammed, F. S., Çınar, G., Yigit, S. S., Akgül, H., & Dogan, M. (2020a). Antioxidant and Oxidant Status of Endemic *Helleborus vesicarius*. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(9), 2008-2010.
- Mohammed, F. S., Günal, S., Pehlivan, M., Doğan, M., Sevindik, M., & Akgül, H. (2020b). Phenolic content, antioxidant and antimicrobial potential of endemic *Ferulago platycarpa*. *Gazi University Journal of Science*, 33(4), 670-677.
- Mohammed, F. S., Sevindik, M., Uysal, I., Sevindik, E., & Akgül, H. (2022). A Natural Material for Suppressing the Effects of Oxidative Stress: Biological Activities of *Alcea kurdica*. *Biology Bulletin*, 49(Suppl 2), S59-S66.
- Mohammed, F. S., Günal, S., Şabik, A. E., Akgül, H., & Sevindik, M. (2020c). Antioxidant and Antimicrobial activity of *Scorzonera papposa* collected from Iraq and Turkey. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(5), 1114-1118.
- Mohammed, F. S., Karakas, M., Akgul, H., & Sevindik, M. (2019a). Medicinal Properties Of A Iu Aop Collected From Gara Mountain (Iraq). *Feb-Fresenius Environmental Bulletin*, 7419.
- Mohammed, F. S., Pehlivan, M., Sevindik, E., Akgul, H., Sevindik, M., Bozgeyik, I., & Yumrutas, O. (2021a). Pharmacological Properties of Edible *Asparagus acutifolius* and *Asparagus officinalis* Collected from North Iraq and Turkey (Hatay). *Acta Alimentaria*, 50(1), 136-143
- Mohammed, F. S., Pehlivan, M., Sevindik, E., Akgul, H., Sevindik, M., Bozgeyik, I., & Yumrutas, O. (2021b). Pharmacological properties of edible *Asparagus acutifolius* and *Asparagus officinalis* collected from North Iraq and Turkey (Hatay). *Acta Alimentaria*, 50(1), 136-143.

- Mohammed, F. S., Sevindik, M., Bal, C., Akgül, H., & Selamoglu, Z. (2019b). Biological activities of *Adiantum capillus-veneris* collected from Duhok province (Iraq). *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C Biology*, 28(2), 128-142.
- Molassiotis, A., Fernandez-Ortega, P., Pud, D., Ozden, G., Scott, J. A., Panteli, V., ... & Patiraki, E. (2005). Use of Complementary and Alternative Medicine in Cancer Patients: A European Survey. *Annals of Oncology*, 16(4), 655-663.
- Özgüç, S., Kayalar, H. & Zeybek, U. (2018). Meme Kanserinde Etkili Tıbbi Bitkiler ve Sekonder Metabolitleri. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 42 (2), 42-62. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/jfpanu/issue/42664/514546>
- Özkan, A., & Erdogan, A. (2009). Antioxidant Properties and Cytotoxic Effects of Essential Oils From *Salvia pispidica* L. on hepatoma G2 cells. *In febs journal* (Vol. 276, pp. 333-333). Commerce Place, 350 Main St, Malden 02148, Ma Usa: Wiley-Blackwell Publishing, Inc.
- Özkan, A., & Erdoğan, A., (2011). A Comparative Evaluation of Antioxidant and Anticancer Activity of Essential Oil From *Origanum onites* (Lamiaceae) and its Two Major Phenolic Components. *Turkish Journal of Biology*, vol.35, no.6, 735-742.
- Özkan, A., & Erdoğan, A., (2012). Antioxidant and anticancer activity of fresh corm extract from *Romulea tempskyana* (Iridaceae). *NATURAL PRODUCT RESEARCH*, vol.26, no.22, 2126-2128.
- Özkan, A., & Erdoğan, A., (2014). Anticancer Effect of Essential Oil of *Thymus revolutus* Celak, Endemic to the Antalya, Turkey. ISEEP-2013 (International Symposium on Ecology and Environmental Problems (pp.81)., Turkey
- Özkan, A., & Erdoğan, A., (2017). Evaluation of Cytotoxic, Membrane, and DNA Damaging Effects of *Thymus revolutus* Celak Essential Oil on Different Cancer Cells. *Turkish Journal of Medical Sciences*, vol.47, no.2, 702-714.
- Özkan, A., Erdogan, E., Trak, N.G. (2010), "Antioxidant and Anticancer Activity of Essential Oil From *Origanum onites* (Lamiaceae)," *Toxicology Letters*, vol.196, 2010
- Özkan, A., Erdoğan, A., & Dülgeroğlu, C., (2018). Apoptotic Effect of Essential Oils From Cultured and Wild Form of *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart. (Lamiaceae) on Lung Cancer Cells (A549). *Febs Open Bio*, vol.8, 333.
- Özkan, A., Erdoğan, A., & Trak, N. G. (2010). Antioxidant and Anticancer Activity of Essential Oil From *Origanum onites* (Lamiaceae). *Toxicology Letters*, (196), S131-S132.
- Özkan, A., Erdoğan, A., Sökmen, M., Tugrulay, S., & Ünal, O., (2010). Antitumoral and Antioxidant Effect of Essential Oils and *in Vitro* Antioxidant Properties Of Essential Oils and Aqueous Extracts From *Salvia pispidica*.

Biologia, vol.65, no.6, 990-996.

- Özkan, A., Erdoğan, A., Ünal, O. (2014), “*Sideritis stricta* (Lamiaceae) Bitkisinden Elde Edilen Uçucu Yağının Akciğer Kanseri Hücre Dizisinde Antikanser Etkisinin Araştırılması,” 22. Ulusal Biyoloji Kongresi, Eskişehir, Turkey, pp.1303.
- Özkan, E. E., Boğa M., Yılmaz, M. A., Kara, E. M., & Yeşil, Y. (2020). LC-MS/MS Analyses of *Ziziphora clinopodioides* Lam. from Turkey: Antioxidant, Anticholinesterase, Antimicrobial and, Anticancer Activities. *İstanbul Journal of Pharmacy*, 50(1), 33-41.
- Özkan, G., Göktürk, R. S., Ünal, O., & Çelik, S., (2006). Determination of Volatile Constituents and Total Phenolic Contents in Some Endemic Stachys Taxa Lamiaceae Labiatae From Turkey. *Chemistry Of Natural Compounds*, vol.42, 172-174.
- Özkan, G., Sağdıç, O., Göktürk, R. S., Ünal, O., & Albayrak, S., (2010). Study on Chemical Composition And Biological Activities Of Essential Oil and Extract From *Salvia pisidica*. *Lwt-Food Science and Technology*, vol.43, no.1, 186-190.
- Mohammed, F. S., Sevindik, M., Uysal, I., Sevindik, E., & Akgül, H. (2022). A Natural Material for Suppressing the Effects of Oxidative Stress: Biological Activities of *Alcea kurdica*. *Biology Bulletin*, 49(Suppl 2), S59-S66.
- Pehlivan, M., Akgul, H., & Yayla, F. (2013a). The some nutrient and trace elements content of wild plants using as ethno botanical and grown in the Gaziantep region. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(4), 143-145.
- Pehlivan, M., Mohammed, F. S., Sevindik, M., & Akgul, H. (2018). Antioxidant and oxidant potential of *Rosa canina*. *Eurasian Journal of Forest Science*, 6(4), 22-25.
- Pehlivan, M., Yayla, F., & Akgül, H. (2013b). Changes of some heavy metals of *Euphorbia rigida* Bieb.(Euphorbiaceae) and its growth habitat along an altitude gradient in Gaziantep (Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(9a), 2676-2681.
- Polat, H., Dogru, A., Dogru, M. I., Erdogan, K., Kandemir, S., Yilmaz, S., ... & Orun, I. (2018). The Effects Of Terebinth (*Pistacia Terebinthus* L.) Extracts On Tsh And Thyroid Hormone Levels Of Carp (*Cyprinus Carpio* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(4), 2057-2061.
- Samur, M. (2001). Factors Associated With Utilization of Nonproven Cancer Therapies in Turkey: a Study of 135 Patients from a Single Center. *Supportive care in cancer*; 9, 452-458.
- Sevindik, M., Akgul, H., Pehlivan, M., & Selamoglu, Z. (2017). Determination of therapeutic potential of *Mentha longifolia* ssp. *longifolia*. *Fresen Environ Bull*, 26(7), 4757-4763.
- Simsek, E., Imir, N., Aydemir, E. A., Gokturk, R. S., Yesilada, E., & Fiskin, K. (2017). Caspase-mediated Apoptotic Effects of *Ebenus boissieri* barbey

Extracts on Human Cervical Cancer Cell Line Hela. *Pharmacognosy magazine*, 13(50), 254.

Tuncer E, Ünver-Saraydın S, Tepe B, vd. (2013). Antitumor Effects of *Origanum acutidens* Extracts on Human Breast Cancer. *J Buon*; 18: 77-85.

Unal, O., Eraslan, E. C., Uysal, I., Mohammed, F. S., Sevindik, M., & Akgul, H. (2022). Biological activities and phenolic contents of *Rumex scutatus* collected from Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(7), 7341-7346.