

2023
Aralık

Fen Bilimleri &
Matematikte
Araştırma ve
DEĞERLENDİRMELER

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Hasan AKĐÜL

Prof. Dr. Murat KÜTÜK

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

Birinci Basım • Aralık 2023 / ANKARA

ISBN • 978-625-425-418-5

© 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 Araştırma ve Değerlendirmeler

Aralık 2023

Editörler:

Prof. Dr. Hasan AKGÜL

Prof. Dr. Murat KÜTÜK

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

MİKRORNA'LAR

Pınar ÖZTOPCU VATAN, Beyza BAYTAROĞLU.....1

BÖLÜM 2

PIMPINELLA (APIACEAE) CİNSİNİN TÜRKİYE'DE Kİ TAKSONOMİK DURUMU

Hüseyin Aşkın AKPULAT19

BÖLÜM 3

BESNİ İLÇESİNDE ÇEVRESEL (AÇIK VE KAPALI ORTAM) GAMA DOZ HIZLARININ ÖLÇÜLMESİ

Mehmet Fatih AYDIN, Ömer SÖĞÜT.....41

BÖLÜM 4

BİTKİ STRES FAKTÖRLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

Murat ARDIÇ57

BÖLÜM 5

DNA PARMAK İZİ

Pınar ÖZTOPCU VATAN, Dilay KARACAOĞLU79

BÖLÜM 6

FARKLI ÖZELLİKTE BOR TOZLARININ MGB₂ KÜÇE SÜPERİLETKENİNİN MANYETİK KALDIRMA KUVVETİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Burcu SAVAŞKAN, Sait Barış GÜNER 101

BÖLÜM 7

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (APG) SİSTEMİ

Hüseyin Aşkın AKPULAT 115

BÖLÜM 8
POLİMERLER VE BİYOPOLİMERLER

Yasemin YILDIZ 131



BÖLÜM 1

MİKORNA'LAR

Pınar ÖZTOPCU VATAN¹

Beyza BAYTAROĞLU²

1 Pınar Öztopcu-Vatan (Prof.Dr.), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 26480 Meşelik, Eskişehir. ORCID ID: 0000-0003-4339-4129

2 Beyza Baytaroğlu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bilim Dalı, 26480 Meşelik, Eskişehir. ORCID ID: 0000-0002-8622-6099

MİKRORNA'LAR

MikroRNA (miRNA)'lar 1993 yılında keşfedilen yaklaşık 19-24 nükleotid uzunluğunda, gen ekspresyonunun transkripsiyonel ve posttranskripsiyonel düzenlenmesinde görev alan, kodlama yapmayan, endojen ve evrimsel olarak korunmuş en küçük RNA sınıfı olarak tanımlanmıştır (Bhaskaran ve Mohan, 2015). İlk miRNA Lee ve arkadaşları tarafından 1993 yılında *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) canlısında yapılan çalışmalar sırasında tanımlanmıştır. Daha sonra farklı canlılardaki yapılan çalışmalarda farklı miRNA'ların varlığı keşfedilmiştir. Başlangıçta herhangi bir protein sentezi gerçekleştirilemeyen bu miRNA'ların hücrede herhangi bir fonksiyonu olmadığı düşünülmüş olsa da daha sonrasında yapılan farklı çalışmalarda miRNA'ların spesifik haberci RNA (mRNA)'lara bağlanarak translasyon inhibisyonuna neden olarak ya da direk mRNA yıkımını sağlayarak farklı hücresel fonksiyonları düzenleyebildikleri keşfedilmiştir. Yapılan çalışmalarda miRNA'ların canlı organizmada hücre farklılaşması, embriyogenez ve apoptotik süreç gibi oldukça önemli hücresel fonksiyonların düzenlenmesinde de kritik görevler aldıkları bildirilmiştir. Ayrıca miRNA gen ifadelerinde ki artış ya da azalışların farklı hastalıkların gelişmesi sürecini tetiklediği de yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Özellikle miRNA'ların kanser gelişimi sürecinde farklı onkogen ve tümör baskılayıcı genlerin ifadelerinde değişikliklere neden olması sebebiyle hastalığın patolojisi ve ilerleme aşamalarının belirlenmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir (Pritchard vd., 2015).

İlk miRNA *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) canlısında yapılan çalışmalar sırasında tanımlanan lin-4'dür. Yapılan bu çalışmada lin-4'ün *C. elegans*'ta tüm larva dönemlerinde ve hücre tiplerinde gelişimsel olayların zamanlamasını etkilediği belirlenmiştir. lin-4'ün işlev kaybı mutasyonu sonucunda hayvanlarda yetişkin yapılarının gelişmediği ve yumurtlamanın engellendiği gözlenmiştir (Lee vd., 1993). Heterokronik gen lin-14'ün, *C. elegans*'ın postembriyonik gelişimi sırasında çeşitli hücre tiplerinde gelişimsel olayların zamanlamasını kontrol ettiği gösterilmiştir (Hong vd., 2000). Yapılan çalışmalarda lin-4'ün, LIN-14 proteininin seviyesini negatif olarak düzenleyerek etki ettiği ve ilk larva aşamasından (L1) başlayarak LIN-14 proteininde geçici bir azalma yarattığı belirlenmiştir. lin-14 sıfır mutasyonunun, lin-4 işlev kaybı mutasyonuna tamamen zıt bir fenotip sunarak erken larva dönemlerini atlayarak yetişkin dönemlerini önceden programlayarak yürüttüğü belirtilmiştir. Gelişimin geç evrelerinde lin-14'ün işlev kazandırıcı mutasyonunun ise lin-4'in işlev kaybı mutasyonuna yüksek oranda benzer bir fenotip ortaya çıkardığı açıklanmıştır. lin-14 aktivitesindeki azalma ile LIN-14 protein miktarı da ortamda azalış göstermiştir. lin-4 mutant hayvanlarda, LIN-14 protein seviyesi lin-14 işlev kazandırıcı mutasyonlarda olduğu gibi yüksek belirlenmiştir.

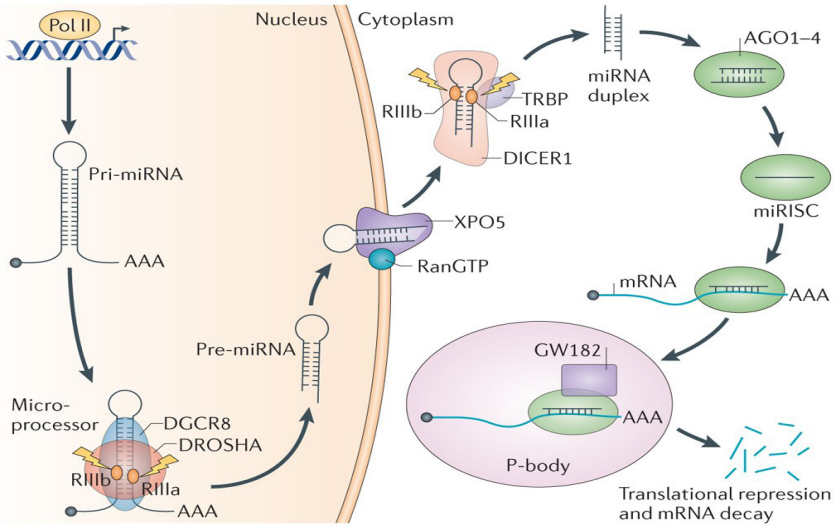
Bu gözlemler ile erken larva döneminde yüksek lin-14 aktivitesi ile larva dönemi gelişiminin kontrol edildiği, geç larva döneminde ise düşük lin-14 aktivitesi ile yetişkinlik dönemi gelişiminin kontrol edildiği anlaşılmıştır. Yapılan çalışmada lin-4'ün LIN-14'ün miktarını gelişimsel olarak belirlediğini göstermek adına ~22-61 nükleotit uzunluğunda lin-4 RNA izole edilerek protein kodlamadığı tespit edilmiştir. Ayrıca lin-4 RNA'nın, lin-14 geninin 3'UTR bölgesinde bulunan, tekrarlayan bir dizi ile eşlenmekte olduğu bildirilmiştir. Böylece lin-4'ün antisens bir mekanizma ile lin-14 genini düzenleyebileceği model desteklenmiştir (Lee vd., 1993).

İnsan genomunda tanımlanan ilk miRNA ise let-7'dir. Önce let-7, *C.elegans*'ta temel gelişim geni olarak bulunmuş, daha sonra miRNA olarak sınıflandırılmıştır. Aynı gen bölgesi BLAST yöntemi ile insan genomunda da araştırıldığında uygun let-7 geni ile tam eşleşme göstermiştir. Böylece insan genomunda 2000 yılında tanımlanan ilk miRNA olmuştur (Roush ve Slack, 2008).

Yapılan çalışmaların ışığında kodlama yapamayan küçük RNA'ların farklı canlıların genomlarında benzer özelliklerde ve nükleotit uzunluğunda var oldukları keşfedilmiştir. Yeni keşfedilen ve geniş bir kaynağı olan bu RNA ailesi üyelerinin bilgilerini çevrimiçi depolamak amacıyla 2002 yılında miRBase adlı bir web sitesi kurulmuştur. Web sitesinde miRNA baz dizilimleri, saç tokası yapıları ve açıklamaları bulunmakla birlikte büyük çoğunluğunun biyolojik önemi bilinmediği ve deneysel doğrulama gerektirdiği ifade edilmiştir (Bhaskaran ve Mohan, 2015). miRBase sitesinin mevcut sürümünde (miRBase 22.1) 38589 miRNA veri girişi vardır ve içerisinde sadece insan için güncel 1917 miRNA kaydedilmiştir (<https://mirbase.org/browse/>).

miRNA'ların tüm genom boyunca genlerin intron ya da ekzon bölgelerinde lokalize oldukları bilinmektedir. İnsan türüne ait miRNA'ların yaklaşık %50'sinin genomik kümeler ile birbirine bağlı olduğu ve tek bir polisistronik transkripsiyon ünitesinden kopyalandıkları ifade edilmektedir (Winter ve Diederichs, 2011). miRNA kopyalanmasından sorumlu olan enzimler RNA polimeraz II ve RNA polimeraz III enzimleri olarak bildirilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü üzere, RNA polimeraz II enzimi miRNA genlerini birincil miRNA (pri-microRNA) olarak 5' kep yapısı ve çoğunlukla 3' poliadenile edilmiş kuyruk ile saç tokası yapısında büyük RNA molekülleri olarak kopyalamaktadır (Saliminejad vd., 2018). Çekirdekte gerçekleşen miRNA kopyalama işleminden sonra yine çekirdekte bulunan pri-miRNA, RNaz III enzim ailesinin bir üyesi olan Drosha ile birlikte çift sarmallı katalitik olmayan bir RNA bağlayıcı protein olan DGCR8 tarafından kesilerek 60-70 nükleotitlik çift sarmallı pre-microRNA haline getirilmektedir. Bu kesimin gerçekleşmesi için Drosha ve DGCR 8 bir araya gelerek mikroprokürsör kompleksi oluşturur. Pre-microRNA'lar

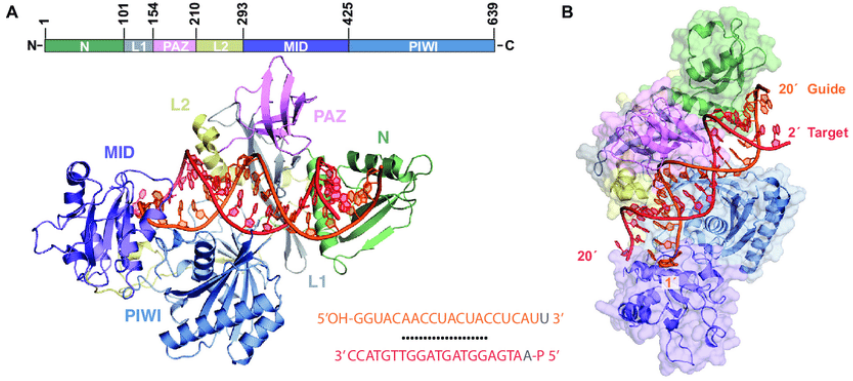
daha sonra Exportin-5 ve küçük bir GTP bağlayıcı protein olan Ras ile ilişkili nükleer protein (RAN) tarafından sitoplazmaya taşınmaktadır. Sitoplazmada pre-mikroRNA'lar, TRBP proteini ile etkileşimli, dsRNA kesme aktivitesine sahip RNaz III enzim ailesi üyesi olan Dicer enzimi ile kesilerek halka yapısından uzaklaştırılmaktadır ve 20-25 nükleotit uzunluğunda kusurlu bir miRNA-miRNA dubleksine haline getirilmektedir. miRNA-miRNA dubleksini olgun miRNA haline almak için ATP bağımlı şapron proteinler yardımı ile Argonaute (AGO) proteinine yüklenir. Burada AGO proteinin sahip olduğu alt domain ile miRNA dubleksini kesilerek tek zincirli olgun miRNA haline dönüştürülmektedir. Daha sonra AGO proteini olgun miRNA'nın hedeflenen mRNA'yı tanımasına yardımcı olacak RNA kaynaklı susturma kompleksi olan RNA Induced Silencing Complex (RISC) birleşmesini tetikler. Artık bundan sonra miRNA hedefine yönlenecek bir genin çalışmasını devre dışı bırakabilir. Olgun miRNA'lar daha sonra baz eşleşmesi yoluyla spesifik mRNA hedeflerine yönlenebilirler ve bu sayede hedef genin susturulması gerçekleştirilmiş olur. Burada olgun miRNA'ların taşıdıkları baz sırası ile hedeflenen mRNA dizisi arasında tamamlayıcılık olması esastır (García-López vd., 2013; Saliminejad vd., 2018). olur.



Nature Reviews | Cancer

Şekil 1. miRNA Biyogenezi (Lin ve Gregory, 2015).

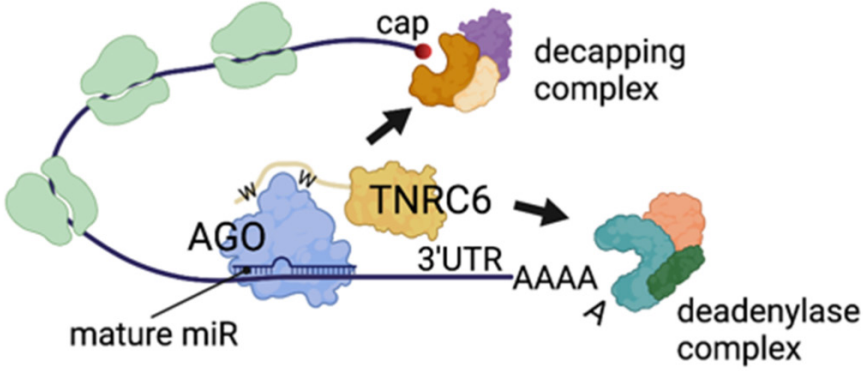
Bağlanma gerçekleşikten sonra RISC'in mRNA'yı etkisiz hale getirmesinin iki yolu vardır. Birincisi kompleksteki proteinler mRNA molekülünü direkt kesebilirler. İkinci mekanizmada ise RISC kompleksi ribozomun alt biriminin mRNA'ya bağlanmasını engelleyebilir. Her iki durumda da mRNA bir proteine çevrilemeyecek ve gen susturulmuş olacaktır.



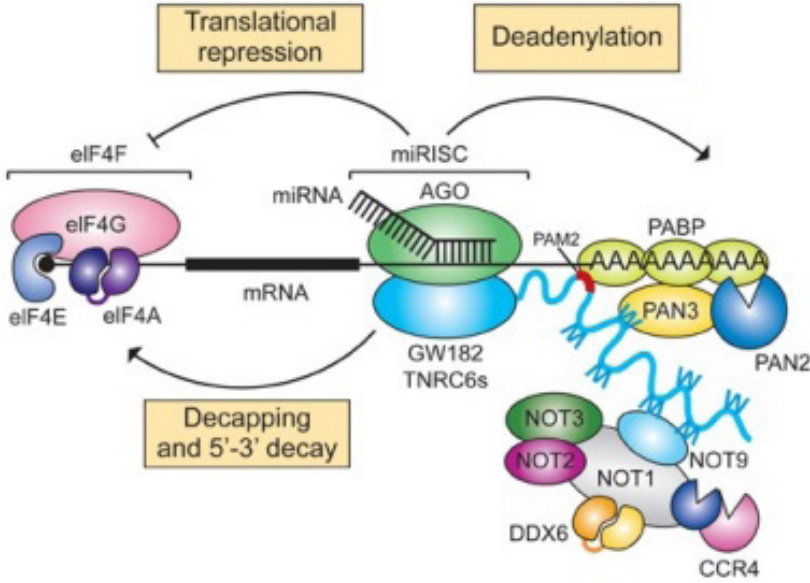
Şekil 2. Argonaute proteini domainleri (Doxzen ve Doudna, 2017).

İnsanlarda bulunan 4 farklı AGO proteini yapısal olarak birbirine çok benzese de fonksiyonel bölgelerinde birkaç amino asit farklılığı bulunmaktadır. İlk olarak Ago2 keşfedilmiş ve çok büyük ölçüde tanımlanmıştır. Ago1, 3 ve 4'ün de keşfi sonrasında bu proteinlerin 4 bölgeye sahip olduğu ifade edilmiştir. Şekil 2'de belirtilen bu bölgeler; N-terminal bölgesi (N), PIWI/Argonaute/Zwille (PAZ) bölgesi, MID bölgesi ve PIWI bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Ago2'nin N terminal bölgesinde tam katalitik aktivite için gerekli iki amino asit motifi bulunduğu ve protein katlanması sırasında bu motiflerin PIWI bölgesi yakınında konumlanarak kılavuz RNA'nın hedefe yönelimine katkı sağladığı ifade edilmektedir. PIWI bölgesi Ago2'nin hedef mRNA'nın parçalanması için gerekli olan RNaz H aktivitesini sağlamaktadır. PAZ domaini kılavuz olan miRNA'nın 3' ucunu RISC kompleksine bağlı tutmak için görev yapmaktadır. MID domaini de kılavuz miRNA'nın 5' fosfatını bağlamaktadır (Müller vd., 2020).

Bitkilerde ve bazı hayvanlarda baz eşleşmesi yoluyla hedef mRNA ile çift sarmal oluşturulması ve Şekil 3'te belirtilen RISC kompleksi bileşenleri ile mRNA parçalanmasıyla sonuçlanan regülasyon işlemi görülmektedir. Ancak insanlarda mRNA ile miRNA arasında tam baz eşleşmesi sağlanması zorunlu görülmemektedir. TNRC6, AGO tarafından taşınan hedef mRNA'nın 3' ucunda bulunan PABPC proteini (poliA bağlayıcı) ile etkileşime giren adaptör proteindir. Bu protein deadenilaz komplekslerini (CCR4-NOT) ortama çekerek mRNA 3' poli A kuyruğunun kesilip uzaklaştırılmasına neden olmaktadır. Son olarak 5'-3' ekzonükleaz aktivitesi ile cap ayırma işlemi yapılarak mRNA stabilizasyonu bozulmaktadır. TNRC6 ayrıca cap ayırma kompleksini bağladığı ve translyasyonu önlediği bilinen DDX6'yi de bölgeye çekmektedir. Translyasyonel baskılama işlem süreci hızlı olsa da, etkisi mRNA destabilizasyon işleminden daha zayıf kalmaktadır (Saliminejad vd., 2018).

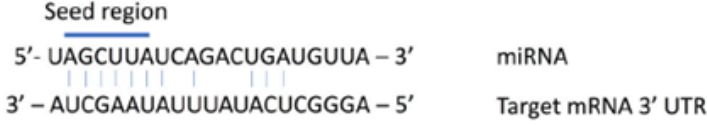


Şekil 3. mRNA regülasyonu sağlayan kompleksler (La Rocca ve Cavaliere, 2022).



Şekil 4. miRNA kılavuzluğunda ki RISC kompleksinin hedef mRNA regülasyon çeşitleri (Kuzuoğlu Öztürk vd., 2016).

miRNA'ların hedeflerini tanımasında ki en büyük etkenin Şekil 5'te gösterildiği gibi 5' terminal bölgelerinde bulunan 2-7 nükleotid uzunluğa sahip olan tohum dizileri olduğu belirlenmiştir. Bu sayede miRNA'lar hedef mRNA'nın 3'UTR bölgesindeki dizilerle baz eşleşmesi yaparak hedefine bağlanmayı sağlamaktadır. Hedef dizi ile oluşturulan kısmi dubleks üzerinden translasyonel baskılama ve mRNA kararsızlaştırması yoluyla bir regülasyon sağlanmaktadır (Chipman ve Pasquinelli, 2019).



Şekil 5. miRNA 5' tohum bölgesi ve mRNA eşleşmesi (Lu ve Rothenberg, 2019).

Tohum bölgesinden tam eşleşme sağlanamadığı durumlarda gözlenmektedir ve buradan yola çıkarak 5 farklı miRNA hedef bağlanma bölgesi sınıfı tanımlanmaktadır. Sınıf I, yalnızca tohum bölgesinden bağlanma sağlar; Sınıf II, tohum bölgeden ve 13-16. nükleotidden bağlanma sağlar; Sınıf III, tohum bölgesinden ve 17-19. nükleotidden bağlanma sağlar; Sınıf IV, tohum bölgesinden bağlanma sağlanmaz orta kısımdan baz eşleşmesi görülebilmektedir ve son olarak Sınıf V, dağınık ve daha az kararlı bir bağlanma bölgesi sağlamaktadır (Mohr ve Mott, 2015).

miRNA'ların aracılık ettiği bu regülasyon işlemlerinin gen ifadesi üzerinde etkisi büyüktür. Bunun başlıca sebeplerinden biri pek çok veriye ve hesaplamalı tahmine dayanarak ifade edilen, tek bir miRNA'nın düzinelerce geni hedefleyebilme yeteneği olarak gösterilmektedir. Ayrıca yapılan farklı çalışmalar ile miRNA'ların her dokuda ve hücre tipinde spesifik ekspresyon seviyeleri sergilediği belirtilmektedir (Mraz vd., 2009). Ayrıca; miRNA ekspresyon seviyesinin bakteriyel ve viral enfeksiyonlar, kanser ve diyabet gibi pek çok farklı hastalık sırasında önemli ölçüde değişiklik gösterdiği ifade edilmektedir (Wright vd., 2020).

miRNA'lar, hücre, doku, serum, plazma, gözyaşı ve/veya idrar gibi vücut sıvılarından rahatlıkla izole edilebilmektedir (Lu ve Rothenberg, 2018). Ayrıca bu küçük moleküller yüksek oranda RNaz seviyelerine rağmen kanda ve vücut sıvılarında mRNA'ya oranla daha kararlı olmaları ve dolaşım ile ilişkili ekstraselüler veziküller ve protein komplekslerinde bol miktarda buldukları da belirlenmiştir (Wright vd., 2020). miRNA'ların oda sıcaklığında 4 güne kadar ve kaynama, çoklu donma-çözülme döngüleri ve yüksek veya düşük pH gibi zararlı koşullar altında bozulmaya direnç göstermelerinden dolayı hastalıkların tanısında mükemmel biyobelirteçler olarak kullanılabilirler (O'Brien vd., 2018).

miRNA'ların özellikle plazma gibi karmaşık vücut sıvılarından izolasyonu ve doğru miktarının saptanması için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Özellikle doğru bir miRNA izolasyonu için plazma da mevcut olan yüksek oranda kirletici protein ve inhibitörlerin uzaklaştırılması gerekmektedir (Wright vd., 2020).

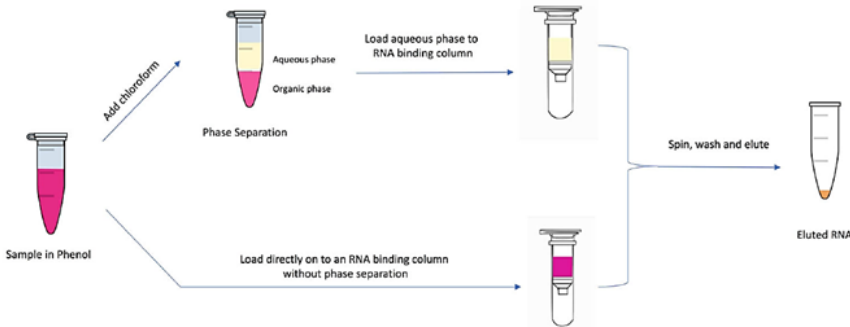
miRNA izolasyonu için yapılan ilk çalışmalarda Şekil 6'da gösterildiği gibi geleneksel Fenol-Kloroform ekstraksiyonu sonrası yaygın olarak

Trizol ile RNA çökeltmesi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem en büyük dezavantajı tek bir numuneden miRNA'larda dahil tüm RNA'ları izole etmek için kullanılmasıdır. Bu yöntemde miRNA ve mRNA eldesinin yanı sıra ayrıca yüksek düzeyde kirletici maddenin varlığı söz konusudur (Lu ve Rothenberg, 2018).



Şekil 6. Geleneksel total RNA izolasyon basamakları (Lu ve Rothenberg, 2018).

Bir dizi faktörün miRNA izolasyonunun başarısını etkilediği açıktır. Daha düşük Guanin-Sitozin baz içeriğine ve kararlı ikincil dubleks yapılarla sahip dizilerin daha az kararlı olduğu ve bu nedenle ekstraksiyon işlemi sırasında kaybolma riskiyle karşı karşıya olduğu gösterilmiştir. (Wright vd., 2020). miRNA izolasyonu sırasında kolona dayalı bir RNA adsorpsiyon yönteminin kullanılmasının bu sorunları önleyeceği belirtilmektedir. İlk kolona dayalı yöntem, Fenol-Kloroform ekstraksiyonundan sulu fazın bir RNA adsorpsiyon kolonuna yüklenmesini ve ardından miRNA'nın yıkanmasını ve elüsyonunu sağlamaktadır. Şekil 7'de gösterilen ikinci yöntemde ise miRNA içeren fenol reaktifi doğrudan bir RNA adsorpsiyon kolonuna yüklendikten sonra miRNA'nın yıkanması ve elüsyonu yapılabilmektedir. Bu yöntemi sağlayan farklı ticari kitler miRNA çalışması yapmak isteyen araştırmacılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. (https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/manuals/cms_055423.pdf).



Şekil 7. Kolon kullanımı temelli küçük RNA moleküllerine yönelik RNA izolasyon basamakları (Lu ve Rothenberg, 2018).

İzolasyon sonrası elde edilen miRNA miktarı ve kalitesi, diğer RNA türlerinde olduğu gibi benzer teknolojilerle incelenmektedir. Bununla birlikte, ekstraksiyondan elde edilen RNA elüatı farklı uzunluktaki RNA türleri içerdiğinden, miRNA'lar gibi spesifik küçük RNA türlerinin verimi absorbans ve florometrik olarak ölçülememektedir. Araştırmacılar, RNA'yı nitelik ve nicelik bakımından değerlendirirken, nükleazların, proteinlerin ve genomik DNA'nın varlığı; ayrıca, işleme koşullarındaki ve başlangıç kaynaklarındaki farklılıklara dikkat etmektedirler. Nükleazlar, yeni toplanmış numunelerin daha sonra analiz edilmesini sağlayan RNA bütünlüğünü en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olacak farklı stabilize edici solüsyonlar kullanılarak etkisiz hale getirilebilmektedir (Mathew vd., 2020).

RNA kalitesinin değerlendirilmesi, absorbans okuma, denatüre edici jel elektroforezi veya çip teknolojileri gibi farklı yöntemlerle de ölçülebilmektedir. Absorbans okumaları genellikle farklı dalga boylarında absorbansı ölçen spektrofotometrik cihazlarla yapılmaktadır. Bu ölçümlerde 260 nm nükleik asitlere özgü, 280 nm proteinlere özgü ve 230 nm olası kirleticiler için belirtilen absorbans değerleridir. A260/A280 oranı 2,0 ve A260/A230 oranı 2,0-2,2 arası saf RNA'yı göstermektedir. Daha düşük oranlar protein, fenol, etilen diaminetetraasetik asit (EDTA) veya diğer kirleticilerin varlığını gösterebilmektedir. Spektrofotometrelerin en önemli avantajı absorbans ölçümleri için yaklaşık 1-2 µl örnek hacminin yeterli olmasıdır (Fleige ve Pfaffl, 2006).

Spektrofotometrik ölçümlerde yaygın olarak RiboGreen boyası kullanılmaktadır. Bu boya, RNA moleküllerini spesifik olarak bağlayan bir floresan boyadır ve serbest formda, floresan ışınması ihmal edilebilir bir şekilde algılanır. Fakat boya, RNA'ya bağlandığında, bağlanmamış formdan birkaç kat daha yüksek bir yoğunlukta floresan ışınma vererek RNA moleküllerinin daha doğru saptanmasına olanak tanımaktadır. 260 nm spektrofotometrik ölçümlerinde RNA numuneleri, protein ve serbest ribonükleotidler içerdiğinde hatalı bir ölçüm meydana gelebilmektedir bu nedenden dolayı ölçümlerde RiboGreen boyasının kullanılması önerilmektedir. Elde edilen miRNA'ların miktar ve kalitesini ölçmek için kullanılan bir başka yöntem mikroakışkan kapiller elektroforez üzerinden çalışan çip üzeri laboratuvar teknolojisidir. En sık kullanılan çip üzeri laboratuvar teknolojileri arasında Agilent Bioanalyzer 2100 (Agilent Technologies, ABD), Fragment Analyzer (Agilent, ABD), Experion (Bio-rad Laboratories, ABD) ve QIAxcel Advanced System (Qiagen, Hilden, Almanya) bulunmaktadır. Bu metotta RNA numuneleri mikro çip üzerinde elektroforetik olarak ayrılarak floresans ile tespit edilmektedir. Mikroçip üzerinde kullanılan numune miktarları pikogramlar ile ifade edilmektedir ve bu yönü ile araştırmacılara avantaj sağlamaktadır. Klasik elektroforez yöntemlerinde olduğu gibi kütlesi ve boyutu bilinen bir RNA ladder kullanılarak RNA

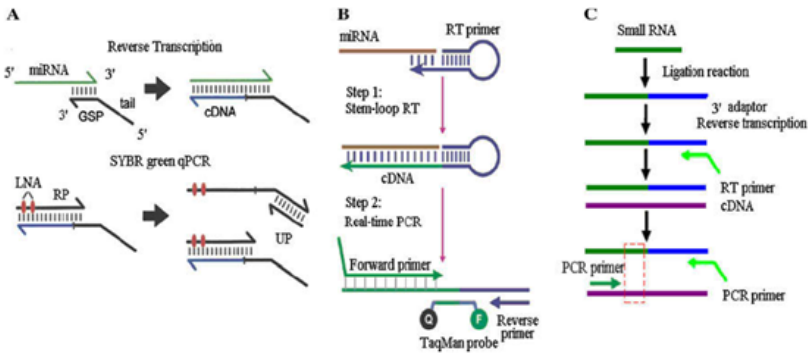
bant boyutları tahmin edilmektedir. RNA bütünlüğü, 18S ve 28S ribozomal RNA bantlarının görselleştirilmesiyle değerlendirilmektedir. 28S/18S oranının azalması, bozulmanın göstergesi olarak kabul edilmektedir. RNA bütünlüğü kullanılan teknolojiye göre farklı isimler alan ancak aynı sonuca dayanan bir puan türü ile ölçülmektedir. Experion teknolojisi için bu puan RQI – RNA Kalite Göstergesi olarak isimlendirilmektedir. 1-10 arası hesaplanan bu puan sisteminde, 1; en bozulmuş RNA'yı ifade ederken 10; en bozulmamış RNA'yı ifade etmektedir. Genel olarak 7 üzeri puan alan örnekler sonraki analizler için kullanılabilir olarak değerlendirilmektedir (Mathew vd., 2020).

miRNA genlerinin fonksiyonel olarak aktifliğini tespit etmek amacıyla ekspresyon saptama analizleri yapılmaktadır. Hibridizasyon yöntemine dayalı pek çok saptama yöntemi literatürlerde sunulmaktadır. Hibridizasyon, çift sarmallı molekül üretmek için bir hedef miRNA ile tamamlayıcı bir nükleik asit dizisi arasındaki tamamlayıcı nükleotidlerin etkileşimi yoluyla gerçekleştirilen bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. miRNA'ların ekspresyon seviyelerini saptamak bu moleküllerin küçük boyutları, çeşitli üyeler arasındaki sekans benzerliği, düşük seviye ve dokuya özgü veya gelişim aşamasına özgü ifadeleri nedeniyle teknik bakımdan zorluklar çıkarmaktadır. Yaygın olarak kullanılan ekspresyon saptama yöntemleri konvansiyonel metotlar olarak adlandırılmaktadır (Cissell ve Deo, 2009).

Konvansiyonel metotlardan ilki Northern Blotlama'dır. Bu yöntemde miRNA içeren numune elektroforez jel üzerinde yürütülmektedir, daha sonra miRNA nitroselüloz bir membrana aktarılmakta ve hibridizasyon gerçekleşmesi için hedef miRNA'ya tamamlayıcı olan bir floresan veya radyo-etiketli oligonükleotit probu içeren bir çözelti içine daldırılmaktadır. Hibritleşme gerçekleştirilmeyen moleküller uzaklaştırıldıktan sonra membran üzerinde hedef miRNA ile hibridizasyon sağlayan floresan problemler sayesinde otoradyografi görüntüleme ile hedef miRNA'ların tespitleri yapılmaktadır (Cissell ve Deo, 2009).

Konvansiyonel metotlardan ikincisi Mikrodizileme (Mikroarray)'dir. Bu yöntemde aminle modifiye edilmiş 50 terminale sahip olan miRNA oligonükleotit problemleri, amino grupları ve kendi kendine birleşen tek tabaka (SAM) arasındaki kovalent çapraz bağlanma yoluyla cam lamalar üzerine sabitlenerek bir miRNA mikrodizisi oluşturulmaktadır. İzolasyonu sağlanan miRNA'lar floresan boya ile etiketlenerek miRNA mikrodizisi ile hibridizasyonu sağlanmaktadır. Etiketlenmiş miRNA'ların tamamlayıcısı olan problemlere spesifik bağlanması ile işlem tamamlanmaktadır. Slaytlar üzerinde farklı konumlarda bağlanan etiketli miRNA'lardan floresan sinyal verileri analiz edilerek, numunedeki miRNA türleri ve bunların nispi miktarları değerlendirilebilmektedir (Huang vd., 2010).

Konvansiyonel metotlardan üçüncüsü Şekil 8’de gösterilen Kantitatif Ters Transkripsiyon Polimeraz Zincir Reaksiyonu (Real Time qRT-PCR, qPCR)’dur. miRNA’lar yalnızca ~22 nükleotit uzunluğunda olduğundan, geleneksel PCR için kullanılan primerleri kullanmak zordur çünkü bu primerler ~20 nükleotit uzunluğunda olmaktadır (Mathew vd., 2020). Bu nedenle miRNA qPCR’ı için 3 farklı yöntem önerilmektedir. Şekil 8-A’da belirtilen birinci yöntem, primer-uzatma (PE) real-time PCR yöntemidir. Öncelikle RNA şablonunu cDNA’ya çevirmek için gene özgü kuyruklu primer kullanılmaktadır ve elde edilen cDNA molekülünün bir ucuna evrensel PCR bağlanma bölgesi eklenerek cDNA uzatılmaktadır. İstenilen uzunluğa gelen cDNA, kilitli nükleik asit (LNA) içerikli reverse primer ve evrensel reverse primer kombinasyonu ile qPCR adımı gerçekleştirilmektedir. cDNA’nın gerçek zamanlı amplifikasyonu takibi çift iplikli moleküle bağlandığında güçlü ışımaya veren SYBER-Green floresan boya ile sağlanmaktadır. Şekil 8-B’de belirtilen ikinci yöntemde stem-loop primerleri ile hem olgun hem de prekürsör miRNA’ların qPCR ile ölçümü sağlanmaktadır. Öncelikle miRNA moleküllerine stem-loop primerleri hibridize edilerek çok katlı bir ters transkriptaz enzimi ile ters transkripsiyonu sağlanmaktadır. qPCR aşamasında gerçek zamanlı miRNA amplifikasyonu takibi için TaqMan Prob kullanılmaktadır. Şekil 8-C’de gösterilen üçüncü yöntemde ise miRNA’nın 3’ ucu poliA poliadenilaz enzimi ile poliadenilasyon işlemi geçirmektedir. Bu işlemden sonra 3’ poliA kuyruk sayesinde reverse primer ile ters transkriptaz enzimi tarafından cDNA sentezlenmektedir. qPCR ile amplifikasyonu basamağında, miRNA’ya özgü forward primer ve 3’ poliA kuyruğu tamamlayan ters primer kullanılmaktadır. Gerçek zamanlı amplifikasyonu takibi için SYBER-Green floresan boya kullanılmaktadır (Huang vd., 2010).



Şekil 8. Real-Time qPCR yöntemleri A) PE-qPCR B) Stem-loop primerleri ile TaqMan qPCR C) 3’ poliA kuyruk ekleme yöntemi ile qPCR (Huang vd., 2010).

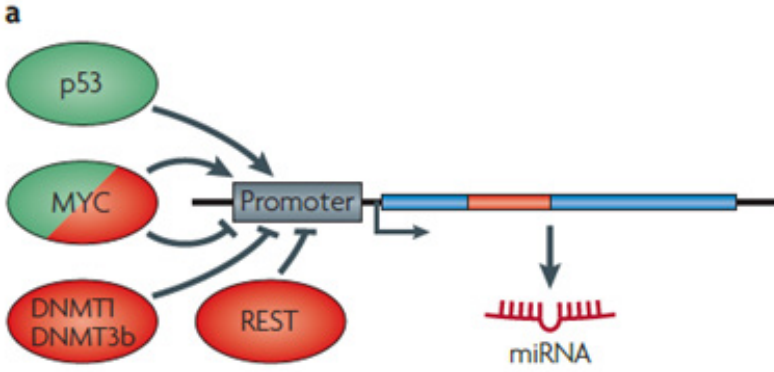
Konvansiyonel metotlar içerisinde sonuncu sırada *in-situ* Hibridizasyon yöntemi yer almaktadır. *In-situ* hibridizasyon miRNA’ların

uzay-zamansal ifadesinin analizi, gelişimdeki ve fizyolojik/patofizyolojik süreçler sırasındaki rollerini incelemeye yardımcı olan, ayrıca hücrel lokalizasyona izin veren önemli ve güçlü bir teknolojidir. miRNA'ların küçük boyutları nedeniyle geleneksel problemler hedef miRNA'lara düşük afinite göstermektedir bu yüzden problemlere kilitli nükleik asit nükleotidleri (LNA) dahil edilerek afinitesi artırılmıştır (Song vd., 2010). Konvansiyonel metotlar dışında Yeni Nesil Sekanslama (NGS) miRNA çalışmalarında ilerleyen yıllarda lider olabilecek bir yöntem olarak görülmektedir. RNA NGS RNA-Seq olarak da adlandırılmaktadır. NGS yöntemi miRBase'de kayıtlı miRNA dizileriyle sınırlı olmadığı için, ilgili bilinen miRNA hedefleri ile potansiyel olarak benzer regülasyon işlemleri uygulayabilen diğer miRNA formlarını tanımlama yeteneğine sahip olmaktadır. Bu yüzden miRNA heterojenliği (örn. izomiR'ler, tek nükleotit değişikliği) bir sorun teşkil etmemektedir (Hunt vd., 2015).

Yüzlerce farklı hücreden oluşan karmaşık bir organizmanın gelişiminin en önemli özelliği gen ekspresyonunun hassas bir şekilde kontrol edilmesi olarak ifade edilmektedir. Gen ekspresyonu sonucu meydana gelen protein ürünlerinin sıkı bir şekilde kontrol edilen konsantrasyonlarda üretilmesi ve muhafaza edilmesi gerekmektedir. Diğer gen ürünleri gibi miRNA'lar da bu kontrol mekanizmasına ve düzenlemeye tabidir (Bronevetsky ve Ansel, 2013). Daha öncesinde, çoğu zaman birkaç miRNA lokusunun birbirine çok yakın konumlandığı ve polisistronik transkripsiyon ünitesi oluşturduğundan bahsetmiştik. Aynı transkripsiyon ünitesindeki miRNA'lar genellikle birlikte kopyalanmaktadır, ancak tek tek miRNA'lar ek olarak transkripsiyon sonrası seviyede düzenlenebilmektedir (Ha ve Kim, 2014). miRNA genlerinin transkripsiyonu, protein kodlayan genlerinkine benzer bir şekilde düzenlenmektedir ve miRNA'ların dokuya özgü veya gelişime özgü ifadesinden sorumlu ana kontrol merkezi olarak görülmektedir. miRNA genlerinin promotör bölgeleri protein kodlayan genlerin promotör bölgesine oldukça benzemektedir. CpG adalarının, TATA kutu dizilerinin, başlatma elemanlarının ve belirli histon modifikasyonlarının varlığı, miRNA genlerinin promotörlerinin, protein kodlayan genlere benzer olan transkripsiyon faktörleri, arttırıcılar, susturma elemanları ve kromatin modifikasyonları tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Şekil 9'da belirtildiği gibi transkripsiyon faktörleri dokuya özgü veya gelişime özgü bir biçimde pozitif veya negatif düzenleme yapmaktadır (Krol vd., 2010).

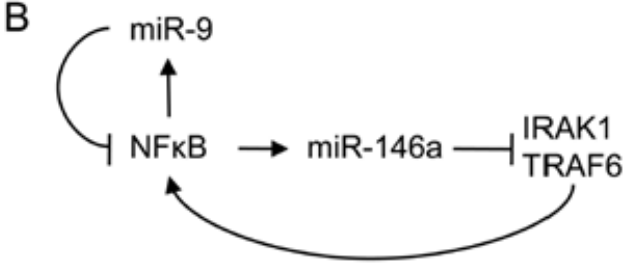
Örneğin yapılan çalışmalarda p53 gen ifadesinin, miR-34 ve miR-107 ailelerinin ifadesini uyardığı ve bu sayede hücre döngüsü durmasını neden olduğu ya da apoptozu arttırdığı belirlenmiştir. MYC gen ifadesinin ise miRNA'lar üzerinde hem pozitif hem negatif düzenleme sağladığı rapor edilmiştir. Örneğin MYC gen ifadesi, Lenfoma hücrelerinde miR-17-92 onkojenik kümenin ekspresyonunu ve nöroblastoma hücrelerinde

miR-9'un ekspresyonunu uyarırken miR-15a gibi tümör baskılayıcı miRNA'ların ifadesini bastırmaktadır. İnsanlarda RE1-susturucu transkripsiyon faktörü (REST), histon deasetilazları ve metil CpG bağlayıcı protein MeCP2'yi miR-124 gen promotörüne alarak nöronal progenitörlerde ve nöronal olmayan hücrelerde transkripsiyonunu önlemektedir ayrıca mitotik bölünme sonrası nöronlarda yüksek miR-124 ekspresyonuna izin vererek, farklılaşma üzerine aşağı doğru düzenleme sağlamaktadır. Son olarak DNMT1 ve DNMT3b DNA metil transferazlar ile sağlanan gen promotör metilasyonu durumuna bağlı olarak miR-148a, miR-34b/c, miR-9 ve let-7'nin transkripsiyonu düzenlenmektedir. Metillenme düzeyi arttıkça gen ifadesi baskılanmaktadır (Krol vd., 2010).



Şekil 9. Transkripsiyon faktörleri ile miRNA gen regülasyonu (yeşil pozitif regülasyon, kırmızı negatif regülasyon) (Krol vd., 2010).

NF- κ B onkojenik miR-155'in ekspresyonunu doğrudan yukarı regüle edebilir ve miR-21, miR-181a ve miR-9 dahil olmak üzere diğer birçok miRNA'nın transkripsiyonunu dolaylı olarak arttırmaktadır. İlginç bir şekilde miR-9, NF- κ B1 transkriptini doğrudan baskılayabilir, bu durumda bu miRNA'nın NF- κ B aktivasyonunun süresini azaltmak veya sınırlamak için negatif geri beslemeye aracılık edebileceğini düşünülmektedir. Şekil 10'da geri besleme yoluna örnek olarak, NF- κ B'nin, transkripsiyonel aktivatörü olduğu miR-146a'nın, NF- κ B sinyal yolundaki iki adaptör molekül olan TRAF6 ve IRAK1'i doğrudan hedefleyerek NF- κ B aktivitesini karşılıklı olarak azaltması gösterilmektedir (Bronevetsky ve Ansel, 2013).



Şekil 10. NF-κB miR-9 geri besleme döngüsü (Bronevetsky ve Ansel, 2013).

Transkripsiyon faktörlerinden ayrı olarak gerçekleşen regülasyon işlemine örnek olarak östrojen hormonları gösterilebilmektedir. Östrojenler, cinsiyet farklılıklarına aracılık eden steroid hormonlardır, aynı zamanda lenfositlerin ve monositlerin işlevini de etkilerler ve kadınlarda oto-immün bozuklukların sıklığının artmasına katkıda bulunabilmektedirler. Östrojen reseptörü α ($ER\alpha$) yoluyla sinyal gönderme, miR-16 ve miR-125a dahil olmak üzere belirli miRNA'ların işlenmesini engellediği ifade edilmektedir. Ligand östradiolünün (E2) varlığında, $ER\alpha$, Drosha kompleksine alınır ve Drosha'nın $ER\alpha$ -hedefli pri- miRNA'lardan ayrılmasına yol açmaktadır (Bronevetsky ve Ansel, 2013).

Dokuya özgü miRNA'lar genellikle belirli dokularla ilgili hastalıklarla ilişkilendirilmektedir. Yapılan bir çalışmada, farklı organların insan doku biyopsilerinde miRNA'ların ekspresyon profili sonucunda, miRNA'ların yaklaşık %17'sinin ağırlıklı olarak belirli dokularda eksprese edildiği belirtilmektedir. Kanser, kardiyovasküler hastalık, metabolik hastalık, diyabet ve viral patogeneze dahil olmak üzere çeşitli insan hastalıklarında miRNA ekspresyon paternindeki değişiklik gösterilmektedir ve miRNA düzensizliğinin hastalığın ilerlemesinden sorumlu bir faktör olduğu yapılan çalışmalar ile doğrulanmaktadır (Saliminejad vd., 2018).

miRNA'ların tüm katı tümörlerde ve hematolojik malignitelerde anormal şekilde eksprese edilmesi, bunların onkogen veya tümör baskılayıcı olarak da işlev görebileceklerini düşündürmektedir (Mraz vd., 2009). Kanser hastalığında miRNA'lar üstlendikleri görevlere göre literatürde farklı isimler almaktadır. Pro-apoptotik veya anti-apoptotik olarak apoptozun düzenlenmesinde görev alan miRNA'lar 'ApoptomiR'ler olarak isimlendirilmektedir. Apoptozu düzenleyici olarak tanımlanan ilk miRNA Drosohila bantam geni tarafından kodlanmaktadır. Bu miRNA proapoptotik faktör hid'i doğrudan baskılayarak proliferasyonu kolaylaştırmaktadır. Raporlanan çalışmalar ile miRNA'ların yaklaşık %50'sinin, çeşitli kanserlerde bozulan veya çoğalan genomik bölgelerde bulunduğu belirtilmektedir (Bhaskaran ve Mohan, 2015). Bu özelliklerinden dolayı miRNA'lar

kanserde onkogen veya tümör baskılayıcı olarak görev alabilmektedir. OncomiR'ler kanserde yukarı regüle edilerek hedef tümör baskılayıcı genlerini baskılamaktadır. Buna karşılık, tümör baskılayıcı miRNA'lar malignitede aşağı regüle edilerek hedef onkogenleri aşırı eksprese etmektedir. İlginç bir şekilde, bazı miRNA'lar, örneğin miR-7, onkogenleri veya tümör baskılayıcı genleri hedefleyerek aynı anda oncomiR veya tümör baskılayıcı miRNA olarak davranış gösterebilmektedirler (Bushati ve Cohen, 2007). Ayrıca her kanser dokusunun spesifik bir miRNA ile ilişkili olduğu ve bunun yeni bir kanser sınıflandırma yöntemi olarak kullanılabileceği pek çok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir (Mraz vd., 2009).

Ayrıca çeşitli miRNA'ların, kalp hipertrofisi, fibroz ve miyokard enfarktüsü gibi kardiyovasküler hastalıkların gelişmesinde anahtar rollere sahip olduğu ifade edilmektedir. Miyositlerin fibrozisi sırasında miR-21'in önemli ölçüde artması sonucunda kardiyak hipertrofi gelişmektedir. Fare modellerinde miR-143/145 ailesinin aşağı regülasyonu sonucunda, hipertansiyon ve kalp yetmezliği meydana geldiği belirtilmektedir (Saliminejad vd., 2018).

miRNA'lar, bulaşıcı hastalıkların ortaya çıkışını ve patogenezi birçok yoldan etkileyebilmektedir. Bu yollar arasında bireysel patojenlerin patojenitesinin modüle edilmesi, konakçının doğal ve adaptif bağışıklık tepkisinin etkinliğinin modüle edilmesi ve inflamatuvar yanıtların büyüklüğünün ve çözünürlüğünün modüle edilmesi yer almaktadır. miRNA ekspresyonunun düzensizliği, oto-immün hastalıklar, metabolik bozukluklar ve genetik hastalıklar dahil olmak üzere diğer bulaşıcı olmayan hastalıklarla da ilişkilendirilmektedir (Bhaskaran ve Mohan, 2015). Metabolik bozuklukları ile ilişkilendirilen miRNA'lar kolesterol, yağ asidi, glukoz metabolizması ve pankreas adacık fonksiyonuna etki edebilmektedir. Hayvan modellerinde miR-122'nin aşağı regülasyonu sonucu, kolesterol ve trigliserit seviyelerinde azalma meydana gelmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda, let-7 ve miR-103/107 ailesi, glukoz metabolizması ile ilişkilendirilmektedir. Pankreasta let-7'nin transgenik aşırı ekspresyonu, glukoz toleransının azalmasına yol açarken, pre-let-7 inhibitör proteini olan Lin28'in aşırı ekspresyonu, glukoz alımını arttırmaktadır. Diyabetik komplikasyonların gelişiminde çeşitli miRNA'lar, kolesterol ve glikoz metabolizması ve iltihaplanma ile ilgili önemli genleri hedefleyerek rol oynamaktadır. Diyabetli hastalarda karaciğer, böbrek, pankreas β hücreleri ve yağ dokularında miR-29a/29b1/29b2'nin yukarı regülasyonu gözlemlenmektedir. miR-200 ailesi, tip 2 diyabette pankreatik beta hücresinin hayatta kalmasını düzenlemektedir. miR-200a'nın, diyabetik farelerin adacıklarında önemli ölçüde indüklendiği ve β hücrelerinin apoptozu ile insülin üretimini azalttığı belirtilmektedir (Saliminejad vd., 2018). miRNA'lar bir nöropsikiyatrik bozukluk olan Tourette sendromu ile de ilişkilendirilmektedir. Beyindeki sinaps

regülasyonu ve presinaptik farklılaşmadan sorumlu olan SLITRK gen ailesinin bir parçası olan SLITRK1'in 3 UTR'si, bazı Tourette sendromu hastalarında mutasyona uğramış bir miR-189 bağlama bölgesi içermektedir, bu durum bir GU baz çiftini AU eşleşmesiyle değiştirerek ilgili genin miRNA tarafından daha güçlü düzenleme görmesine neden olmaktadır (Bushati ve Cohen, 2007).

Sonuç olarak, nispeten yakın bir tarihte keşfedilen miRNA'ların birçok biyolojik süreçte rol almaları ve özellikle de transkripsiyon sonrası gen düzenlenmesinde görev alması araştırmacıların bu küçük moleküllere olan ilgisini arttırmış ve çalışmaların yoğunlaşmasını ve çeşitlenmesini sağlamıştır. miRNA'lar günümüzde metabolizma, kök hücre bölünmesi, gelişim, apoptoz, hücre çoğalması, hücre döngüsünün kontrolünde önemli roller üstlendikleri keşfedilmiştir. Ayrıca kanser gibi günümüzde hala tam olarak tedavisinde başarı sağlayamadığımız benzer hastalıklarında oluşumu, teşhis ve tedavisi için büyük bir potansiyel taşımaktadır. İleride miRNA'larla ilgili yapılacak çalışmaların pek çok alanda yenilikler getireceği açıktır.

REFERANSLAR

- Bhaskaran M, Mohan M. *Micrornas: history, biogenesis, and their evolving role in animal development and disease*. *Vet Pathol*. 2014;51(4):759-774.
- Bronevetsky Y, Ansel KM. *Regulation of miRNA biogenesis and turnover in the immune system*. *Immunol Rev*. 2013;253(1):304-316.
- Bushati N, Cohen SM. *Microrna functions*. *Annu Rev Cell Dev Biol*. 2007;23(1):175-205.
- Chipman LB, Pasquinelli AE. *Mirna targeting: growing beyond the seed*. *Trends in Genetics*. 2019;35(3):215-222.
- Cissell KA, Deo SK. *Trends in microRNA detection*. *Anal Bioanal Chem*. 2009;394(4):1109-1116.
- Doxzen KW, Doudna JA. *DNA recognition by an RNA-guided bacterial Argonaute*. Paci E, ed. *PLoS ONE*. 2017;12(5):e0177097.
- Fleige S, Pfaffl MW. *RNA integrity and the effect on the real-time qRT-PCR performance*. *Molecular Aspects of Medicine*. 2006;27(2-3):126-139.
- García-López J, Brieño-Enríquez MA, del Mazo J. *MicroRNA biogenesis and variability*. *BioMolecular Concepts*. 2013;4(4):367-380.
- Ha M, Kim VN. *Regulation of microRNA biogenesis*. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2014;15(8):509-524.
- Hong Y, Lee RC, Ambros V. *Structure and function analysis of lin-14, a temporal regulator of postembryonic developmental events in caenorhabditis elegans*. *Molecular and Cellular Biology*. 2000;20(6):2285-2295.
- <https://mirbase.org/browse/>
- https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/manuals/cms_055423.pdf
- Huang Y, Zou Q, Wang SP, Tang SM, Zhang GZ, Shen XJ. *The discovery approaches and detection methods of microRNAs*. *Mol Biol Rep*. 2011;38(6):4125-4135.
- Hunt EA, Broyles D, Head T, Deo SK. *Microrna detection: current technology and research strategies*. *Annual Rev Anal Chem*. 2015;8(1):217-237.
- Krol J, Loedige I, Filipowicz W. *The widespread regulation of microRNA biogenesis, function and decay*. *Nat Rev Genet*. 2010;11(9):597-610.
- Kuzuoğlu-Öztürk D, Bhandari D, Huntzinger E, Fauser M, Helms S, Izaurralde E. *Mi risc and the ccr 4– not complex silence mrna targets independently of 43s ribosomal scanning*. *The EMBO Journal*. 2016;35(11):1186-1203.
- La Rocca G, Cavalieri V. *Roles of the core components of the mammalian mirisc in chromatin biology*. *Genes*. 2022;13(3):414.
- Lee RC, Feinbaum RL, Ambros V. *The C. elegans heterochronic gene lin-4 encodes small RNAs with antisense complementarity to lin-14*. *Cell*. 1993;75(5):843-854.

- Lin S, Gregory RI. *MicroRNA biogenesis pathways in cancer*. Nat Rev Cancer. 2015;15(6):321-333.
- Lu TX, Rothenberg ME. *Microrna*. Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2018;141(4):1202-1207.
- Mathew R, Mattei V, Al Hashmi M, Tomei S. *Updates on the current technologies for microrna profiling*. MIRNA. 2019;9(1):17-24.
- Mohr A, Mott J. *Overview of microrna biology*. Semin Liver Dis. 2015;35(01):003-011.
- Mraz M, Malinova K, Mayer J, Pospisilova S. *MicroRNA isolation and stability in stored RNA samples*. Biochemical and Biophysical Research Communications. 2009;390(1):1-4.
- Müller M, Fazi F, Ciaudo C. *Argonaute proteins: from structure to function in development and pathological cell fate determination*. Front Cell Dev Biol. 2020;7:360.
- O'Brien J, Hayder H, Zayed Y, Peng C. *Overview of MicroRNA Biogenesis, Mechanisms of Actions, and Circulation*. Front Endocrinol. 2018;3 (9):1-12.
- Pritchard CC, Cheng HH, Tewari M. *MicroRNA profiling: approaches and considerations*. Nat Rev Genet. 2012;13(5):358-369.
- Roush S, Slack FJ. *The let-7 family of microRNAs*. Trends in Cell Biology. 2008;18(10):505-516.
- Saliminejad K, Khorram Khorshid HR, Soleymani Fard S, Ghaffari SH. *An overview of microRNAs: Biology, functions, therapeutics, and analysis methods*. Journal Cellular Physiology. 2019;234(5):5451-5465.
- Song R, Ro S, Yan W. *In situ hybridization detection of micrornas*. In: Sioud M, ed. RNA Therapeutics. Vol 629. Humana Press; 2010:285-292.
- Winter J, Diederichs S. *Microrna biogenesis and cancer*. In: Wu W, ed. MicroRNA and Cancer. Vol 676. Humana Press; 2011:3-22.
- Wright K, de Silva K, Purdie AC, Plain KM. *Comparison of methods for miRNA isolation and quantification from ovine plasma*. Sci Rep. 2020;10(1):825.



BÖLÜM 2

PIMPINELLA (APIACEAE) CİNSİNİN TÜRKİYE'DE Kİ TAKSONOMİK DURUMU

Hüseyin Aşkın AKPULAT¹

¹ Hüseyin Aşkın AKPULAT, Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü,

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-8394-2746>

PIMPINELLA (APIACEAE) CİNSİNİN TÜRKİYE'DE Kİ TAKSONOMİK DURUMU

Pimpinella, Umbelliferae/Apiaceae familyasındaki en büyük cinslerden (170-180 tür) biridir. Bu cins esas olarak kuzey yarımkürenin subtropikal ve ılıman bölgeleri ile Akdeniz bölgesinde yayılış gösterir. Bu bölgeler, bu grup için en önemli çeşitlilik merkezlerinden biri olarak bilinmektedir (Abebe, 1992).

Pimpinella cinsi Wolff (1927) tarafından taç yaprağı rengi, meyve ve taç yaprağı görünümü ve yaşam öyküsü temelinde üç alt bölüme ayrılmıştır.

Pimpinella, kordat-ovoid veya dikdörtgen-ovoid, hafifçe yanal olarak sıkıştırılmış meyvelere sahip, her biri beş filiform kaburgalı, çoğunlukla çok yıllık bitkilerden oluşur (Pu ve Watson, 2005).

Türkiye, *Pimpinella* cinsinin ana merkezlerinden biridir. *Pimpinella* cinsinde 26 tür (8 endemik), 5 alttür ve 4 varyete olmak üzere 31 takson bulunmaktadır (Matthews, 1972; Ertekin ve Kaya, 2005; Güner vd., 2012; Çinbilgel vd., 2015; Akalın vd., 2016). Son olarak 28 tür 5 alttür olmak üzere 33 takson ülkemizde bulunmaktadır. *Pimpinella anthriscoides* Boiss., *Aegopodium tribracteolatum* Schmalh genusuna aktarılmıştır (Tablo 1).

Türkiye'deki *Pimpinella* türlerinin listesi Tablo 1'de verilmiştir. Bu türler tek yıllık, iki yıllık ve çok yıllıktır ve genellikle kuru kayalık yerlerde, kayalık yarıklarda, tarlalarda, çayırarda, dağ meralarında ve otlaklarda yetişir.

Tablo 1: *Pimpinella* Cinsinin Türkiye'deki Durumu

Taxon	Türkiye Florası 1972;1998)	Taksonomik değişiklik (son durumu) 2023
1- <i>Pimpinella adiyamanensis</i> Yild. & Kiliç	Yeni tür	
2- <i>Pimpinella affinis</i> Ledeb.	Var	
3- <i>Pimpinella anisetum</i> Boiss. & Balansa	Var	
4- <i>Pimpinella anisum</i> L.	Var	
5- <i>Pimpinella aromatica</i> M. Bieb.	Var	
6- <i>Pimpinella aurea</i> DC.	Var	
7- <i>Pimpinella cappadocica</i> Boiss. & Balansa	Var	

8- <i>Pimpinella corymbosa</i> Boiss.	Var	
9- <i>Pimpinella cretica</i> Poir.	Var	
10- <i>Pimpinella enguezekensis</i> Yild., Akalin & Yesilyurt	Yeni tür	
11- <i>Pimpinella eriocarpa</i> Banks & Sol.	Var	
12- <i>Pimpinella flabellifolia</i> (Boiss.) Benth. & Hook. fil. ex Drude	Var	
13- <i>Pimpinella ibradiensis</i> Çinbilgel, Eren, H. Duman & Gökceoglu	Yeni tür	
14- <i>Pimpinella isaurica</i> Matthews	Var	<i>Pimpinella isaurica</i> subsp. <i>isaurica</i> Matthews
14- <i>Pimpinella isaurica</i> subsp. <i>sumbuliana</i> Matthews	Yeni tür	
15- <i>Pimpinella kotschyana</i> Boiss.	Var	
16- <i>Pimpinella nephrophylla</i> Rech. fil. & Riedl	Yeni kayıt	
17- <i>Pimpinella nudicaulis</i> Trautv.	Var	
18- <i>Pimpinella olivieroides</i> Boiss. & Hausskn.	Var	
19- <i>Pimpinella paucidentata</i> Matthews	Var	
20- <i>Pimpinella peregrina</i> L.	Var	
21- <i>Pimpinella peucedanifolia</i> Fisch. ex Ledeb.	Var	
22- <i>Pimpinella puberula</i> (DC.) Boiss.	Var	
23- <i>Pimpinella rhodantha</i> Boiss.	Var	
24- <i>Pimpinella saxifraga</i> L.	Var	
25- <i>Pimpinella sintenisii</i> H. Wolff	Var	
26- <i>Pimpinella tragium</i> subsp. <i>polyclada</i> Matthews	Var	
26- <i>Pimpinella tragium</i> subsp. <i>pseudotragium</i> Matthews	Var	

26- <i>Pimpinella tragi-</i> <i>um</i> subsp. <i>tragicum</i> Vill.	Yeni kayıt	
26- <i>Pimpinella tragi-</i> <i>um</i> subsp. <i>lithophila</i> Vill.	Var	
27- <i>Pimpinella tripartita</i> Kalen.	Yeni kayıt	
28- <i>Pimpinella tunceliana</i> Yild.	Yeni tür	
<i>Pimpinella anthriscoides</i> Bo- iss.	Var	<i>Aegopodium tribracteola-</i> <i>tum</i> Schmalh

1-*Pimpinella adiyamanensis* Yild. & Kiliç; Ot Sist. Bot. Dergisi 26(1): 45 (2019)

Yayılışı: **Türkiye**

2-*Pimpinella affinis* Ledeb.; Fl. Ross. 2: 257 (1844)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, Kuzey-Doğu Anadolu); **Türkmenistan; Kuzey Kafkasya; Gürcistan** (Kafkasya); **Ermenistan; Azerbeycan; Irak** (Kuzey-Doğu Kuzey-Batı Irak); **İran; Afganistan.**

Not: *P. peregrina*'nın bir sinonimi olabilir.

Sinonim:

= *Pimpinella affinis* f. *oligactis* Bornm.; Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 51: 97 (1942)

= *Pimpinella affinis* var. *multiradiata* Boiss.; Fl. Orient. 2: 868 (1872)

= *Pimpinella ambigua* K.Koch ex H.Wolff; Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 17: 44 (1921)

= *Pimpinella gracilis* Bisch.; Index Seminum (HEID, Heidelbergensi) 1848: 4 (1848)

= *Pimpinella griffithiana* Boiss.; Diagn. Pl. Orient., ser. 2, 2: 74 (1856)

= *Pimpinella korovinii* Kamelin; Novosti Sist. Vyssh. Rast. 8: 208 (1971)

= *Pimpinella multiradiata* (Boiss.) Korovin; Fl. Uzbekistan. 4: 354 (1959), nom. illeg.

= *Pimpinella reuteriana* Boiss.; Diagn. Pl. Orient. 10: 26 (1849)

3-*Pimpinella anisetum* Boiss. & Balansa; Boiss., Diagn. Pl. Orient. ser. 2, 6: 78 (1859)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu-Anadolu, İç Anadolu, Kuzey-Anadolu)

4-Pimpinella anisum L.; Sp. Pl. 264 (1753)

Yayılışı: **Türkiye;** Norveç; Almanya; Avusturya; Polonya; Slovakya; Macaristan; Portekiz;

İspanya; Fransa; İtalya; Romanya; Bulgaristan; Yunanistan; Estonya; Rusya Avrupa kısmı; Ukrayna; Fas; Tunus; Kazakistan; Türkmənistan; Özbekistan; Tacikistan; Kuzey Kafkasya; Kıbrıs; İsrail; Yemen; Çin; Nepal; Bangladeş; Myanmar; Laos; Vietnam; Java; Amerika; Meksika; Guatemala; El Salvador; Nikaragua; Virgin; Kolombiya; Bolivya; Arjantin.

Sinonim:

- = *Anisum odoratum* Raf.; Good Book Amenit. Nat., Philad. 52 (1840)
- = *Anisum officinale* DC.; Prod. 4: 122 (1830)
- = *Anisum officinarum* Moench; Methodus 100 (1794), nom. illeg.
- = *Anisum vulgare* Gaertn.; Fruct. 1: 23 (1788)
- = *Anisum vulgare* Hill; 424 (1756), nom. inval.
- = *Apium anisum* (L.) Crantz; Cl. Umb. Emend. 101 (1767)
- = *Carum anisum* (L.) Baill.; Hist. Pl. 7: 119, 178 (1879)
- = *Pimpinele anisa* (L.) St.-Lag.; Ann. Soc. Bot. Lyon 7: 131 (1880)
- = *Pimpinella palmetorum* Steud.; Nomencl. Bot., ed. 2, 2: 335 (1841), nom. nud.
- = *Ptychotis vargasiana* DC.; Prodr. 4: 109 (1830)
- = *Selinum anisum* (L.) E.H.L.Krause; Sturm. Fl. Deutschland, ed. 2, 12: 56 (1904)
- = *Seseli gilliesii* Hook. & Arn.; Bot. Misc. 3: 354 (1833)
- = *Sison anisum* (L.) Spreng.; Ges. Naturf. Fr. Berl. Mag. 6: 260 (1812)
- = *Tragium anisum* (L.) Link; Enum. Hort. Berol. 1: 285 (1821)
- = *Tragium palmetorum* Hochst. & Steud.; Nomencl. Bot., ed. 2, 2: 696 (1841), pro syn.

5-Pimpinella aromatica M.Bieb.; Fl. Taur.-Caucasus 1: 241 (1808)

Yayılışı: **Türkiye; Kuzey Kafkasya; Gürcistan [Kafkasya]; Ermenistan; Azerbeycan.**

Sinonim:

= *Pimpinella anisum* Georgi; Beschr. Nation. Russ. Reich 3(4): 860 (1800), nom. illeg.

= *Pimpinella anisum* S.G.Gmel.; Reise Russland 4: 13 (1784), nom. illeg.

= *Pimpinella armena* Schischk.; Notul. Syst. Herb. Inst. Bot. Acad. Sci. URSS 12: 210 (1950)

= *Pimpinella cappadocica* var. *iberica* Sommier & Levier; Trudy Imp. S.-Peterburgsk. Bot. Sada 16: 178 (1900)

= *Pimpinella schatiliensis* Otsch.; Notul. Syst. Geogr. Inst. Bot. Thbiliss., Fasc. 25, 7 (1965)

= *Tragium aromaticum* (M.Bieb.) Spreng.; Pl. Umbell. Prodr.: 26 (1813)

6-*Pimpinella aurea* DC.; Prodr. 4: 120 (1830)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, Kuzey-Doğu Anadolu, Güney-Doğu Anadolu); **Türkmenistan; Ermenistan; Azerbeycan; İran.**

Sinonim:

= *Pimpinella flava* C.A.Mey.; Verz. Pfl. Caucasus 122 (1831)

= *Pimpinella ramosissima* DC.; Prodr. 4: 122 (1830), nom. illeg.

= *Reutera aurea* (DC.) Boiss.; Fl. Orient. 2: 863 (1872)

= *Reutera cervariifolia* Boiss.; Ann. Sci. Nat. Ser. III. 1: 134 (1844)

= *Reutera flava* (C.A.Mey.) Boiss.; Ann. Sci. Nat. Ser. III. 1: 135 (1844)

7-*Pimpinella cappadocica* Boiss. & Balansa; Boiss., Diagn. Pl. Orient. ser. 2,6: 79 (1859)

Yayılışı: **Türkiye** (İç Anadolu, Kuzey Anadolu, Kuzey-Doğu Anadolu)

8-*Pimpinella corymbosa* Boiss.; Ann. Sci. Nat. ser. 3, 1: 131 (1844)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, İç Anadolu, Kuzey Anadolu, Kuzey-Doğu Anadolu, Güney-Anadolu, Güney-Doğu Anadolu: Mezopotanya

Anadolu); **Irak** (Kuzey-Doğu Irak, Kuzey-Batı Irak); **İran** (Kuzey-İran, Güney-İran); **Lübnan**; **Suriye** (Çölller, Batı Suriye Dağları); **İsrail** (Negev Çölü, Kuzey-İsrail); **Ürdün**.

Sinonim:

= *Pimpinella corymbosa* var. *finitima* Bordz.; Zap. Kievsk. Obshch. Estestvoisp. 25: 92 (1915)

9-Pimpinella cretica Poir.; Lam., Encycl. Méth. Bot., Suppl. 1: 684 (1811)

Yayılışı: **Türkiye** (Güney, Güney-Doğu Anadolu, Güney-Batı Anadolu, Batı Anadolu; **Almanya**; **Yunanistan**; **Irak** (Kuzey-Doğu Anadolu Irak); **Kıbrıs**; **Lübnan**; **Suriye** (Batı Suriye kıyıları, Batı Dağları); **İsrail**; **Sina Filistin**; **Ürdün**; **Sudi Arabistan** (Hejaz, Midyan, Asir, Nejd Çölleri).

Sinonim:

= *Anisum creticum* (Poir.) Calest.; Martelli, Webbia 1: 162 (1905)

= *Cuminum crinitum* (Poir.) Koso-Pol.; Bull. Soc. Imp. Naturalistes Moscou, no. s. 29: 208 (1915 publ. 1916)

= *Pimpinella anisum* var. *cretica* (Poir.) Alef.; Landw. Fl.: 154 (1866)

= *Pimpinella nodosa* d'Urv.; Mem. Soc. Linn. Par. 1: 289 (1822)

= *Pimpinella tenuis* Sieber ex Spreng.; Roem. & Schult., Syst. Veg. ed. 15[bis]. 6: 394 (1820)

= *Selinum creticum* (Poir.) E.H.L.Krause; Sturm. Fl. Deutschland, ed. 2, 12: 57 (1904)

10-Pimpinella enguezekensis Yild., Akalin & Yesilyurt; Phytotaxa 289(3): 238 (2016)

Yayılışı: **Türkiye** (Malatya)

11-Pimpinella eriocarpa Banks & Sol.; Russ., Nat. Hist. Aleppo ed. 2, 2: 249 (1794)

Yayılışı: **Türkiye** (Güney-Doğu Anadolu, Mezopotanya Anadolu); **Irak** (Kuzey-Doğu Irak, Güney-Irak, Kuzey-Irak: Çöl); **İran** (Güney-İran, Batı-İran); **Suriye** (Suriye Çölü, Jazira, Kuzey Batı, Suriye); **İsrail** (Rift

Vadisi, Kuzey-Negev Çölü, Judean Çölü); **Ürdün** (Güney-Ürdün); **Sudi Arabistan** (Asir)

Sinonim:

= *Chesneya daucoides* Bertol.; Nov. Comm. Bonon. 5: 427 (Misc. Bot. 1: 17. t. 2) (1842)

= *Gaytania chesneyana* Münter; Bot. Zeitung (Berlin) 1: 730 (1843)

= *Gaytania daucoides* (Bertol.) Boiss.; Fl. Orient. 2: 867 (1873)

= *Pimpinella eriocarpa* var. *brevihirta* C.C.Towns.; Kew Bull. 19: 72 (1964)

= *Pimpinella moabitica* Post; Bull. Herb. Boissier 3: 54568 (1895)

= *Pimpinella tenuifolia* (Spreng.) DC.; Prodr. 4: 123 (1830)

= *Tragium eriocarpum* (Sol.) Schult.; Roem. & Schult., Syst. Veg. ed. 15[bis]. 6: 394 (1820)

= *Tragium tenue* Sieber ex Link; Enum. Hort. Berol. Alt. 1: 286 (1821)

= *Tragium tenuifolium* Spreng.; Roem. & Schult., Syst. Veg. ed. 15[bis]. 6: 393 (1820)

12-*Pimpinella flabellifolia* (Boiss.) Benth. & Hook.f. ex Drude; Engl. & Prantl, Natürl. Pflanzenfam. III 8: 196 (1898)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, İç Anadolu)

Sinonim:

= *Carum flabellifolium* (Boiss.) Koso-Pol.; Bull. Soc. Imp. Naturalistes Moscou, n.s. 29: 198 (1915 publ. 1916)

= *Reutera flabellifolia* Boiss.; Ann. Sci. Nat. ser. 3, 1: 135 (1844)

13-*Pimpinella ibradiensis* Çinbilgel, Eren, H.Duman & Gökçeoglu; Phytotaxa 217(2): 165 (2015)

Yayılışı: **Türkiye**

14-*Pimpinella isaurica* Matthews; Not. Roy. Bot. Gard. Edinb. 31: 77 (1971)

subsp. *isaurica*

Yayılışı: **Türkiye** (İç Anadolu, Güney-Batı Anadolu)

subsp. *sumbuliana* Göktürk; Ann. Bot. Fenn. 45(4): 293 (2008)

Yayılışı: **Türkiye**

15-Pimpinella kotschyana Boiss.; Ann. Sci. Nat. ser. 3, 1: 133 (1844)

Yayılışı: **Türkiye** (İç Anadolu, Kuzey-Batı Anadolu: Güney, Güney-Doğu Anadolu); **Irak** (Kuzey-Doğu Irak, Kuzey-Batı Irak); **İran** (İran Azerbeycan sınırı); **Suriye** (Batı Suriye Dağları).

Sinonim:

= *Athamanta hemisphaerica* Stapf & Wettst.; Denkschr. Kaiserl. Akad. Wiss., Wien. Math.-Naturwiss. Kl. 51: 319 (1886)

= *Pimpinella apiifolia* Boiss.; Diagn. Ser. I. 10: 25 (1849)

= *Pimpinella corymbosa* var. *kotschyana* (Boiss.) Post; Fl. Syria: 349 (1896)

= *Pimpinella haussknechtii* Rech.f. & Riedl; Anz. Österr. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl. 98: 225 (1961)

16-Pimpinella nephrophylla Rech.f. & Riedl; Anz. Österr. Akad. Wiss. Math.-Naturwiss. Kl. 98: 226 (1961)

Yayılışı: **Türkiye** (Güney-Doğu Anadolu); **Irak** (Kuzey-Doğu Irak)

17-Pimpinella nudicaulis Trautv.; Acta Horti Petrop. 2: 473 (1873)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, Kuzey-Doğu Anadolu)

18-Pimpinella oliverioides Boiss. & Hausskn.; Boiss., Fl. Orient. 2: 871 (1872)

Yayılışı: **Türkiye** (İç Anadolu, Kuzey-Anadolu); **Irak** (Kuzey-Doğu Irak); **İran** (Güney-İran, Güney-İran)

19-Pimpinella paucidentata Matthews; Davis, Fl. Türkiye 4: 354 (1972)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, İç Anadolu); **Suriye**

Sinonim:

= *Carum tenue* (Boiss. & Hausskn.) Koso-Pol.; Bull. Soc. Imp. Naturalistes Moscou, no. s. 29: 197 (1915 publ. 1916)

= *Pimpinella tenuis* (Boiss. & Hausskn.) H. Wolff; Engl., Pflanzenr. 90 (IV, 228): 223 (1927) (non Sieber ex Schult. (1820))

= *Reutera tenuis* Boiss. & Hausskn.; Boiss., Fl. Orient. 2: 862 (1872)

20-Pimpinella peregrina L.; Sp. Pl. 264 (1753)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, Güney-Doğu Anadolu, Kuzey Anadolu, Kuzey-Doğu Anadolu, Batı Anadolu); **İtalya**; **Sicilya**; **Malta**; **San**

Marino; Sırbistan; Bosna & Hersek; Karadağ; Kosova; Makedonya; Arnavutluk; Romanya; Bulgaristan; Almanya;İspanya; Fransa; Monako; Korsika; Yunanistan;Russia; Ukrayna; Libya; Kazakistan; Türkmenistan; Özbekistan; Kırgızistan; Tacikistan; Kuzey Kafkasya; Gürcistan; Ermenistan; Azerbeycan; Irak (Kuzey-Doğu Irak); Kıbrıs; Lübnan; Suriye (Batı sahili-Suriye, Batı Suriye Dağları); İsrail (Batı sahil-İsrail, Kuzey-İsrail); Ürdün.

Sinonim:

- = *Anisum italicum* Raf.; Good Book Amenit. Nat., Philad. 52 (1840)
- = *Apium peregrinum* (L.) Crantz; Cl. Umb. Emend. 101 (1767)
- = *Caucalis tuberculata* Poir.; Encyc. Suppl. 2: 137 (1811)
- = *Ledeburia pimpinelloides* Link; Enum. Hort. Berol. 1: 286 (1821)
- = *Pimpinella hispida* Loisel.; J. Bot. (Desvaux) 2: 272 (1809)
- = *Pimpinella peregrina* var. *glabriuscula* Thell.; 1197 (1926)
- = *Pimpinella peregrina* var. *hispida* (Loisel.) Thell.; 1197 (1926)
- = *Pimpinella taurica* (Ledeb.) Steud.; Nom. ed. II. 2: 336 (1841)
- = *Torilis trilobata* Viv. ex DC.; Prod. 4: 121 (1830)
- = *Torilis tuberculata* Spreng.; Roem. & Schult., Syst. Veg. ed. 15[bis]. 6: 426 (1820)
- = *Tragium peregrinum* (L.) Spreng.; Pl. Umbell. Prod. 26 (1813)
- = *Tragium tauricum* Ledeb.; Ind. Sem. Hort. Dorpat. (1819), et ex Link, Enum. Hort Berol. 1: 286

21-Pimpinella peucedanifolia Fisch. ex Ledeb.; Fl. Ross. 2: 256 (1844)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, Kuzey-Doğu Anadolu, Güney-Doğu Anadolu) **Ermenistan; Azerbeycan.**

Sinonim:

- = *Carum peucedanifolium* (Fisch. ex Ledeb.) Koso-Pol.; Bull. Soc. Imp. Naturalistes Moscou, n.s. 29: 198 (1915 publ. 1916)
- = *Pimpinella quercetorum* Woronow; Trudy Bot. Inst. Akad. Nauk S.S.S.R., Ser. 1, Fl. Sist. Vyssh. Rast. 1: 219 (1933)

22-Pimpinella puberula (DC.) Boiss.; Ann. Sci. Nat. ser. 3, 1: 129 (1844)

Yayılışı: **Türkiye** (Güney, Güney-Doğu Anadolu, Güney-Doğu Anadolu; Mezopotanya Anadolu); **Kazakistan; Türkmenistan; Özbekistan; Kırgistan; Tacikistan; Azerbeycan; Irak** (Kuzey-Doğu Irak, Kuzey-Batı Irak, Çölleri); **İran** (Kuzey-Doğu İran); **Afganistan; Suriye** (Suriye Çölleri); **Sudi Arabistan; Umman; Çin; Pakistan.**

Sinonim:

= *Pimpinella cretica* var. *lasiopetala* Feinbrun; Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 29: 134 (1931)

= *Pimpinella cretica* var. *petraea* (Nábelek) Zohary; Fl. Palaestina 2: 427 (1972)

= *Pimpinella nabelekii* M.Hiroe; Umbellif. of World: 834 (1979), nom. nov.

= *Pimpinella petraea* Nábelek; Publ. Fac. Sci. Univ. Masaryk, Brno, No. 35, 122 (1923), nom. illeg., non Willd. ex Spreng. (1818)

= *Pimpinella ramosissima* Schischk.; Bot. Mater. Gerb. Bot. Inst. Komarova Akad. Nauk S.S.S.R. 12: 202 (1950), nom. illeg.

= *Ptychotis puberula* DC.; Prodr. 4: 109 (1830)

23-Pimpinella rhodantha Boiss.; Tchich., Asie Min. Bot. 1: 414 (1860)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, Kuzey Anadolu, Kuzey-Doğu Anadolu); **Kuzey Kafkasya; Gürcistan; Ermenistan; Azerbeycan; İran** (Kuzey İran ve İran Azarbaycan sınırı)

Sinonim:

= *Carum rhodanthum* (Boiss.) Koso-Pol.; Bull. Soc. Imp. Naturalistes Moscou, no. s. 29: 198 (1915 publ. 1916)

= *Pimpinella dissecta* M.Bieb.; Fl. Taur.-Caucas. 1: 241 (1808), nom. illeg.

= *Pimpinella magna* var. *rosea* Steven ex DC.; Prodr. 4: 120 (1830)

24-Pimpinella saxifraga L.; Sp. Pl. 263 (1753)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, Kuzey Anadolu, Kuzey-Doğu Anadolu, Batı Anadolu); **İngiltere; İrlanda; Danimarka; Norveç; İsveç; Finlandiya; Hollanda; Belçika; Lüksemburg; Almanya; Avusturya; Polonya; İsviçre; Çekya; Karadağ; Sırbistan; Slovakya; Macaristan; İspanya; Fransa; İtalya; Slovenya; Hırvatistan; Bosna Hersek; Kosova; Makedonya; Arnavutluk; Romanya; Bulgaristan; Yunanistan; Estonya;**

Litvanya; Belarus; Rusya; Moldovya; Ukrayna; Sibirya; Kazakistan; Kuzey Kafkasya; Gürcistan; Ermenistan; Azerbeycan; Irak (Kuzey-Doğu Irak); İran (İran Azerbeycan sınırı); Lübnan; Suriye; İsrail; Filistin; Ürdün; Kanada; Amerika.

Sinonim:

- = *Apium laconicum* (Halácsy) Calest.; Webbia 1: 178 (1905)
- = *Apium saxifragum* (L.) Calest.; Martelli, Webbia 1: 178 (1905)
- = *Apium tragoselinum* Crantz; Cl. Umbell. Emend.: 100 (1767)
- = *Carum dissectum* (Retz.) Baill.; Hist. Pl. 7: 179 (1879)
- = *Carum nigrum* (Willd.) Baill.; Hist. Pl. 7: 178 (1879)
- = *Carum saxifraga* (L.) Baill.; Hist. Pl. 7: 178 (1879)
- = *Pimpinella acaulis* Krock.; Fl. Siles. Suppl. 1: 341 (1823)
- = *Pimpinella angustifolia* Gilib.; Fl. Lit. Inch. 2: 42 (1782), opus utique oppr.
- = *Pimpinella asopii* Orph.; Boiss., Fl. Orient. 2: 873 (1873)
- = *Pimpinella calvertii* Boiss.; Diagn. Pl. Orient., ser. 2, 2: 73 (1856)
- = *Pimpinella crispa* Hornem.; Hort. Hafn. 1: 289 (1813)
- = *Pimpinella dissecta* Pollini; Fl. Veron. 1: 396 (1822), nom. illeg.
- = *Pimpinella dissecta* Retz.; Observ. Bot. 3: 30 (1783)
- = *Pimpinella dissecta* var. *laciniata* (Thore) Pohl; 293 (1809)
- = *Pimpinella genevensis* Vill.; Hist. Pl. Dauph. 2: 604 (1787)
- = *Pimpinella hircina* (L.) Mill.; Gard. Dict. ed. 8.: no. 3 (1768)
- = *Pimpinella hircina* Leers; Fl. Herborn. 79 (1775), nom. illeg.
- = *Pimpinella intermedia* Nees; Flora 2: 293 (1819), nom. nud.
- = *Pimpinella laciniata* Gilib.; Fl. Lit. Inch. 2: 43 (1782), opus utique oppr.
- = *Pimpinella laconica* Halácsy; Consp. Fl. Graec. 1: 681 (1901)
- = *Pimpinella latifolia* Gilib.; Fl. Lit. Inch. 2: 42 (1782), opus utique oppr.
- = *Pimpinella lucida* Schur; Enum. Pl. Transsilv.: 250 (1866)
- = *Pimpinella magna* Hablitz; Descr. Phys. Taur.: 239 (1788), nom. illeg.

- = *Pimpinella magna* subsp. *dissecta* (Retz.) Nyman; Consp. Fl. Eur.: 306 (1879), isonym
- = *Pimpinella magna* subsp. *dissecta* (Retz.) Schübl. & G.Martens; Fl. Württemberg: 193 (1834)
- = *Pimpinella magna* var. *dissecta* (Retz.) Hartm.; Handb. Skand. Fl., ed. 2: 81 (1882), isonym
- = *Pimpinella magna* var. *dissecta* (Retz.) Hausm.; 353 (1851)
- = *Pimpinella media* Hoffm.; 91, 178 (1814), nom. inval.
- = *Pimpinella media* Spreng.; Roem. & Schult., Syst. Veg. ed. 15[bis]. 6: 837 (1820), nom. illeg.
- = *Pimpinella minor* Ehrh. ex Spreng.; Roem. & Schult., Syst. Veg. ed. 15[bis]. 6: 386 (1820)
- = *Pimpinella minor* F.H.Wigg.; 26 (1780)
- = *Pimpinella nigra* f. *dissecta* (Retz.) Weide; 263 (1962)
- = *Pimpinella ovata* Spreng.; Roem. & Schult., Syst. Veg. ed. 15[bis]. 6: 837 (1820)
- = *Pimpinella poteriifolia* Schur; Enum. Pl. Transs. 249 (1866)
- = *Pimpinella pratensis* Thuill.; Fl. Par. ed. II. 154 (1799)
- = *Pimpinella rotunda* Dulac; Fl. Hautes-Pyrénées: 349 (1867)
- = *Pimpinella rotundifolia* Scop.; Fl. Carn. ed. II. 1: 208 (1771), non M. Bieb.
- = *Pimpinella rupestris* Bory; Ann. Gén. Sci. Phys. 3: 12 (1820)
- = *Pimpinella saxifraga* f. *cordatotriangularis* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 155 (1925)
- = *Pimpinella saxifraga* f. *cordatotrigona* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 156 (1925)
- = *Pimpinella saxifraga* f. *cuneato-ovata* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 156 (1925)
- = *Pimpinella saxifraga* f. *dissecta* (Retz.) A.Blytt & O.C.Dahl; 530 (1904)
- = *Pimpinella saxifraga* f. *dissecta* (Retz.) Wahlenb.; Fl. Suecica 1: 185 (1824), isonym
- = *Pimpinella saxifraga* f. *dissectiformis* Weide; 255 (1962)
- = *Pimpinella saxifraga* f. *falcata* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl.

Fenn. 48: 156 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* f. *intermedia* (Hagenb.) Thell.; 1205 (1926)

= *Pimpinella saxifraga* f. *nana* Druce; Rep. Bot. Soc. Exch. Club Brit. Isles 5: 108 (1918)

= *Pimpinella saxifraga* f. *oblonga* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 155 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* f. *ovata* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 155 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* f. *purpurea* (Beauverd) Thell.; 1205 (1926)

= *Pimpinella saxifraga* f. *rotundifolia* (Scop.) Bolzon; Nuovo Giorn. Bot. Ital., n.s. 20: 320 (1913)

= *Pimpinella saxifraga* f. *subcordata* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 155 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* f. *subovata* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 155 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* f. *subrhombica* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 155 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* f. *subrotunda* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 155 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* f. *subtriangularis* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 155 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* f. *ternata* (Ces.) Thell.; 1204 (1926)

= *Pimpinella saxifraga* f. *triangulariovata* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 156 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* f. *triangularis* Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 156 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* subsp. *dissecta* (Retz.) Gaudin; Fl. Helv. 2: 439 (1828)

= *Pimpinella saxifraga* subsp. *integrifolia* (Wallr.) Brenner; Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48: 156 (1925)

= *Pimpinella saxifraga* subsp. *minor* Wallr. ex Weide; 257 (1962), nom. illeg.

= *Pimpinella saxifraga* subsp. *montana* Weide; 258 (1962)

= *Pimpinella saxifraga* subsp. *poteriifolia* Ehrh.; 219 (1780), nom. inval.

- = *Pimpinella saxifraga* subsp. *selinifolia* Ehrh.; 219 (1780), nom. inval.
- = *Pimpinella saxifraga* subvar. *neglecta* (K.Malý) Thell.; 1205 (1926)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *alba* Schltld.; 162 (1823)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *cinerea* Lamotte; Prodr. Fl. Plat. Centr. 1: 347 (1877)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *dissecta* (Retz.) Hartm.; Handb. Skand. Fl.: 121 (1820), isonym
- = *Pimpinella saxifraga* var. *dissecta* (Retz.) W.D.J.Koch & Ziz; 7 (1814)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *dissectifolia* Boiss.; Fl. Orient. 2: 873 (1872), nom. illeg.
- = *Pimpinella saxifraga* var. *dissectifolia* Wallr.; Sched. Crit. 123 (1822)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *glabra* Mert. & W.D.J.Koch ex Weide; 253 (1962)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *hircina* L.; Sp. Pl. ed. 2.: 378 (1762)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *hircina* Leers ex Rehb.; XLIV (1833), nom. illeg.
- = *Pimpinella saxifraga* var. *intercedens* Thell.; 1205 (1926)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *intermedia* Gaudin; Fl. Helv. 2: 440 (1828)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *intermedia* Hagenb.; 274 (1821)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *leptophylla* Dierb.; 236 (1825)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *leucorhiza* Dierb.; 236 (1825)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *major* Thuill.; 154 (1799), nom. inval.
- = *Pimpinella saxifraga* var. *major* Wallr.; Sched. Crit.: 124 (1822), nom. illeg.
- = *Pimpinella saxifraga* var. *minor* Leers; 79 (1775)
- = *Pimpinella saxifraga* var. *minor* Roth; 129 (1788), nom. illeg.
- = *Pimpinella saxifraga* var. *minor* Spreng.; 115 (1818), nom. illeg.
- = *Pimpinella saxifraga* var. *minor* Thuill.; 154 (1799), nom. inval.
- = *Pimpinella saxifraga* var. *minor* Wallr.; Sched. Crit.: 123 (1822), nom. illeg.

= *Pimpinella saxifraga* var. *nana* (Druce) P.D.Sell; Fl. Great Britain Ireland 3: 518 (2009)

= *Pimpinella saxifraga* var. *ovata* Spreng.; 116 (1818)

= *Pimpinella saxifraga* var. *ovata* Wimm. & Grab.; Fl. Siles. 1: 280 (1827)

= *Pimpinella saxifraga* var. *pinnatifida* Döll; 711 (1843)

= *Pimpinella saxifraga* var. *poteriifolia* Ehrh. ex Ehrh.; 13 (1790), nom. inval.

= *Pimpinella saxifraga* var. *poteriifolia* Ehrh. ex Wallr.; Sched. Crit.: 123 (1822)

= *Pimpinella saxifraga* var. *pratensis* Wimm. & Grab.; Fl. Siles. 1: 280 (1827)

= *Pimpinella saxifraga* var. *procera* (Weide) Soó; Acta Bot. Acad. Sci Hung., 18(1-2): 176 (1973)

= *Pimpinella saxifraga* var. *pubescens* Lej. & Courtois; Comp. Fl. Belg. 1: 241 (1828)

= *Pimpinella saxifraga* var. *pubescens* Mert. & W.D.J.Koch ex Weide; 254 (1962), nom. illeg.

= *Pimpinella saxifraga* var. *seseliifolia* Rouy & E.G.Camus; Rouy & Foucaud, Fl. Fransa 7: 347 (1901)

= *Pimpinella saxifraga* var. *ternata* (Ces.) Murr; 220 (1923)

= *Pimpinella saxifraga* var. *tevennensis* Buord; Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest, num. spec. 28 (Ombellif. Fransa) 4: 2111 (2008)

= *Pimpinella variifolia* Salisb.; Prodr. Stirp. Chap. Allerton 168 (1796)

= *Selinum pimpinella* E.H.L.Krause; Sturm, Fl. Deutschland, ed. 2, 12: 53 (1904), nom. illeg.

= *Selinum pimpinella* var. *saxifraga* (L.) E.H.L.Krause; 53 (1904), nom. illeg.

= *Tragoselinum dissectum* (Retz.) Moench; 99 (1794)

= *Tragoselinum hircinum* (L.) Moench; Methodus: 99 (1794)

= *Tragoselinum minus* Garsault; Fig. Pl. Méd.: t. 523 (1764), opus utique rej.

= *Tragoselinum minus* Lam.; Fl. Franç. 3: 447 (1779)

= *Tragoselinum saxifragum* (L.) Moench; Methodus 99 (1794)

25-Pimpinella sintenisii H. Wolff; Engl., Pflanzenr. 90 (IV, 228): 223 (1927)

Yayılışı: **Türkiye** (Güney-Doğu Anadolu); **Irak** (Kuzey-Doğu Irak)

Sinonim:

= *Pimpinella intermedia* H. Wolff; Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 17: 457 (1921), nom. illeg.

= *Reutera intermedia* Stapf ex H. Wolff; Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 17: 457 (1921), pro syn.

26-Pimpinella tragium Vill.; Prosp. Pl. Dauph. 24 (1779)

subsp. ***lithophila*** (Schischk.) Tutin; Feddes Repert. 79: 62 (1968)

Yayılışı: **Türkiye** (Doğu Anadolu, İç Anadolu, Kuzey, Kuzey-Doğu Anadolu, Batı Anadolu, Güney, Doğu Anadolu); **İspanya; Fransa; İtalya; Hırvatistan; Makedonya; Arnavutluk;**

Romanya; Bulgaristan; Ukrayna; Fas; Kazakistan; Türkmenistan; Azerbeycan; Irak

(Kuzey-Doğu Irak); **İran; Lübnan; Umman.**

Sinonim:

= *Pimpinella depauperata* Post; J. Linn. Soc., Bot. 24: 427 (1888)

= *Pimpinella djurdjurae* Chabert; Bull. Soc. Bot. Fransa 36: 25 (1889)

= *Pimpinella grossheimii* Schischk.; Bot. Mater. Gerb. Bot. Inst. Komarova Akad. Nauk S.S.S.R. 12: 204 (1950)

= *Pimpinella lithophila* Schischk.; Notul. Syst. Herb. Inst. Bot. Acad. Sci. URSS 12: 206 (1950)

= *Pimpinella longiradiata* Boiss. & Heldr.; Boiss., Diagn. Pl. Orient., ser. 2, 2: 75 (1856)

= *Pimpinella manzanedoi* Sennen & Elías; Bol. Soc. Ibér. Ci. Nat. 27: 139 (1928)

= *Pimpinella titanophila* var. *tomiophylla* Woronow; Trudy Bot. Sada Akad. Nauk S.S.S.R. 43: 793 (1931)

= *Pimpinella tomiophylla* (Woronow) Stankov ex Schischk.; Bot. Mater. Gerb. Bot. Inst. Komarova Akad. Nauk S.S.S.R. 12: 209 (1950)

= *Pimpinella tragium* subsp. *balearica* (Knoche) Malag.; Las Subesp. y Variac. Geogr.: 13 (1973)

= *Pimpinella tragium* subsp. *balearica* (Knoche) Romo; Fl. Silvestres Baleares 192 (1994), isonym

= *Pimpinella tragium* subsp. *leriensis* (O.Bolòs) Malag.; Fl. Tarragona Pl. Vasc. 19 (1971)

= *Pimpinella tragium* var. *balearica* Knoche; Fl. Balear. 2: 239 (1922)

= *Pimpinella tragium* var. *depauperata* Boiss.; Fl. Orient. 2: 872 (1872)

= *Pimpinella tragium* var. *depressa* Webb; Iter Hisp. 43 (1838), nom. nud.

= *Pimpinella tragium* var. *leriensis* O.Bolòs; Mem. Real Acad. Ci. Barcelona 38(1): 20 (1967)

= *Pimpinella triradiata* Boiss.; Diagn. Pl. Orient. 10: 27 (1849)

subsp. *polyclada* (Boiss. & Heldr.) Tutin; Feddes Repert. 79: 62 (1968)

Yayılışı: **Türkiye; Hırvatistan; Karadağ; Sırbistan; Makedonya; Kosova, Arnavutluk; Bulgaristan; Yunanistan.**

Sinonim:

= *Johrenia thessala* Bornm.; Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 28: 37 (1930)

= *Pimpinella olenea* Boiss. & Heldr.; Boiss., Diagn. Pl. Orient., ser. 2, 2: 75 (1856)

= *Pimpinella polyclada* Boiss. & Heldr.; Boiss., Diagn. Pl. Orient., ser. 2, 2: 75 (1856)

= *Pimpinella polyclada* var. *hispida* Celak.; Sitzungsber. Königl. Böhm. Ges. Wiss., Math.-Naturwiss. Cl. 1887: 539 (1887)

= *Pimpinella sartorii* Heldr.; Boiss., Diagn. Pl. Orient., ser. 2, 2: 75 (1856)

= *Pimpinella tragium* var. *olenea* (Boiss. & Heldr.) Halácsy; Consp. Fl. Graec. 1: 682 (1901)

= *Pimpinella tragium* var. *parnassica* Halácsy; Consp. Fl. Graec. 1: 682 (1901)

= *Pimpinella tragium* var. *polyclada* (Boiss. & Heldr.) Boiss.; Fl. Orient. 2: 872 (1872)

subsp. *pseudotragium* (DC.) V.A.Matthews; Fl. Türkiye & E. Aegae-an Isl. 4. 361 (1972)

Yayılışı: Türkiye; Kuzey Kafkasya; Gürcistan[Kafkasya]; Ermenistan; Azerbeycan.

Sinonim:

= *Pimpinella confusa* Woronow; Acta Inst. Bot. Acad. Sci. URSS, Ser. I. Fasc. 1, 219 (1933)

= *Pimpinella daghestanica* Schischk.; Bot. Mater. Gerb. Bot. Inst. Komarova Akad. Nauk S.S.S.R. 12: 203 (1950)

= *Pimpinella idae* Takht.; Zаметki Sist. Geogr. Rast. 9: 24 (1940)

= *Pimpinella pseudotragium* DC.; Prod. 4: 122 (1830)

= *Pimpinella tragi* var. *pseudotragium* (DC.) Boiss.; Fl. Orient. 2: 872 (1872)

27-*Pimpinella tripartita* Kalen.; Bull. Soc. Nat. Moscou 18: 231 (1845)

Yayılışı: Türkiye (Kuzey Anadolu, Kuzey-Doğu Anadolu); Kuzey Kafkasya; Gürcistan [Kafkasya]; Ermenistan; Azerbeycan; İran (Kuzey-İran, İran'ın Azerbeycan sınırı); Pakistan.

Sinonim:

= *Albovia tripartita* (Kalen.) Schischk.; Kom., Fl. URSS 16: 450, 600 (1950)

= *Conopodium rotundifolium* Benth. & Hook.f.; Gen. Pl. 1: 896 (1867)

= *Pimpinella betonicifolia* Willd. ex Ledeb.; Fl. Ross. 2: 254 (1844)

= *Pimpinella betulifolia* Adams ex Ledeb.; Fl. Ross. 2: 254 (1844)

= *Pimpinella rotundifolia* M.Bieb.; Fl. Taur.-Caucas. 1: 242 (1808), nom. illeg.

= *Scaligeria rotundifolia* (M.Bieb.) Boiss.; Fl. Orient. 2: 876 (1872)

= *Scaligeria tripartita* (Kalen.) Tamamsch.; Grossh., Fl. Kavk. ed. 2, 7: 50 (1967)

= *Sison rotundifolium* Spreng.; Mag. Neuesten Entdeck. Gesammten Naturk. Ges. Naturf. Freunde Berlin 6: 260 (1812)

28-*Pimpinella tunceliana* Yild.; Ot Sist. Bot. Dergisi 17(2): 10 (2010)

Yayılışı: Türkiye

KAYNAKLAR

- Abebe, D. (1992). Systematic studies in the genus *Pimpinella* L: (Umbelliferae) from tropical Africa. Bot. J. Linn. Soc 110, 327–372.
- Akalin, E., Yesil, Y., & Akpulat, A., (2016). Fruit anatomy of the Turkish *Pimpinella* species. Flora, vol.223, 62-73.
- Çinbilgel, İ., Eren, Ö., Duman, H., Gökçeoğlu, M., 2015. *Pimpinella ibradiensis* (Apiaceae): an unusual new species from Turkey. Phytotaxa 217, 164–172.
- Davis PH (1972) Flora of Turkey and the East Aegean Islands, Vol. 4, Edinburgh University Press, London.
- Ertekin, A.S., Kaya, Ö.F. (2005). A new record species for the flora of Turkey, *Pimpinella nephrophylla* Rech. F. & H. Riedl. (Apiaceae). Ot sistematik Botanik Dergisi 12, 13–18.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babac, M.T. (eds.) (2012). Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler), Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul.
- Pu, F.T., Watson, M. (2005). *Pimpinella* Linnaeus. In: Wu, Z.-Y., Raven, P.H. (Eds.), Flora of China 14. Science Press & St. Louis, Beijing, Missouri Botanical Garden, pp. 93–104.
- Wolff, H. 1(927). Umbelliferae-Apioideae-Ammineae-Carinae, Ammineae Novemjugatae et Genuinae. In: Engler A (ed.) Das Pflanzenreich, Heft 90 (IV. 228). W. Engelmann, Berlin.



BÖLÜM 3

BESNİ İLÇESİNDE ÇEVRESEL (AÇIK VE KAPALI ORTAM) GAMA DOZ HIZLARININ ÖLÇÜLMESİ

Mehmet Fatih AYDIN¹

Ömer SÖĞÜT²

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

mfaydin@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

İnsanoğlunun doğal radyonüklitlerin neden olduğu iyonlaştırıcı radyasyonunun stokastik etkilerine ilişkin endişeleri gün geçtikçe artmaktadır. Doğal radyonüklitler yer kabuğunda dağılmış halde bulunurlar ve yer kabuğunun jeolojik formasyonundan güçlü şekilde etkilenirler. Çevresel radyasyonun etkileri; radondan kaynaklı iç radyasyon ile kozmik ışınlar ve dünyanın radyasyonundan kaynaklanan çevresel gama radyasyonu etkileri olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır (Ghiassi-nejad et al., 2002).

İnsanların doğal radyasyon kaynaklarına yıllık ortalama etkilenme doz derecesi 2.4 mSv olup, bunun yaklaşık 1 mSv'si radon ve bozunma ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, gıda ve su yoluyla çevresel etki miktarı yılda 0.06 mSv'ye düzeyindedir. Bu nedenle, radyasyonun etkilerinin bulunduğu ortamın değişkenliği önem arz etmektedir (López et al., 2004).

Doğal çevresel radyoaktivitelerindeki ana elementler uranyum, toryum ve potasyumdur. Doğal arka plan radyasyonu üzerine yapılan genel çalışmalar birkaç nedenden dolayı önemlidir. Atmosferin incelenmesi ve radonun atmosferik konsantrasyonlarındaki iç değişiklikler dünya çapındaki birçok laboratuvarında gözlemlenmiştir ve bu değişiklikler hava kütlelerinin kökenleri, atmosferik koşullar ve bitki arasındaki farka bağlıdır. Bu nedenle, doğal radyasyonun coğrafi ve jeolojik alana bağlı olduğu genel bir gerçektir. Birçok araştırma, doğal radyonüklit emisyonlarının toprağın mineral bileşimi ile ilişkili olduğunu kanıtlamıştır. Doğal radyoaktivite hakkındaki bilginin bir diğer avantajı da çevre kirliliğinin iyi bir göstergesi olmasıdır. Bu nedenle, doğal radyasyon ve radyoaktivitenin belirlenmesi çok önemli ve hassastır çünkü insan yapımı kirlilik ve doğal radyoaktivite farklıdır (Al-Jundi, 2002; Bahreini Toosi et al., 2017).

Konunun önemi dikkate alınarak gama doz hızları ve radyasyon türlerinin belirlenmesi ve canlıların sağlığına yönelik olası tehditlerin araştırılması amacıyla dünyada ve Türkiye'de araştırmalar yapılmaktadır. Tavşanlı (Kütahya) ilçe merkezinde açık ortamda yapılan gama doz hızı ölçümlerinde elde edilen sonuçlardan gama doz hızları hesaplanmıştır olup, ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri $106.64 \pm 6.20 \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak bulunmuşlardır (Kevser, 2018). Kulakçayırı doğal gölü (Arnavutköy/İstanbul) ve etrafında ortalama gama doz hızı değerinin ölçülmesinin amaçlandığı çalışmada, ölçüm sahasının gama doz hızı değerlerinin ortalamasını 37.5 nGy h^{-1} olarak hesaplanmıştır (Kam et al., 2016). Behramkale-Zeytinli (Çanakale) sahasında yapılan çalışmaya göre; ölçüm sahasının gama doz değerlerinin ortalaması 111.2 nGy h^{-1} olarak bulunmuş ve doz eşdeğeri ortalaması da 0.14 mSv olarak hesaplanmıştır (Yümün et al., 2020). Yapılan başka bir çalışmada ise, Hatay ve çevresinde gama doz hızı değerinin ortalaması $61,9 \text{ nGy h}^{-1}$ olarak hesaplanmış ve doz eşdeğeri ortalaması da $75.91 \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak

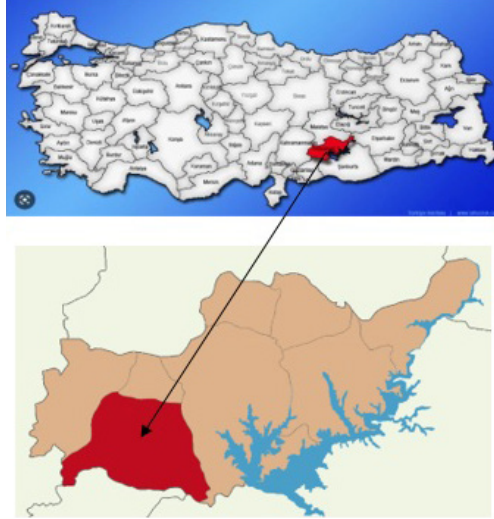
hesaplanmıştır (Karataşlı, 2018). Zuhur et al. (2017), Gaziantep iline ait verilerden elde edilen çalışmada ise, gama doz hızı ölçümlerinin ortalama değeri 50.43 nSv h^{-1} olarak hesaplanmış ve ölçüm bölgesinin yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalaması da $66.8 \text{ } \mu\text{Sv y}^{-1}$ olarak hesaplamışlardır (Zuhur S et al., 2017).

Bu çalışmada, Adıyaman ili Besni ilçesi ve çevresindeki kapalı ortam ve açık ortam çevresel gama radyasyon doz hızlarının ölçülmesi ve Besni ve çevresindeki insanların maruz kaldığı yıllık etkin doz eşdeğerlerinin hesaplanması amaçlanmaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Sahası

Çalışma sahası olan Adıyaman ili Besni ilçesi (Şekil 1), coğrafi konum olarak Adıyaman ilinin batısında yer almaktadır. Besni, 1.330 km^2 yüzölçümüne sahip olup il merkezine 44 km . uzaklıktadır. İlçe merkezinin rakımı 930 m .’dir (Besni Kaymakamlığı, 2023).



Şekil 1. Çalışma sahası haritası

Besni bölgesinin jeomorfolojik yapısına bakıldığında en eski jeolojik birim, Besni ilçesinin kuzeybatı ve batı kesimlerinde Akdere ile Besni çayı arasında Mesozoyik Üst Jura Alt Kretase’de oluşmuş; Burunçayır, Güneykaş ve Oyalı köyleri civarındaki Koçali Karmaşığıdır. Gri-yeşil, mavimsi, parlak serpantinitle genellikle masiftir ve akarsular tarafından aşındırılması ve bunun sonucunda derin vadilerden oluşan engebeli, bir yapının oluşmasına neden olmuştur. Koçali Karmaşığı adını, ilk olarak Adıyaman merkez ilçesinin kuzeyindeki Koçali Köyü yakınlarında bulunmasından dolayı almıştır. Koçali Karmaşığı, Anadolu Plakası ile Arap

Plakası arasında Triyas, okyanus ve bazen de bu ofiyolit üzerinde çökelmiş derin deniz çökellerinde oluşmaya başlayan Yeni Tetis okyanus ortası sırtlarının ofiyolitik kaya topluluklarından oluşan bir yapı olup, tektonik sürüklenme sırasında okyanus ortası sırtında oluşan karmaşık ve sık karbonat oluşumları karakterini kazanmıştır (Sungurlu, 1974).

Bu çalışmada Adıyaman ili Besni ilçesinde kapalı ortam (bina içi) ve açık ortamlarda (bina dışı) gama doz hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kapalı ortamlarda yapılan ölçüm noktalarının coğrafi koordinatları Tablo 1’de ve açık ortamlarda yapılan ölçüm noktalarının coğrafi koordinatları Tablo 2’de verilmiştir.

Kullanılan Materyaller

Bu çalışma kapsamında, yapılan gama doz hızı ölçümleri Atomtex AT1121 sayım dedektörü kullanıldı. Bu sistem baş kısmında ağır metal içeren plastik sintilasyon dedektörü olan taşınabilir sayım dedektörü kullanılmıştır. Gama doz hızı ölçümlerini gerçekleştirmek için kullanılan Atomtex AT1121, ölçüm sonuçlarını hem kaydetmede hem de sonrasında bağlanan bir yazıcıya kaydedilmiş olan verileri aktarabilen bir dedektördür. Şekil 2’de Atomtex AT1121 dedektörünün genel görünümü verilmiştir. Bu sayım dedektörünün rezülasyonu, ^{137}Cs atomunun 661 keV’de 15 keV-60 keV aralığındadır (Göksel A S, 1973).



Şekil 2. Atomtex AT1121 sintilasyon gama dedektörü

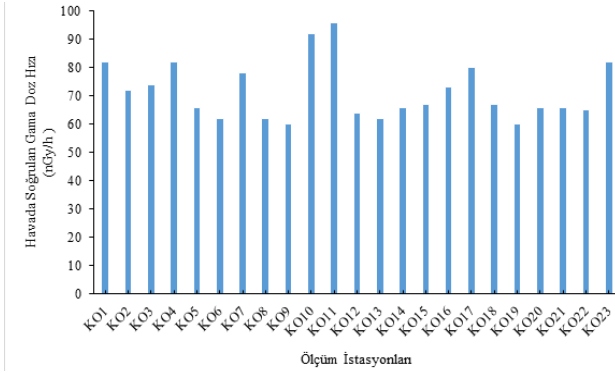
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Adıyaman ili Besni ilçe merkezi ve çevresinde yerden 1 metre yükseklikte kapalı ortamda belirlenen 23 noktada ve açık ortamlarda belirlenen 44 noktada gama doz hızı ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde ölçüm hatalarını azaltmak için daha önceden belirlenen ölçüm noktaların-

da 10 dakika beklenerek üç farklı okuma yapılmış olup ve bu yapılan üç farklı okuma sonucunda ortaya çıkan sonuçların ortalaması alınmış olup ve her ölçüm noktası için değerler (doz hızı) elde edilmiştir. Elde edilen doz hızları karasal radyonüklitlerden kaynaklı olmanın yanı sıra kozmik ışınlardan da kaynaklı radyasyonlardır. Sayım dedektörü ölçüm sonuçlarını $nGy h^{-1}$ cinsinden kaydeder. Kapalı ve açık ortamlarda yapılan ölçümler sonucunda elde edilen ortalama gama doz hızı değerleri Tablo 1 ve Tablo 2’de yer almaktadır. Bununla birlikte, gama doz hızı değerlerine ait grafiksel dağılımlar ise Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir.

Tablo 1. Kapalı ortamlarda gama doz hızı değerleri ($nGy h^{-1}$) ve ölçüm noktalarına ait coğrafi koordinatlar

Ölçüm istasyonu	İstasyon koordinatları (Coğrafi)		Kapalı ortam gama doz hızı ($nGy h^{-1}$)
	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	
KO1	37°41’17.70”	37°51’49.80”	82
KO2	37°41’24.10”	37°51’50.02”	72
KO3	37°41’41.80”	37°51’38.10”	74
KO4	37°41’48.14”	37°51’35.91”	82
KO5	37°41’32.09”	37°51’42.10”	66
KO6	37°41’41.67”	37°51’48.43”	62
KO7	37°41’30.00”	37°51’45.50”	78
KO8	37°41’35.71”	37°51’52.04”	62
KO9	37°41’20.20”	37°51’43.70”	60
KO10	37°40’44.30”	37°51’54.00”	92
KO11	37°41’11.00”	37°50’32.10”	96
KO12	37°41’80.08”	37°50’58.12”	64
KO13	37°41’29.18”	37°49’17.20”	62
KO14	37°39’52.30”	37°47’19.08”	66
KO15	37°41’20.05”	37°53’14.11”	67
KO16	37°40’40.10”	37°53’20.12”	73
KO17	37°40’38.20”	37°52’28.31”	80
KO18	37°41’40.21”	37°52’48.14”	67
KO19	37°41’10.19”	37°52’33.90”	60
KO20	37°41’24.16”	37°51’50.01”	66
KO21	37°42’09.90”	37°51’35.23”	66
KO22	37°45’10.20”	37°50’15.15”	65
KO23	37°44’30.02”	37°52’35.21”	82

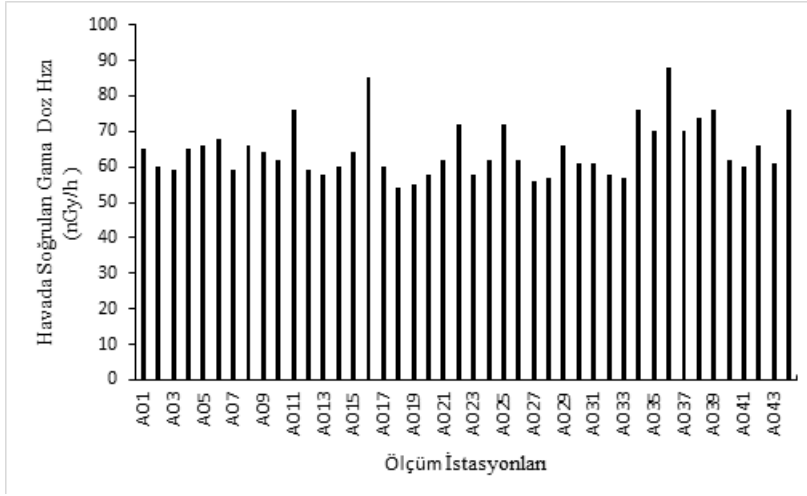


Şekil 3. Kapalı ortamlarda gama doz hızı değerlerinin grafiksel dağılımı

Tablo 2. Açık ortamlarda gama doz hızı değerleri ($nGy h^{-1}$) ve ölçüm noktalarına ait coğrafi koordinatlar

Ölçüm istasyonu	İstasyon koordinatları (Coğrafi)		Açık ortam gama doz hızı ($nGy h^{-1}$)
	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	
AO1	37°41'17.70"	37°51'49.80"	65
AO2	37°41'24.10"	37°51'50.02"	60
AO3	37°41'41.80"	37°51'38.10"	59
AO4	37°41'48.14"	37°51'35.91"	65
AO5	37°41'32.09"	37°51'42.10"	66
AO6	37°41'41.67"	37°51'48.43"	68
AO7	37°41'30.00"	37°51'45.50"	59
AO8	37°41'35.71"	37°51'52.04"	66
AO9	37°41'20.20"	37°51'43.70"	64
AO10	37°41'20.20"	37°51'41.10"	62
AO11	37°40'54.70"	37°51'37.90"	76
AO12	37°40'18.70"	37°51'55.75"	59
AO13	37°40'44.30"	37°51'54.11"	58
AO14	37°41'24.50"	37°50'59.19"	60
AO15	37°41'22.11"	37°50'33.71"	64
AO16	37°41'11.00"	37°50'32.10"	85

AO17	37°41'80.08"	37°50'58.12"	60
AO18	37°41'14.31"	37°51'24.11"	54
AO19	37°41'24.12"	37°50'20.05"	55
AO20	37°41'29.18"	37°49'17.20"	58
AO21	37°39'52.30"	37°47'19.08"	62
AO22	37°40'59.91"	37°45'26.14"	72
AO23	37°40'39.95"	37°48'40.02"	58
AO24	37°40'47.60"	37°50'04.20"	62
AO25	37°41'08.71"	37°52'08.05"	72
AO26	37°41'20.05"	37°53'14.11"	62
AO27	37°40'11.60"	37°54'42.16"	56
AO28	37°39'02.30"	37°55'06.30"	57
AO29	37°40'40.10"	37°53'20.12"	66
AO30	37°40'38.20"	37°52'28.31"	61
AO31	37°41'40.21"	37°52'48.14"	61
AO32	37°41'10.19"	37°52'33.90"	58
AO33	37°41'24.16"	37°51'50.01"	57
AO34	37°42'09.90"	37°51'35.23"	76
AO35	37°42'56.60"	37°52'02.51"	70
AO36	37°43'02.42"	37°49'05.42"	88
AO37	37°43'24.60"	37°50'31.20"	70
AO38	37°45'10.20"	37°50'15.15"	74
AO39	37°45'00.70"	37°48'00.80"	76
AO40	37°44'30.02"	37°52'35.21"	62
AO41	37°44'12.80"	37°54'51.90"	60
AO42	37°42'58.02"	37°57'05.50"	66
AO43	37°43'01.50"	37°58'32.21"	61
AO44	37°41'41.60"	38°01'04.60"	76



Şekil 4. Açık ortamlarda gama doz hızı değerlerinin grafiksel dağılımı

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen doz hızı değerleri ile denklem (1) yardımıyla yıllık etkin doz eşdeğer değerleri (YEDE) kapalı ve açık ortamlar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca denklem (2) kullanılarak Besni ilçesi ve çevresinde yaşayan insanların almış oldukları toplam yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Kapalı ve açık ortamlar için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğer değerleri Tablo 3 ve Tablo 4'te ve bu değerlere ait grafiksel dağılımı Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

$$YEDE (\mu\text{sv}\cdot\text{y}^{-1})=D \times OF \times DCF \times T \quad (1)$$

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

Burada D gama doz hızını (nGy h^{-1}), OF meşguliyet faktörü ifade eder ve kapalı ve açık ortamlar için sırasıyla 0.8 ve 0.2 değerini, DCF doz hızı dönüştürme faktörünü (0.7 Sv Gy^{-1}), T, bir yıllık süreyi (8760 saat) ifade eder (Aydın et al., 2022; Kayakökü, 2022; UNSCEAR, 1988).

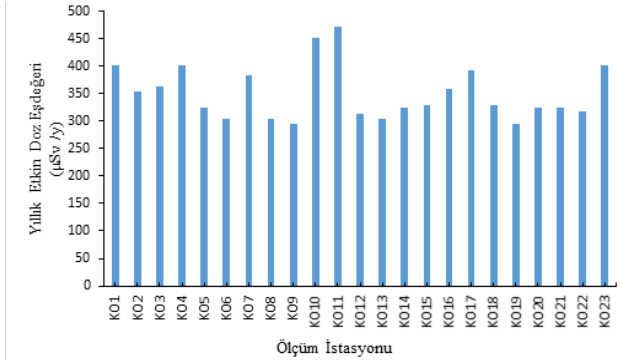
Ayrıca, bu çalışmada kapalı ve açık ortamlar için gama radyasyonunun insan sağlığına stokastik etkilerini ortaya koymak için, yaşam boyu kanser riski (YBKR) denklem (3)'te verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen YBKR değerleri Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

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

Bu eşitlikte, YEDE; yıllık etkin doz eşdeğerini, DL; yaşam süresini (70 yıl) ve RF Sv^{-1} 'de yaşam boyu kanser risk faktörünü gösterir. Bu çalışmada RF değeri ICRP (1990), radyasyonun stokastik etkileri için 0.05 olarak alınmasını önermektedir (ICRP, 1990; Küçükönder et al., 2023).

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

Ölçüm istasyonu	Yıllık etkin doz eşdeğeri ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)	Yaşam boyu kanser riski (%)
KO1	402.26	1.408
KO2	353.20	1.236
KO3	363.01	1.271
KO4	402.26	1.408
KO5	323.77	1.133
KO6	304.15	1.065
KO7	382.64	1.339
KO8	304.15	1.065
KO9	294.34	1.030
KO10	451.32	1.580
KO11	470.94	1.648
KO12	313.96	1.099
KO13	304.15	1.065
KO14	323.77	1.133
KO15	328.68	1.150
KO16	358.11	1.253
KO17	392.45	1.374
KO18	328.68	1.150
KO19	294.34	1.030
KO20	323.77	1.133
KO21	323.77	1.133
KO22	318.86	1.116
KO23	402.26	1.408
Ortalama Değer	350.64	1.227

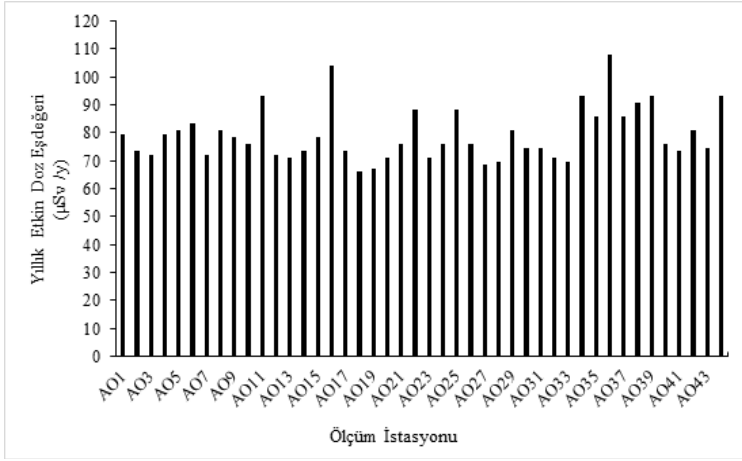


Şekil 5. Kapalı ortamlarda yıllık etkin doz eşdeğerlerinin grafiksel dağılımı

Tablo 4. Açık ortamlarda yıllık etkin doz eşdeğeri ($\mu\text{Sv y}^{-1}$) ve yaşam boyu kanser riski (%) değerleri

Ölçüm istasyonu	Yıllık etkin doz eşdeğeri ($\mu\text{Sv y}^{-1}$)	Yaşam boyu kanser riski (%)
AO1	79.72	0.279
AO2	73.58	0.258
AO3	72.36	0.253
AO4	79.72	0.279
AO5	80.94	0.283
AO6	83.40	0.292
AO7	72.36	0.253
AO8	80.94	0.283
AO9	78.49	0.275
AO10	76.04	0.266
AO11	93.21	0.326
AO12	72.36	0.253
AO13	71.13	0.249
AO14	73.58	0.258
AO15	78.49	0.275
AO16	104.24	0.365
AO17	73.58	0.258
AO18	66.23	0.232
AO19	67.45	0.236
AO20	71.13	0.249
AO21	76.04	0.266
AO22	88.30	0.309
AO23	71.13	0.249
AO24	76.04	0.266
AO25	88.30	0.309

AO26	76.04	0.266
AO27	68.68	0.240
AO28	69.90	0.245
AO29	80.94	0.283
AO30	74.81	0.262
AO31	74.81	0.262
AO32	71.13	0.249
AO33	69.90	0.245
AO34	93.21	0.326
AO35	85.85	0.300
AO36	107.92	0.378
AO37	85.85	0.300
AO38	90.75	0.318
AO39	93.21	0.326
AO40	76.04	0.266
AO41	73.58	0.258
AO42	80.94	0.283
AO43	74.81	0.262
AO44	93.21	0.326
Ortalama Değer	79.33	0.278



Şekil 6. Açık ortamlarda yıllık etkin doz eşdeğerlerinin grafiksel dağılımı

Tablo 1’de yer alan Besni ve çevresine ait gama doz hızı (kapalı ortam) değerlerine göre, ölçüm sahasından elde edilen en düşük değer 60 nGy h^{-1} , en yüksek değer 96 nGy h^{-1} ve ortalama değer de 71 nGy h^{-1} olarak hesaplanmıştır. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) kapalı ortamlarda ölçülen ortalama değeri 61 nGy

h^{-1} olarak açıklamıştır (UNSCEAR, 1993). Besni ve çevresinden elde edilen $71 \text{ nGy } h^{-1}$ ortalama değerini UNSCEAR ortalamasından daha yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir. Tablo 2’de yer alan Besni ve çevresine ait gama doz hızı (açık ortam) değerlerine göre, ölçüm sahasından elde edilen en düşük değer $54 \text{ nGy } h^{-1}$, en yüksek değer $88 \text{ nGy } h^{-1}$ ve ortalama değer de $65 \text{ nGy } h^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. UNSCEAR açık ortamlarda ölçülen ortalama değeri $48 \text{ nGy } h^{-1}$ olarak açıklamıştır (UNSCEAR, 1993). Besni ve çevresinden elde edilen $65 \text{ nGy } h^{-1}$ ortalama değerini UNSCEAR ortalamasından daha yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir. Tablo 3’te yer alan Besni ve çevresine ait yıllık etkin doz eşdeğerine (kapalı ortam) göre, ölçüm sahasından elde edilen en düşük değer $294.34 \text{ } \mu\text{Sv } y^{-1}$, en yüksek değer $470.94 \text{ } \mu\text{Sv } y^{-1}$ ve ortalama değer de $350.64 \text{ } \mu\text{Sv } y^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Tablo 4’te yer alan Besni ve çevresine ait yıllık etkin doz eşdeğerine (açık ortam) göre, ölçüm sahasından elde edilen en düşük değer $66.23 \text{ } \mu\text{Sv } y^{-1}$, en yüksek değer $107.92 \text{ } \mu\text{Sv } y^{-1}$ ve ortalama değer de $79.33 \text{ } \mu\text{Sv } y^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Ölçüm sahasının hem kapalı hem de açık ortamlar için ortalama toplam yıllık etkin doz eşdeğeri Denklem 2 ile hesaplanmış ve ortalama değer $429.97 \text{ } \mu\text{Sv } y^{-1}$ sonucu elde edilmiştir. UNSCEAR hem kapalı hem de açık ortamlar için ortalama toplam yıllık etkin doz eşdeğeri ortalamasının $410 \text{ } \mu\text{Sv } y^{-1}$ olarak belirlemiştir (UNSCEAR, 1988). Ölçüm sahasında elde edilen $429.97 \text{ } \mu\text{Sv } y^{-1}$ ortalama değerini UNSCEAR ortalamasından daha yüksek çıktığı sonucu elde edilmiştir. Ayrıca Denklem 3 kullanılarak Besni ilçesi ve çevresi için yaşam boyu kanser riski değerleri de (YBKR) hesaplanmıştır. Besni ve çevresinin kapalı ortam yaşam boyu kanser riski değerlerinin yer aldığı Tablo 3’e göre, en düşük değer 1.030, en yüksek değer 1.648 ve ilçe ve çevresinin yaşam boyu kanser riskinin (kapalı ortam) ortalaması da 1.227 olarak bulunmuştur. Besni ve çevresinin açık ortam yaşam boyu kanser riski değerlerinin yer aldığı Tablo 4’e göre, en düşük değer 0.232, en yüksek değer 0.378 ve ilçe ve çevresinin yaşam boyu kanser riskinin (açık ortam) ortalaması da 0.278 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, Besni ve çevresinin hem kapalı hem de açık ortam yaşam boyu kanser riski değeri ortalaması 1.505 olarak bulunmuştur.

SONUÇ

Doğal radyasyonun insan sağlığına tehlikelerini değerlendirmek için temel radyasyon seviyelerini belirlemek önemlidir. Bu nedenle yapılan çalışmada kapalı ve açık ortamlarda soğurulmuş gama doz hız seviyeleri ölçülmüştür. Ölçümler sonucu elde edilen gama doz hızı değerleri ile çalışma sahasında yaşayan yetişkinler için yıllık etkin doz eşdeğerleri ve doğal radyasyonun neden olduğu stokastik etkileri değerlendirmek amacıyla soğurulmuş gama doz hızlarından kaynaklanan aşırı yaşam boyu kanser riski değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) tarafında belirlenen dünya ortalaması değerleri ile karşılaştırılmıştır. Besni ilçesi ve çevresinde yaşayan insanların maruz kaldıkları soğurulmuş gama doz hızları ve almış oldukları yıllık etkin doz eşdeğerleri dünya ortalaması değerlerinin üstünde çıkmıştır. Dış ortam ve açık ortam gama doz hızlarından hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ve kanser risk değerlerinin yüksek olmasının iki nedene bağlı olduğu düşünölmektedir. Birinci neden, rakım nedeniyle kozmik radyasyonun artması ve bu bölgenin yerkabuğunda jeomorfolojik olarak yüksek aktiviteye sahip radyonöklit içeren kayalar olmasından kaynaklanabilir. Yıllık etkin doz eşdeğerlerinin dünya ortalamasının üzerinde olduğu bu bölge için hem karasal hem de kozmik radyasyon izlenmeli ve değişimler kayıt altına alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Al-Jundi, J. (2002). Population doses from terrestrial gamma exposure in areas near to old phosphate mine, Russaifa, Jordan. *Radiation Measurements*, 35(1), 23–28. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(01\)00261-X](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(01)00261-X)
- Aydın, M. F., Söğüt, Ö., & Kara, A. (2022). Radiological health risks assessment of vegetable and fruit samples taken from the provincial borders of Adiyaman in the south-eastern Anatolia region, in Turkey. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 15(4). <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2022.100491>
- Bahreini Toosi, M. T., Haghparast, M., Darvish, L., Taeb, S., Afkhami Ardekani, M., Dehghani, N., & Refahi, S. (2017). Assessment of Environmental Gamma Radiation (Outdoor and Indoor Spaces) in the Region of Bandar Abbas Gachine. *Journal of Biomedical Physics and Engineering*. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.552>
- Besni Kaymakamlığı. (2023, December 7). <http://www.besni.gov.tr/ilcemiz>.
- Ghiassi-nejad, M., Mortazavi, S. M. J., Cameron, J. R., Niroomand-rad, A., & Karam, P. A. (2002). Very high background radiation areas of Ramsar, İran. *Health Physics*, 82(1), 87–93. <https://doi.org/10.1097/00004032-200201000-00011>
- Göksel A S. (1973). *Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması* (1st ed.). İTÜ Matbaası.
- ICRP. (1990). *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3)*. <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/icrp-publication-65/book243737>
- Kam, E., Yümün, Z. Ü., Önce, M., & Acikgoz, G. (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. <https://doi.org/10.30931/jetas.281380>
- Karataşlı, M. (2018). Measurement of Environmental Gamma Radiation in and Around The Hatay Province, Turkey. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 18(3), 780–785. <https://doi.org/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), 634–644. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1091391>
- Kevser, Deniz. (2018). *Tavşanlı ilçesinde açık havadaki gama doz hızı ölçümleri* [Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Küçükönder, E., Gümbür, S., Söğüt, Ö., & Doğru, M. (2023). Natural radioactivity

in soil samples taken from Kahramanmaraş provincial center. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(7), 5245–5259. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01577-w>

López, R., García-Talavera, M., Pardo, R., Deban, L., & Nalda, J. C. (2004). Natural radiation doses to the population in a granitic region in Spain. *Radiation Protection Dosimetry*, 111(1), 83–88. <https://doi.org/10.1093/rpd/nch365>

Sungurlu, O. . (1974). *Bölge kuzey sahalarının jeolojisi*.

UNSCEAR. (1988). *Sources, effects and risks of ionizing radiation : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 report to the General Assembly, with annexes*. United Nations. [//www.unscear.org/unscear/en/publications/1988.html](http://www.unscear.org/unscear/en/publications/1988.html)

UNSCEAR. (1993). *Sources and effects of ionizing radiation : United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 1993 report to the General Assembly, with scientific annexes*. 922. [//www.unscear.org/unscear/en/publications/1993.html](http://www.unscear.org/unscear/en/publications/1993.html)

Yümün, Z. Ü., Kam, E., & Önce, M. (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), 207–214. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.565054>

Zuhur S, Çeliktürk D, Yazıcı A N, & Öztürk Z. (2017). Assessment of Gama Dose Rates around Gaziantep City, Turkey. *Journal of Nuclear Sciences*, 4(1), 19–25.



BÖLÜM 4

BİTKİ STRES FAKTÖRLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

Murat ARDIÇ

1. Giriş

Tüm canlılarda olduğu gibi; bitkilerde, yaşam ortamlarında meydana gelen çevresel değişimlere karşı çeşitli içsel ve mekanik tepkiler gösterirler. Stres kavramına baktığımızda 1973 yılında stres kavramının yaratıcılarından Selye, stres ile ilgili olarak “herkes stresin ne olduğunu biliyor, kimse ne olduğunu bilmiyor” demiştir (Selye 1973). Sonraki yıllarda araştırmacılar tarafından çeşitli tanımlar yapılsa da; Larcher’ın 1980’de yaptığı “türlerin olağanüstü koşullar altında gösterdikleri fizyolojik cevaplar” tanımı, nispeten daha uygun bir tanım olarak kendine yer bulmuştur. Buchanan ve arkadaşları (2000) stresleri “büyüme, gelişme veya üretkenliği olumsuz etkileyen dış koşullar” olarak tanımlamaktadır. Smith ve arkadaşları (2010) ‘bitki büyümesi için optimal olandan daha az oluşan koşulları ‘stresli ortamlar’ olarak ifade ederken, Taiz ve Zeiger (2010) stresi “dış abiyotik faktör yada faktörler veya biyotik faktör yada faktörler tarafından bir bitki üzerinde uygulanan dezavantajlı etki olarak” tanımlamaktadır. Tanımlara genel olarak bakıldığında, bitkilerdeki stresin; bitkilerin yaşadığı ortamda bir veya birden fazla etkenin, bitki büyüme ve gelişiminde bir dizi gerilemeye neden olabileceği, bozukluklar yarattığı, verim düşüklüğü ve kayıplara neden olabilecek olaylar silsilesi olduğu görülmektedir.

Dünya çapında bakıldığında bitkiler hiçbir zaman çevresel stresten muaf değildir. İklim değişikliği ile küresel olarak kuraklık, sıcaklık stresi olaylarının sıklığını ve yoğunluğunu artması, bunların öngörülemezliğinin giderek belirsizleşmesi sadece tarımsal açıdan değil var olan doğal bitki gruplarının yaşayışlarını da sürekli olarak etkisi altına bırakmaktadır.

Stres kavramında stres yaratan olgunun her bitki de aynı şekilde stres oluşturacağı algısı yaratmak doğru bir yaklaşım değildir. Strese karşı her bitkinin veya bitki grubunun vereceği cevap değişiklik gösterebilmektedir. Stres kavramı strese tolerans ile yakından ilişkilendirilmekte olup bitkinin uygunsuz ortam koşulları ile başa çıkma potansiyelidir. Stres toleransı daha fazla tercih edilmekle birlikte, literatürlerde bu terimin yerine sıklıkla strese direnç terimi kullanılmaktadır. Bitkilerde strese neden olan dış etmenlere “dış kısıtlama”, “stres faktörü” veya “stressör” tanımlamaları yapılmakla beraber, bitkilerin strese maruz kalmanın sonucunda bitkilerin verdikleri cevaplara ise “stres durumu”, “stres yanıtı” veya basitçe “stres” tanımı kullanılmaktadır. Lichtenthaler (1988) yaptığı eustress ve distress tanımlarına bakıldığında eustres; yeni çevresel koşullar altında yeni optimize bir duruma yol açan metabolik olayların ayarlamalarını yönlendirirken, distress ise yıkıcı etkilerin varlığını işaret etmektedir. Sonuçta bir bitkinin gelişip gelişmeyeceği eustres ve distress dengesine bağlı olmaktadır (Gaspar et al., 2002).

2. Bitkilerde Stres Çeşitleri

Bitkilerde doğal yaşamda var olan tür çeşitliliği kadar, günümüz dünyasında artan nüfusa bağlı olarak ihtiyaç duyulan tarım ve tarım ürünlerindeki küresel ısınma ile gözlenen stres faktörlerinin etkileri hızla artmaktadır. Dünya genelinde yıllık % 65 ila % 90 gibi ürün kayıplarının yaşandığı sorunların çözümünde; bitki stres faktörlerini anlamak ve uygulamada stres faktörlerine karşı çözümler getirmek gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Günümüzde genel olarak; bitkilerin maruz kaldıkları stresleri; abiyotik ve biyotik stres faktörleri olarak sınıflandırabilmekteyiz.

Bitkilerin doğası gereği zorlu bir çevrede yaşıyor olmaları sebebi ile; düşük veya yüksek sıcaklık, eksik veya aşırı su, yüksek tuzluluk, ağır metaller ve ultraviyole (UV) radyasyon gibi çok çeşitli fiziksel veya kimyasal faktörler etkisi altında kalmaktadırlar. Abiyotik stresler olarak adlandırılan yani canlı organizmaları dışında bitkileri etkileyen bu stresler, tarım ve ekosistem için ciddi bir tehdit oluşturmakta ve ciddi bitki gelişim sorunlarına neden olmakta sonuçta da verim kaybına sebep olmaktadır (Wang ve diğerleri, 2003; Wania ve diğerleri, 2016). Biyotik stresler ise; bir canlı organizmanın bitki üzerinde yarattığı stres olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyotik stres; bakteri, mantar, virüs, nematod, böcek ve diğerleri gibi çeşitli bitki patojenlerini içerir. Patojen enfeksiyonu sıklıkla bitkinin fizyolojisinde değişikliklere, biyokütle kaybına, erken çiçeklenmeye, tohum azalmasına, koruyucu metabolitlerin birikmesine ve diğer birçok değişikliğe neden olur (Madani ve diğerleri, 2019).

2.1. Abiyotik Stres

2.1.1. Mekanik Stress

2.1.1.1. Su Stresi

Tüm canlılarda olduğu gibi yaşamın merkezi molekülü olan su, bitkilerin tüm fizyolojik süreçlerinde; metabolitlerin ve besin maddelerinin taşınmasında ana ortam olarak yer alır. Su sahip olduğu polar yapısı, yüksek çekim özelliği, fotosentezde hidrofobik bağ yoluyla makromoleküllerle etkileşimine kadar birçok olaylar zincirinde vazgeçilmez bir rol oynar (Ahuja ve diğerleri, 2010).

Bitkilerin varlıklarını sürdürebilmesi için var olan suyu belirli bir süre içersin de dengeli olarak yerine alması gerekmektedir ancak çevreden alınan su miktarına göre fazla veya az olması durumuna bağlı olarak ortaya çıkan stres durumu; bitkide su stresinin oluşmasına neden olacaktır. Su stresi ile bitkide özellikle enzimsel aktiviteleri ve yoğunluğundaki değişim, dokularda hassasiyete ardından su dengesinin bozulması neden olur. Bitkide normal dengenin değişmesi; bitkilerde büyüme ve üretkenliği olumsuz

yönde etkileyen bir dizi morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişikliklere yol açar, devamında bu değişimler bitkinin varlığının zarar görmesine neden olabilmektedir (Bhattacharjee, & Saha. 2014).

Oluşan su stresini etkileyen çeşitli faktörler vardır; bunlar arasında toprak türü, bitki türleri, bitkinin büyüme aşaması, sıcaklık, gün uzunluğu ve stresin süresi yer alır. Farklı fizyolojik, çevresel koşullar ve doğal afetler sırasında oluşan durum dengesizlikleri nedeniyle bitkiler ya su eksikliğine (örneğin kuraklık) ya da fazla suya (örneğin su baskını) maruz kalabilmektedirler (Skirycz, ve diğerleri, 2010).

Kuraklık stresi, ortamda oluşan değişimlere bağlı olarak toprakta var olan suyun yeteri kadar bulunmaması sonucunda kaybedilen suyun alınabilen su kapasitesinden fazla olduğu yani ortamda bulunan suyun kullanılan sudan az olduğu durumlarda yaşanabilmektedir (Osakabe ve diğerleri, 2014). Bu durum bitki yaşam ortamında yağış miktarının az gerçekleştiği yerlerde ve kurak mevsimlerde etkin şekilde yaşanmaktadır (Zeiger, 2002). Kuraklık stresi; bitkilerde hücre büyümesinde duraksamaya, çeper sentezinde aksamalara, protein sentezinin aksamasına, absisik asit birikimine, stomaların kapalı konuma geçmesine, CO₂ fiksasyonuna, kavitasyona, prolin birikimine, şeker birikimine, klorofil sentezinde aksamalara (Chaves ve diğerleri, 2009), nitrat redüktaz enzimi yoğunluğunda azalış görülmesi durumu gibi birçok soruna yol açabilmektedir (Haider et al. 2020). Kuraklığa karşı bitkiler, reaktif oksijen türlerinin sentezi, etilen ve absisik asit gibi stres hormonlarının üretimi, kök ve sürgün morfolojisindeki değişiklikler gibi farklı stresle başa çıkma mekanizmalarını kullanırlar. Yaşanılan stres uzun süreli var olduğu durumlarda bitkilerdeki stresin etkisi dönüşümsüz hal alabilmektedir (Chiapperoetal ve diğerleri, 2019).

Fazla Su Stresi; kuraklık stresinin aksine ortamda bitkiye gereken miktardan fazla su bulunması durumunda gerçekleşir. Fazla suyla oluşan stresin öncelikli nedeni oluşan koşullar altında oksijen (O₂) azlığıdır. Bitki kökleri tarafından yeterli miktarda oksijen alınamaması sonrasında besin bulunabilirliğinde ve mikrobiyal aktivitede değişikliklere, bitki solunumunun ve enerji üretiminin azalmasına, köklerde ve toprakta bitkiler için toksik hale gelebilecek alkol ve etilen birikimi bileşiklerinin birikmesine neden olur (Flexas ve diğerleri, 2006). Fotosentez aktivitesi azalmasıyla bitki bütününde işlevsel özelliklerin yavaş yavaş aksadığının görülmeye başlanmasıyla büyüme olumsuz şekilde etkilenir, ürün kaybı yaşanmaya başlar, ilerleyen durumlarda bitkinin kaybına yol açan reaksiyonlar zincirleme şekilde gerçekleşir (Ha ve diğerleri, 2012).

Fazla su ile kaplı yerlerde yetişen bitkiler, oksijensizliğe dayanıklılık sürelerine göre değerlendirildiğinde sulak alan bitkileri, su taşkınına dayanıklı bitkiler, su taşkınına duyarlı bitkiler olarak sınıflandırılır. S u l a k

alan bitkileri, kök hipodermisi denilen ve oksijenin çevredeki anaerobik alana geçmesini azaltmak için oluşturulan yapının kalınlaşması sayesinde su ile doymuş veya su ile kaplı topraklarda yetişen bitki gruplarını oluştururlar. Su taşkınına dayanıklı bitkiler grupları ise çok uzun süreler olmak koşulu ile bir süre havasızlığa dayanabilirler. Bunu da aynı sulak alan bitkileri gibi, ATP sentezini bir süreliğine anaerobik yollar ile arttırarak yapabilmektedirler. Oksijensizlikten olumsuz şekilde etkilenen su taşkınına duyarlı bitkilerde ise; hücrelerin asitlik kazanması nedeniyle ortamda oluşan oksijen miktarındaki noksanlığa bağlı olarak protein sentezleri önemli ölçüde azalır. Mitokondriler büyük zarar görürler. Oluşan hasarların etkisiyle bitkilerin sonu gelmektedir (Osakabe ve diğerleri, 2013).

2.1.1.2. Sıcaklık

Bitki büyüme ve gelişme hızı, bitkiyi çevreleyen sıcaklığa bağlıdır. Doğal habitatta var olan bitkilerin, tarımı yapılan bitkilerin sıcaklık istekleri türlerine bağlı olarak farklılık gösterse de; her türün en iyi geliştiği ve verim verdiği sıcaklık aralığının bitkilerin gelişimleri sırasında ortamda olması gerekmektedir. Her türün minimum, maksimum ve optimum ile temsil edilen belirli bir sıcaklık aralığı vardır (Hatfield ve diğerleri, 2011). İklim değişikliğiyle birlikte önümüzdeki 30–50 yıl boyunca sıcaklıkta beklenen değişikliklerin 2–3 °C aralığında olacağı tahmin edilmektedir. Aşırı sıcak hava dalgalarının etkinliği, son yıllarda önceki yıllara göre gözlemlenenlerden daha yoğun, daha sık ve daha uzun süreli olacağı öngörülmektedir. Son yıllarda özellikle yaz döneminde normal sıcaklıkların 5°C'nin üzerinde birkaç gün etkili sıcaklık artışları ve sıklıkları bitkilerin ürün verimliliğinde ciddi kayıplara sahip olmaya başlamıştır (Meehl ve diğerleri, 2007).

Sıcaklık stresinin görülebilir etkisi öncelikle kök üstü organlarda özellikle yeni sürgün ve yapraklarda başlar. Bitkide klorofil miktarını etkilenmesiyle, fotosentetik miktar değişimleri de olumsuz yönde etkilenmektedir. Ortamda maruz kalınan sıcaklığın bitkinin sahip olduğu moleküller yapısı ile doğrudan ilişkisi olduğundan, bitki gelişiminde büyük önem arz etmektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda moleküller arası bağlar, yüksek sıcaklıklarda zayıflar, zarlar daha akışkan hale gelir sonuçta moleküllerin hareketleri hızlanmaktadır. Bitkinin kök sistemi de sıcaklık değişimine bağlı olarak etkilenmektedir. Maruz kalınan düşük sıcaklıkta; biyokimyasal işlevlerin gerçekleşmesi için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır, buda bitkide biyolojik zararların artmasına neden olabilmektedir (Gusta, ve Chen, 1987).

Sıcaklık bitkilerde bulunduğu konumuna bağlı olarak değişmektedir. Coğrafik konumdaki değişimlerden dolayı bölgelerin sıcaklıkları farklılık göstermekte, bölgelere göre bitki dağılımları topografik yüzeyler sayesinde

de şekillenmektedir. Bu sıcaklık değişimleri; deniz seviyesinden yüksekliğe, mevsimlere, gece gündüz farklılıklarına, mikro ve mikro iklimik özelliklere göre ortamda var olan bitkilerin yoğunluklarını ve gelişimlerini değiştirmektedir. Bitkilerin çoğunluğu 15 ile 45 °C derece arasında hayatlarını sürdürebilmektedir. Bu sıcaklık değerlerinin altında veya üstündeki bölgelerde genellikle bitki büyümesi, metabolizması, ürün verimi ve kalitesinde gözle görülür değişimler görülmektedir. Sıcaklık stresi genel olarak; yüksek sıcaklık, düşük sıcaklık, donma durumu ve bunların şiddetini, oluşumu etkileyen rüzgar şeklinde abiyotik etkiler şeklinde bitki yaşam süreçlerinde görülebilmektedirler (Levitt, 1980).

Düşük sıcaklık stresi, bitkilerde, hücre bölünmesini, fotosentezi ve su taşınımını etkileyen, bitki büyümesi üzerinde olumsuz etki yapan ve sonuçta mahsul verimliliğini kısıtlayan abiyotik streslerden biridir. Düşük sıcaklık stresi, ortamda yaşanan düşük sıcaklığın (0–15°C) bitki dokularında buz kristali oluşumu olmadan hasara neden olduğu üşüme stresi ve bitki dokularında buz oluşumunun meydana geldiği donma stresi (<0°C) olarak kategorize edilir. Bitki dokularındaki oluşan her iki strese de düşük sıcaklık veya soğuk stres adı verilir (Singh ve diğerleri, 2017). Genel olarak tropik ve subtropikal bölgelerden gelişen bitkiler düşük sıcaklık stresine duyarlıyken, ılıman bölgelerdeki bitkiler değişken derecelerde soğumaya tolerans gösterebilmektedirler (Sanghera ve diğerleri, 2011).

Düşük sıcaklıklar bitkilerde çimlenmeden tohum oluşumuna kadar hemen hemen her evrede kendini göstermektedir. Düşük sıcaklık stresinde, sıcaklığın şiddeti kadar süreside önem arz etmektedir. Bitkilerde düşük sıcaklık stresi aynı zamanda su stresi ile de ilişkilidir. Soğuk havalarda suyun yapısındaki değişimler, bitkilerde su stresi etkisini meydana getirir. Özellikle kış aylarında herdem yeşil bitkilerde kök yeteri kadar suyu alamamaktadır bu durumda azalan ortam sıcaklığına bağlı olarak su stresi de artar. Toprakta yeterli su ve suda çözülmüş besin maddesi bulunmasına rağmen soğuğa duyarlı bitkilerin gelişimdeki aksaklık yapraklarda solma oluşmasıyla kendini gösterir (Gray ve diğerleri, 1997). Düşük sıcaklıklarda kök hücrelerinin mebranlarında geçirgenliğin azalması, suyun viskozitesinin artması, bitkilerin gözeneklerinin açık kalması veya çok az kapanması nedeniyle soğuk stresi oluşmaktadır. Soğuğa duyarlı bitkilerde metabolik ve fizyolojik faaliyetlerin aksaması enzimatik aktiviteyi önemli ölçüde azaltmaktadır. Soğuk ilk önce bitkide membran yapısını etkiler, protoplazmanın akışkanlığını azaltır aynı zamanda fotosentez üzerine olumsuz etki gösterir. Tohumlarda çimlenme, bitkide meyvenin oluşumunu geciktirir ve ürün veriminde düşüslere neden olur (Mahajan, ve Tuteja, 2005).

Bitkilerin düşük sıcaklık stresine karşı göstereceği tolerans genetik faktörlerle belirlenir ve ortamın iklim özelliklerine bağlıdır. Bitkiler, düşük sıcaklık stresine maruz kalmanın yarattığı stresin üstesinden gelmek için,

gen ekspresyonundaki değişiklikler ile ROS temizleme sisteminin aktivasyonu yoluyla toleranslarını artırarak; biyokimyasal ve fizyolojik modifikasyonları tetikleyen bir dizi olayın gerçekleşmesine neden olan süreçlerle korunmaya çalışırlar (Hasanuzzaman ve diğerleri, 2013).

Bitkilerde don etkisi; sıcaklığın sıfır derecenin altına inmesiyle soğuma ve donma zararları şeklinde meydana gelir. Donma riski çoğu zaman buzun oluşma koşullarına bağlıdır. Don önemli bir olaydır çünkü buz kristalleri oluştuğunda veya sıcaklık sıfır derecenin altına düştüğünde bitkinin dokuları zarar görür. Ortam sıcaklığı sıfır derecenin altına düştüğünde çekerdeğin etrafında kristaller oluşur, dokularda da genellikle donmadan kaynaklı hücrelerde büzülme etkisi gerçekleşebilir (Black, 1993). Hücre içi buz oluştuğunda, ekzotermik buz, hücre dışı buz oluşumundan daha düşük bir sıcaklıkta meydana gelir. Bitki hücresinin dışında bulunan buz, hücre duvarlarına baskı uygular ve ozmotik bozukluklara neden olur. Bu buzun artan hacmi bitki dokularında donma çatlaklarına neden olur. Özellikle çok yıllık bitkilerde iletimde durgunluk baş gösterir. Donmaya dayanıklı bitkiler; protoplastlarında kristallerin erimesi sonucunda suyun absorbe etme yeteneğini tekrar kullanabilirler. Dona dayanıklı olmayan bitkilerde su hücreler arası boşluklarda kalma eğiliminde olması nedeniyle buz kristalleri protoplast içerisinde oluşur ve bitki dokularında direkt mekanik zararın oluşmasına neden olurlar (Wassan ve diğerleri, 2021).

Don stresine karşı bitkiler sahip oldukları gen ekspresyonundaki değişimler sayesinde, membran stabilizasyonunu şekerler, ozmolitler ve antifriz proteinlerin birikimi yaparak atlatabilmektedirler (Ambroise ve diğerleri, 2019). Hava hareketleri ile oluşan çiğ, kırağı, buzlanma, kar yağışı gibi olaylar bitkilerde don etkisine benzer etkilerin oluşumuna neden olabilmektedirler.

Yüksek sıcaklık tıpkı düşük sıcaklık gibi bitkilerde strese neden olmakta olup, stresin şiddetine ve süresine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yüksek sıcaklıklar bitkilerdeki morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler süreçleri önemli ölçüde etkiler. Bitki türüne ve stres yoğunluğuna bağlı olarak çimlenmeyi yavaşlatabilir veya engelleyebilir. Yüksek ısı stresi bitkilerde fotosentetik pigmentleri, ışık algısını, karbon metabolizmasını ve organik çözünenlerin taşınmasını bozarak, birincil ve ikincil metabolitlerin düzeylerini de etkilemektedirler. Bitkinin üreme aşamasında, ısı stresi sıklıkla bitkinin mineral beslenmesinde dengesizliğe, antioksidan enzimlerin deaktivasyonuna ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumuna yol açarak oksidatif strese yol açar. Yüksek ısı şoku ve diğer stresle ilişkili proteinlerin artan ekspresyonu ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) artan üretimi, ısı stresine karşı temel bitki tepkilerini oluşturmaktadırlar (Ali ve diğerleri, 2020).

Yüksek sıcaklıklar tilakoidlerin yapısal organizasyonunu değiştirerek fotosentezi azaltır solunumun artmasına neden olur (Karamanos ve Papatheohari, 1999). Genel olarak yüksek sıcaklığın bitkilerdeki anatomik etkileri yalnızca doku ve hücresel düzeyde değildir. Yaprakta ve gövdede nekroz, klorozlara sebep olur, yaprak uçlarında yanığa bağlı lekeler oluşmaya başlar. Ortamdaki yüksek sıcaklıklara bağlı olarak proteinler denatüre olur ve enzim aktivitelerinin bozulmasına yol açar. Hücre ve membran yapısında bozulmalara ve fonksiyonlarını yapamaz duruma gelmelerine sebep olur. Tüm bu değişikliklerin yarattığı etkiler, zayıf bitki büyümesi ve üretkenliğiyle sonuçlanabilir (Wahid ve diğerleri, 2007).

Bitkiler, stresin hızlı ve etkili bir şekilde algılanmasını sağlayan çeşitli moleküler ağlar aracılığıyla hücresel metabolizmayı, moleküler aktiviteleri, büyümeyi ve gelişmeyi sürdürmeyi amaçlayan bir dizi stratejiyle değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilirler. Yüksek sıcaklıklarda denatürasyon nedeniyle protein sentezi önemli ölçüde azalırken, bitkide bulunan sıcaklık şoku proteinlerinde artış gözlemlenir. Sıcaklık şoku proteinleri sitoplazma, mitokondri ve kloroplastlarda oluşur. Bu protein grubu sayesinde bitkiler strese karşı bir miktar dayanıklılık kazanırlar (Khan ve diğerleri, 2021).

Yatay yönde yer değiştiren hava kütlesi hareketi rüzgar olarak adlandırılır. Hava sıcaklığı artarsa, hava kütlesi genişler, yükselir ve alçak basınç alanı oluşturur. Yüksek basınç bölgesinde sıkışan havanın alçak basınç bölgesine doğru yönelmesi sonucunda rüzgar meydana gelir. (Karaoğlu, 2018). Rüzgarın hızına bağlı olarak 7-8 km/s olduğunda bitkilerde herhangi bir mekanik etki oluşturmazken, 50-60 km/s ulaştığı zaman, ince dallar kırılır, tahıllar bitkileri yatar, yapraklar ve çiçekler dökülmeye başlamaktadır, 110-150 km/s rüzgar hızında ağaçlar devrilmeye başlar, tüm bitkilerde büyük mekanik zararlar meydana gelmektedir.

Rüzgar, toprağın hemen üst katında toprak suyunun ortamdaki uzaklaşmasına ve bitkilerin etrafında var olan nispi nemi yüksek havayı götürmesi ve yerine nisbi nemi düşük kuru havayı bırakmasıdır (Grace 1988). Toprakta yeteri kadar su bulunsa bile sıcak rüzgarlarla karşılaşan bitkiler stomalarını kapatarak fotosentez hızlarını azaltmaktadırlar. Rüzgarın sıcak ve sürekli esmesi halinde bitkiler kaybettikleri fazla suyu topraktan sağlamadıkları için kısa sürede su eksikliği durumuyla karşı karşıya kalırlar. Yoğun rüzgar alan bölgelerde yetişen bitkiler kısa ve ince yapıda olurlar. Uygun rüzgar, bitkilerin tozlaşmalarını, oluşan tohumların dağılımını etkilediği gibi kurak ve yarı kurak bölgelerde nemli ve serin rüzgarlar sayesinde, ortamın ısısı düşürür ve bitkinin serinlemesine yardımcı olur. Bu durumda bitkiler terlemeyi azaltarak daha az su kullanır ve daha iyi gelişirler (Van Gardingen ve Grace 1991).

2.1.1.3. Işık Stresi

Dünyaya güneşten gelen ışınımın yeryüzünde ölçülebilen spektral dağılımı yaklaşık olarak 300-1000 nm arasındaki dalga boyu bandı genişliğindedir. Yeryüzüne ulaşan ışınımın yalnızca %50'sinin fotosentetik etkili ışınım olarak ulaşır ve bu ışık bitkiler tarafından kullanılabilir. Her bitkiye güneşten gelen ışık eşit olarak ulaşamayabilir. Bitkilerin konumu, diğer hava etmenleri, aynı ortamda bulunan uzun boylu bitkiler tarafından ışığın alınımının engellenmesi, yaprakların üst üste gelmesi, bitki yoğunluğu, boylanma farklılıkları ve yaprakların şekli v.b. yararlanan ışığın kalite ve miktarını değiştirmektedir. Güneşin bitkilere yaşattığı ışık stresi sadece ışık fazlalığından değil yetersizliğinden de kaynaklanabilmektedir (Briggs ve Huala1999).

Bitkilere ulaşan ışığın asıl işlevi, ışınım enerjisinin, CO₂, fotokimyasal ve biyokimyasal işlemlerle karbonhidratlara dönüştürdüğü bir enerji transferi işlemi olan fotosentez olayıdır. Fotosentez sürecinde ışık enerjisi, bitkideki klorofil tarafından emilirken enerji düzeyi, emilen ışık miktarıyla yükselir. Çevre koşulları ve bitki türlerine bağlı olarak oluşan ışınım şiddetinin artışı fotosentez hızını da artırır. Klorofil esas olarak mavi ve kırmızı ışığı emdiğinden, fotosentez hızı ışınım spektrumunun mavi ve kırmızı bölgesinde en yüksek değerdedir. Bunun yanında klorofil yeşil ışığın önemli bir bölümünü geçirir, yansır (Öztürk, 2008).

Bitkilerin normal yaşantılarını tamamlayabilmeleri için belli bir gün uzunluğuna yani ışık süresine ihtiyaçları duymaktadırlar. Gece ve gündüz uzunluğu, mevsimsel değişim, güneşe olan bakışı bitkilerin büyümesini ve çiçeklenmesini doğrudan etkilemektedir. Bitkilerin özellikle çimlenmesinden ve yeni dokuların oluşumuna, olgunlaşım çiçek açmasına, meyve vermesine kadar bitkinin çeşitli gelişim evrelerinde ışıktan faydalanma ve karanlık dönem süreleri yani fotoperiyot bitki gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır (Sawa ve diğerleri, 2008). Bitkilerin gün uzunluğuna bağlı olarak gelişim gösterdiği süreler yani fotoperiyodizm bitkinin vejetatif dönemden generatif aşamaya geçmesinde etkilidir. Genel olarak bitkilerin ışık almalarına göre; kısa gün bitkilerinde: günde 13–14 saatten az fotoperiyotta çiçeklenme olurken, daha uzun ışık sürelerinde vejetatif büyüme görülmektedir. Uzun gün bitkilerinde ise gün içerisinde 13–14 saatten fazla ışık almaya başlayınca çiçek açar; daha kısa sürelerde ise vejetatif olarak gelişirler. Bunun yanında nötr bitkiler, fotoperiyot süresine bağlı olmaksızın çiçek açan bitkilerdir (Hamner,1944).

Bitkilerde gölge koşullarında, ışığın yetersiz olması durumdan kaynaklı klorofil miktarlarında azalma meydana gelmekte, oluşan stres nedeni ile fotosentez aksamakta ve karbonhidrat üretimi azalmaktadır. Bitkide aynı zamanda solunumun devam etmektedir bu durumda var olan karbonhidrat-

lar harcanmaya devam eder ve bitkideki karbonhidrat yoğunluğunda azalma görülmektedir. Bu düşüş nedeniyle bitki kökleri yeterince beslenememektedir. Gelişen değişimlere karşı bitkiler savunma olarak yaprak ayasını geliştirme çözümüne giderken bazı bitkilerde ise yalnızca yaprak ayasını genişletmeyip yaprak kalınlıklarını da incelterek ışık geçirgenliğini arttırmırlar. Bu savunmanın nedeni güneş ışığından daha fazla yararlanabilmektir. Işığın fazla olduğu durumlarda ise ışığı daha çok yansıtılabilmek için yaprak kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir (Nitschke, 2017).

Bitkiler fazla ışığa maruz kaldıklarında fotosentez aktivitesini hızlandırmaktadırlar. Yapraklarında mantarlaşma artar, mum tabakası oluşur, kütikula tabakası kalınlaşır böylelikle ışığı daha fazla yansıtılabılır ve aşırı fotosentezden kaçınırlar. Aşırı fotosentez aktivitesi hücre içindeki karbonhidrat miktarının artmasına neden olmaktadır ve bitkinin solunum aktivitesini arttırmaktadır. Oluşan bu durumda; oksijenli solunum sonucu oluşan radikaller hücrede birikim meydana getirir ve hücre ölüme doğru yönelim olur. Tıpkı güneş seven bitkilerde olduğu gibi gölge seven bitkilerde fazla ışığa maruz kaldıklarında strese girmektedirler. Hatta çoğu gölge seven bitkide optimum koşulların biraz üzerindeki ışık şiddeti ve süresine bağlı olarak; oksijenli solunum sonucu ortaya çıkan oksijen radikallerinin ve özellikle hidrojen peroksit radikalının belli bir yoğunluk düzeyini geçtikten sonra hasara yol açtığı ve tolere edilemediği görülmektedir (Roeber ve diğerleri, 2020).

Güneşimizin en büyük ışık kaynağı olması ve dünyamıza hayat vermesi her zaman olumlu karşılanabilecek bir durum olarak kabul edilmektedir. Gün içerisinde yaşanan dalgalan ışık alım miktarı da bitkilerde fotosentetik düzeyi etkilemektedir. Güneş ışınları aynı zamanda UV ışınlarıdır. UV ışık türü canlılar için son derece zararlı bir ışıktır; proteinlerin disülfid bağlarını kırar ve aynı zamanda DNA'nın yapısını bozar. Buna duruma önlem olarak özellikle yüksek bitkiler yapraklarındaki kütikula tabakasını kalınlaştırarak UV ışınlarına karşı koruma sağlamaya çalışmaktadırlar (Roeber ve diğerleri, 2020).

2.1.2. Kimyasal Stres

2.1.2.1. Tuz Stresi

Günümüzde iklim değişikliğine paralel olarak doğada var olan ve tarımı yapılan bitkilerde gün geçtikçe olumsuz etkileri artan stres faktörlerinin en önemlilerinden biride tuz stresidir. Tuz stresini; kendini özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde, yoğun sulama ile zengin tuz içeriğine sahip yeraltı suyunun seviyesinin toprak yüzeyine kadar yükselmesi ile ortama etki eden yüksek sıcaklığın suyu buharlaştırarak taşıdıkları tuzların toprak yüzeyinde veya yüzeye yakın kısımlarda biriktirmesi ile oluşmaktadır.

Tuzlanmaya neden diğer unsurların bazıları da; denizsel kaynaklı taşınım, ana kayacın ayrışması, aşırı otlatma ve doğal bitki alanlarında arazi açmak vb. nedenlerle şeklinde oluşmaktadır. Tuzlanma ile oluşan bu olumsuz durum sadece bitkileri değil var olan toprak yapısının da değişimine neden olmaktadır (Botella ve diğerleri, 2005).

Tuz stresi bitkileri; toprağın negatif su potansiyelinden kaynaklanan düşük su içeriği nedeniyle ozmotik stres (erken/kısa vadeli etki) şeklinde, sitoplazmada yüksek Na^+ ve Cl^- seviyeleri ve hücre içi K^+/Na^+ oranındaki değişiklikler nedeniyle oluşan iyonik stres (geç/uzun vadeli etki) şeklinde etkiler. Oluşan ozmotik ve iyonik stres birlikte oksidatif stresi meydana getirir ve sonuçta bitkiler tuz stresinden hemen hemen bütün büyüme ve gelişme aşamalarında olumsuz etkilere maruz kalabilmektedirler (Hasegawa, 2013). Bitkinin kök bölgesinde çözünmüş tuzların fazlalığı sonucunda yoğunluğun artması nedeniyle bitki suyu almakta güçlük çekmeye başlar, bu durum bitkide fizyolojik kuraklık yaşanmasına neden olur ve iyon miktarındaki artışa bağlı olarak toksik etkiler görülmeye başlanır, sonuçta tuz stresi oluşur. Tuzluluk stresinin görüldüğü ilk evre kendini ozmatik değişim olarak birkaç saat veya birkaç gün içinde gösterebilmektedir (Carillo ve diğerleri, 2011). Bitki köklerinde hücre membranlarının seçici özelliği bozulur, topraktan su ve mineral besin elementlerinin alınımının engellenmesi besin dengesizliğine yol açar, bitki yapraklarında dehidrasyon ve turgor kaybı oluşur, yapraklar sararır, yaprak hücre ve dokularında geri dönüşümü olmayan sonuçlar gerçekleşebilmektedir (Acosta-Motos ve diğerleri, 2017).

Tuzlu koşullara maruz kalan bitkilerin fotosentez ve transpirasyon oranı, tuzluluk türüne, süresine, bitki yaşına ve türüne bağlı olarak azalmaktadır (Walawwe, 2014). Fotosentez oranındaki değişim; stomaların kapanması sonucunda karbon asimilasyonunun yavaşlaması ve fotosentetik elektron taşıma aktivitelerinin azalmasından etkilenmektedir. Yaprığın sahip olduğu klorofil içeriğindeki tuzun neden olduğu değişiklikler, biyosentezde bozunma ve hızlandırılmış pigment bozulması şeklinde olurken; klorofil bozunması sürecinde, klorofil b, klorofil a'ya dönüştürülebilir ve bunun sonucunda klorofil a içeriğinde artış görülebilmektedir (Chaves ve diğerleri 2009). Bitkilerde oluşan bu streste klorofil içeriğinin tuza toleranslı türlerde arttığı, tuza duyarlı türlerde ise tam tersine azalma gösterdiği bilinmektedir (Akram ve Ashraf, 2011).

Bitkilerde oluşan tuz stresi kaynaklı artan reaktif oksijen türleri, proteinler, lipidler ve nükleik asitler gibi çeşitli hücresel bileşenlerde oksidatif hasarlara neden olabilmektedir. Bitkiler, bu zararlı etkilerden kurtulabilmek için strese tepki olarak biyokimyasal ve moleküler düzeyde çeşitli adaptif mekanizmalar geliştirmeye çalışmaktadır, böylelikle toler-

ans geliştirebilirler ve yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilirler (Shahzad ve diğerleri, 2019).

2.1.2.2. Diğer Kimyasal Stresler

Dünyamız var olduğundan bu yana sanayi devriminin yarattığı kirlilik kadar farklı kirleticilerle karşılaşmamıştır. Bu kirleticilerden biride ağır metal birikimi ve etkileridir. Ağır metal kirliliği antropojenik ve jeolojik birçok etmenin neden olduğu bir stres çeşiti olsa da özellikle toprak ve su kirliliğine neden olması sebebiyle, besin zinciri yoluyla bütün canlıların sağlığını tehdit edebilmektedir. Ağır metaller günümüzde endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar ile kentsel atıklarla her ortamda var olabilmektedirler. Ağır metallerin özgül ağırlıkları $5\text{gr}/\text{cm}^3$ 'ten, atom numarası 20'den fazla olan elementler periyodik cetvelin geçiş elementleri olarak tanınan bir grupta yer alır. Bu grubun içine 70 kadar element girmekle birlikte çevresel etki bakımından önemli 20 element dikkat çekmektedir (Fe, Mn, Zn, Cu, V, Mo, Co, Ni, Cr, Pb, Be, Cd, Tl, Sb, Se, Sn, Ag, As, Hg, Al). Bunların bir kısmı, bitki ve hayvanlar için mikrobeyin (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Ni) maddesi olmasına karşın sınır değeri geçilmediği sürece toksik etki yaratmaz (Bücker-Neto ve diğerleri, 2017).

Bitkiler, metalleri çoğunlukla kökleri aracılığıyla alırlar bunun yanı sıra havada gaz halinde bulunan metalleri stomaları aracılığıyla ve yaprakların kutikula tabakasından iyon halinde alım yapabilmektedirler. Bitkinin yaşam ortamındaki topraklarda metaller kolloid halde, organik maddelere bağlı halde ve toprak çözeltisi içinde iyon halinde bulunabilirler. Bitkiler ancak toprak çözeltisi içindeki iyon halindeki metalleri alabilmektedirler. Bitkiler metal alınımı devam ettikçe yoğunluk tolere edilemeyen düzeye ulaştığında gerek kök ve gerekse gövdenin yaş ve kuru ağırlıklarında azalma meydana gelmekte ve bitki büyümesi yavaşlamaktadır. Ayrıca metal çeşidine ve derişimine bağlı olarak yaprak şekillerinde değişiklik, yaprak alanında küçülme, sararma ve nekrotik leke oluşumu da görülmektedir (Lösch ve Köhl, 1999). Ortamda pH, sıcaklık, organik madde miktarı, diğer metallerin varlığı, mikroorganizmalar vb. koşulların değişmesi toprak çözeltisi içindeki metal derişimini değiştireceğinden metal alınımını da etkileyebilmektedir (Marschner, 1995). Ortamda bulunan ve bitkiye geçebilen metaller, var olan hücre içerisindeki molekülleri işlevsel ve yapısal olarak etkileyerek serbest radikal oluşumunu artırarak dolaylı yoldan etkide yapabilmektedirler (Chandrakar ve diğerleri, 2018). Bitkilerde hücre zarı ve aynı yapısal özellikteki kloroplast, mitokondri, endoplazmik retikulum v.b. yapılar yüksek derişimli metallerden etkilenmektedir (Ros ve diğerleri, 1990). Ağır metallerin bir çoğu sınır değeri aşıldığında zincirleme olarak meydana gelen olayların etkisiyle bitkinin

fotosentez hızının azalmasına neden olmaktadır (Lidon ve Henriques, 1993).

Hava kirleticiler, dünyamızın atmosferinin doğal yapısı ve bileşimini bozarak tüm canlılar olduğu gibi bitkilere de zararlı etkiler yapmaktadır (Agrawa ve diğerleri, 2003). Bitkiler havanın kalitesi düştükçe yapraklarda nekrotik ve klorotik zararlar, stomalardan gaz alış-veriş dengesinin bozulması, devamında fotosentezin azalması, klorofil ve kloroplast yapısının bozulması, transpasyon dengesinin bozulması, hücre içi basıncın değişmesi, besin maddesi dengesinin bozulması, enzimlerin inhibasyonu, klorofil yoğunluğunun azalması, pigment sistemlerinde bozulma, kısmen veya tamamen kuruma şeklinde etkilenmektedirler. Bitkiler; gövde ve dallarda yıllık halka gelişiminin engellenmesi, boy uzamasının, hacim artışının engellenmesi, besin maddesi iletim dengesinin bozulması şeklinde değişimlere maruz kalmaktadır. Köklerde gözlenen değişimler ise; ağırlığında azalma, besin maddesi alımının engellenmesi, çürüme, kök/gövde oranında değişmesi şeklinde olmaktadır (Govindaraju ve diğerleri, 2010).

Bitkilerin kimyasal olarak etkileşimde bulunduğu diğer bir olayda allelopatidir. Allelopati ekolojik bir olgudur ve bitkilerin ekolojik adaptasyonunda hem olumlu hem de olumsuz etkileri sahiptir. Olumlu etkileri bitkilerin salgıladıkları kimyasallarla yabancı ot oluşumunu engellemesi (Bajwa ve diğerleri, 2015), hastalıklara karşı direnç geliştirmesi (Bertin ve diğerleri, 2003), topraktan besin alınımının hızlandırılması, mikrobiyal etkileşimler gibi olaylardır (Bressan ve diğerleri, 2009). Genele bakıldığında çoğu bitkinin allelopatisinin bitki büyümesi üzerinde etkisi vardır (Farooq, ve diğerleri, 2013). Bitkiler büyüme ve gelişme sırasında çeşitli ikincil metabolitleri sentezleyebilirler. Bu ikincil metabolitler, depolandığında veya çevreye salındığında diğer organizmalar için yararlı veya zararlı olabilir; örneğin bitkilerde depolanan ve hayvan beslenmesini ve mikrobiyal istilayı önleyebilen ikincil metabolitler, havaya salınan uçucu maddeler ile tozlaştırıcı böcekleri çekebilirler. Diğer yandan toksik olduklarında örneğin büyüyen ceviz ağacını yanında diğer ağaçlar iyi gelişmemektedir. Bitkiler çevredeki organizmalarla ikincil metabolitler yani allokimyasallar sayesinde iletişim kurarak büyümelerini, gelişmelerini, savunmalarını, üremelerini ve yaşam döngülerini çok çeşitli birlikteliklerle ekolojik süreçte yerine getirebilmektedirler (Kessler ve Baldwin 2001).

2.1. Biyotik Stres

Bitkiler çimlenmeye başlayıp ekolojik çevrede yer bulmaya başladığı andan itibaren yaşam mücadelesi içindedir. Bu mücadelede bitkilerin dezavantajları istedikleri çevre koşulunu değiştirme yeteneğine sahip olmaları ve yer değişikliği yapamamalarıdır. Bitkiler kimi zaman insanların

hedefi, kimi zaman orman hayvanlarının, yetiştiriciliği yapılan hayvanların, kuşların, kemiricilerin, böceklerin, yabancı otların kimi zaman virüslerin, bakterilerin, mantarlar vb. gibi canlı organizmaların etkisi altında kalabilmektedirler (Abramovitch & Martin, 2004). Bitkilerde bu gibi canlı organizmaların oluşturduğu stres biyolojik strestir. Bir organizmaya uygulanan biyotik stres türleri, yaşadığı çevre koşullarının yanı sıra türün belirli streslere direnme yeteneğiyle de ilişkilidir (Flynn, 2003).

Bitkiler hastalığa neden olabilen patojenlerle yani parazit biyotik organizmalarla örneğin bakteri, mantar, virüs, protozoa ve nematod gibi çok çeşitli organizmalarla karşılaştığında hastalanırlar (Baker ve diğerleri, 1997). Patojenler sadece konukçu bitkiden besin almakla kalmaz aynı zamanda konakçı doku hasarlarına, biyokimyasal ve fonksiyonel değişikliklere, metabolik ve fizyolojik bozukluklara yol açarak konukçu bitkinin zarar görmesine ve hatta tamamen ölmesine neden olur (Agrios, 2005). Mantarlar bitkilerde diğer organizmalardan daha fazla hastalık oluşturma kabiliyetine sahiptirler ve bitki solgunluğuna, yaprak lekelerine, kök çürümelerine, tohum hasarına vb. neden olabilmektedirler. Böcekler bitkilerde yapraklar, kök, kabuk ve çiçekler de dahil olmak üzere bitkiler için ciddi fiziksel hasarlara neden olabilmektedirler (Fuller ve diğerleri, 2008). Bitkilerde gal oluşumu; afit, karınca, böcek gibi organizmaların beslenme, yumurta koyma, korunma gibi aktiviteleri sonucu oluşan anormal bitki büyümeleri olarak konak bitkide çeşitli şekillerde oluşabilmektedir. Bitkide gal oluşturan canlıların mekaniksel zarar veya meydana getirdiği salgılar bitkinin normal büyüme hormonları olan oksin ve giberellin artışına sebep olmaktadır. Bu artışa bağlı olarak bitkide hücre büyüklüğü, sayısında artış görülebilmektedir (Byers ve diğerleri, 1976).

İstenmeyen bitkiler olarak adlandırabileceğimiz bitki grupları, yabancı otlar; var olan bitkilerle rekabete girer, besin paylaşımı, güneşe ulaşma diğer bitkiyi kendine mekanik dayanak haline getirme ve çiçek açmasını engelleme gibi birçok etkiyle strese sokmaktadırlar.

Biyotik stres faktörleri çevresel değişimlere bağlı olarak; bitkilerde meydana getirdiği etkileri ve oluşturdukları stres seviyeleri değişkenlik göstermektedir. Biyotik stres faktörlerin zamanında belirlenip uygun mücadelenin yapılması özellikle tarım bitkilerinde verimin belirleyici unsurları arasındadır (Coakley ve diğerleri, 1999).

3. Sonuç ve neriler

Dünyamız var olduğundan bu yana çeşitli etkilere maruz kalmıştır ve üzerinde var olan tüm canlılar bu oluşan durumlardan etkilenmiştir. Bu değişim özellikle sanayi devrimiyle birlikte farklı bir seviyeye ulaşmıştır. Günümüzde iklim krizi olarak bildiğimiz süreç; her gün farklı ve hızlı değişimlerle tüm canlılar gibi bitkileri de etkilemekte ve strese sokmaktadır. Bitkiler maruz kaldıkları abiyotik ve biyotik streslere karşı geliştirdikleri stres cevapları sayesinde evre faktörlerine karşı uyum sağlayabilirler ve bir sonraki nesile geçebilirler. Bitkilerce geliştirilen cevaplar; stres faktörünün etki şekli ve süresi yanında bitkinin genetik özelliklerine göre de değişebilmektedir. Burada önemli olan gerek doğal yaşam alanlarında var olan florayı oluşturan bitkilerin, gerekse tarımsal üretimi yapılan bitki çeşitlerinin optimum yaşam ihtiyaçlarını bilmek ve gözetmek, stres faktörlerini var olmadan engellemek ve çok yönlü tanımak, stres faktörleri oluştuğunda da bitkilerin strese en az maruz kalmalarını sağlamak ve çözümler üretmektir.

Kaynaklar

- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, PSanchez-Blanco ., M. J. and Hernandez, J. A., (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms, *Agronomy*, (7), 18.
- Agrawal, M., Singh, B., Rajput, M., Marshall, F., Bell, J.N.B., (2003). Effect of Air Pollution on Peri-Urban Agriculture: A Case Study. *Environmental Pollution*, 126: 323-329.
- Agrios, G.N., (2005). *Plant pathology* 5th edition. Elsevier Academic Press, 84 Theobald's Road, London WC1X 8RR, UK. Abramovitch, R.B. & Martin, G.B. 2004. Strategies used by bacterial pathogens to suppress plant defenses. *Current Opinion in Plant Biology* 7, 356-364.
- Ahuja, I., de Vos, R. C., Bones, A. M., and Hall, R. D., (2010). Plant molecular stress responses face climate change. *Trends Plant Sci.* 15, 664–674.
- Akram, M. S., Ashraf, M., (2011). Exogenous application of potassium dihydrogen phosphate can alleviate the adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 34(7), 1041-1057.
- Ali, S., Rizwan, M., Arif, M.S., Ahmad, R., Hasanuzzaman, M., Ali, B. & Husain, A., (2020). Approaches in enhancing thermotolerance in plants: An updated review. *Journal of Plant Growth Regulation* 39(1): 456-480.
- Ambroise, V.; Legay, S.; Guerriero, G.; Hausman, J.F.; Cuypers, A.; Sergeant, K., (2019). The Roots of Plant Frost Hardiness and Tolerance. *Plant Cell Physiol.* 61, 3–20.
- Bajwa, A.A.; Mahajan, G.; Chauhan, B.S., (2015), Nonconventional weed management strategies for modern agriculture. *WeedSci.* 63, 723–747.
- Baker, B., Zambryski, P., Staskawicz, B. & Dinesh-Kumar, S.P., (1997). Signaling in plant-microbe interactions. *Science* 276, 726-733.
- Bertin, C.; Yang, X.; Weston, L.A., (2003). The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant Soil*, 256, 67–83.
- Bhattacharjee, S. & Saha, A. K., (2014). Plant water-stress response mechanisms. In *Approaches To Plant Stress And Their Management*, 149-172. Springer, New Delhi
- Black, P., (1993). *Advances in Bioclimatology, Vol. 2: The Bioclimatology of Frost. Its Occurrence, Impact and Protection.* J. Environ. Qual. 22, 635.
- Botella, M.A., Rosado, A., Bressan, R.A. and Hasegawa, P.M., (2005). *Plant Adaptive Responses to Salinity Stress, Plant Abiotic Stress*, Blackwell Publishing Ltd., 270p.
- Bressan, M.; Roncato, M.-A.; Bellvert, F.; Comte, G.; Haichar, F.e.Z.; Achouak, W.; Berge, O., (2009). Exogenous glucosinolate produced by *Arabidopsis thaliana* has an impact on microbes in the rhizosphere and plant roots. *Isme J.*, 3, 1243–1257.

- Briggs, W.R. and Huala, E., (1999). Blue-Light Photoreceptors in Higher Plants. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 15:33-62.
- Buchanan, B.B., Gruissem, W. and Jones, R.L., (2000). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*, Vol. 40. American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland.
- Bücker-Neto, L., Paiva, A. L. S.; Machado, R. D., Arenhart, R. A., Margis-Pinheiro, M., (2017). Interactions between plant hormones and heavy metals responses. *Genetics and Molecular Biology*, 40 (Suppl. 1), 373-386.
- Byers, J.A., Brewer, J.W. and Denna, D.W. , (1976). Plant growth hormones in pinyon insects galls. *Marcellia*, (39), 125-134.
- Carillo, P., Annunziata, M. G. , Pontecorvo, G., Fuggi A. and Woodrow, P., (2011). Salinity stress and salt tolerance. *Abiotic Stress in Plants-mechanisms and Adaptations*, (1), 21-38
- Chandrakar, V., Pandey, N. & Keshavkant, S., (2018). Plant responses to arsenic toxicity: morphology and physiology. In: *Mechanisms of arsenic toxicity and tolerance in plants*, 1st ed., Springer Singapore, 27-48.
- Chaves, M. M., Flexas, J., and Pinheiro, C., (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Ann. Bot.* 103, 551–560.
- Chiappero, J., del Rosario Cappellari, L., et al., (2019). Plant growth-promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. *Ind. Crops Prod.* 139, 111553.
- Coakley, S.M., Scherm, H. and Chakraborty, S., (1999). Climate Change and Plant Disease Management. *Annual Review of Phytopathology*, 37, 399-426.
- Farooq, M.; Bajwa, A.A.; Cheema, S.A.; Cheema, Z.A., (2013). Application of allelopathy in crop production. *Int. J. Agric. Biol.*, 15, 1367–1378.
- Flexas, J., Bota, J., Galmés, J., Medrano, H., and Ribas-Carbó, M., (2006). Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiol. Plant* 127, 343–352.
- Flynn, P., (2003). “Biotic vs. Abiotic - Distinguishing Disease Problems from Environmental Stresses”. ISU Entomology. Retrieved 16 May 2013.
- Fuller, V. L., Lilley, C. J., Urwin, P. E., (2008). “Nematode resistance”. *New Phytologist*. 180 (1): 27–44.
- Gaspar, T., Franck, T., Bisbis, B. et al., (2002). Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation* 37, 263–285.
- Govindaraju. M., Ganeshkumar. R.S., Suganthi. P., Muthukumaran. V.R, Visvanathan. P., (2010). Impact Assessment of Air Pollution Stress on Plant Species through Biochemical Estimations. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 48, 933-936.

- Grace, J., (1988). Plant response to wind, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, (22-23), 71-88.
- Gray GR., Cauvin LP., Sarhan F., Huner NPA., (1997). Cold acclimation and freezing tolerance. A complex interaction of light and temperature. *Plant Physiology* 114, 467-474.
- Gusta, L.V., T.H.H. Chen, (1987). The physiology of water and temperature stress. *Wheat and Wheat Improvement*, 13, 115-150.
- Ha, S., Vankova, R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., and Tran, L. S., (2012). Cytokinins: metabolism and function in plant adaptation to environmental stresses. *Trends Plant Sci.* 17, 172–179.
- Haider, I., Raza, M.A.S., et al., (2020). Potential effects of biochar application on mitigating the drought stress implications on wheat (*Triticum aestivum* L.) under various growth stages. *J. Saudi Chem. Soc.* 24, 974–981.
- Hamner Karl C., (1944). Photoperiodism In Plants., *Annu. Rev. Biochem.* 13, 575-590.
- Hasanuzzaman M, Hossain MA, Teixeira D, Silva JA, Fujita M., (2013). Plant responses and tolerance to abiotic oxidative stress: Antioxidant defenses is a key factors. *Crop Stress and its Management: Perspectives and Strategies*. Berlin: Springer; 261-316.
- Hasegawa, P. M., (2013). “Sodium (Na⁺) homeostasis and salt tolerance of plants,” *Environmental and Experimental Botany*, (92), 19-31.
- Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D. R, Thomson, A. M. and Wolfe, D., (2011). *Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production*. *Agronomy Journal* 103, 351-370.
- Karamanos, A. J., Papatheohari, A. Y., (1999). Assessment of drought resistance of crop genotypes by means of the Water Potential Index. *Crop Sci.* 39: 1792-1797.
- Karaoğlu, M., (2018). Rüzgar ve Rüzgar Olayları., *Journal of Agriculture* 1 (2), 39-48.
- Kessler, A., Baldwin, I.T., (2001). Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science*, 291,2141–2144.
- Khan, S., Jabeen, R., Deeba, F., Waheed, U., Khanum, P., & Iqbal, N., (2021). Heat Shock Proteins: Classification, Functions and Expressions in Plants during Environmental Stresses., *Journal of Bioresource Management*, 8 (2).
- Larcher, W., (1980). *Physiological Plant Ecology*, 2nd edn. Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- Levitt, J., (1980). Response of plants to environmental stresses: chilling, freezing and high temperature stresses. *Physiological Ecology: a series of monographs, texts and treatises*, 1, 23-64.

- Lichtenthaler, H.K., (1998). The stress concept in plants: an introduction. *Annals of the New York Academy Of Sciences* 851, 187–198.
- Lidon, F.C. ve Henriques, F.S., (1993). Changes in the contents of the photosynthetic electron carriers, RNase activity and membrane permeability triggered by excess copper in rice. *Photosynthetica* 28, 99-108.
- Lösch, R. ve Köhl, K.I., (1999). Plant respiration under the influence of heavy metals. *Heavy Metal Stress in Plants: from molecules to ecosystems*, Eds: M. N.V. Prasad ve. Hagemeyer, ss.139-156, Springer-Verlag, Berlin.
- Madani, B., Mirshekari, A., Imahori Y., (2019). Physiological responses to stress *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, Woodhead Publishing Limited, Elsevier, Duxford, UK, 405-423.
- Mahajan, S., Tuteja N., (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444: 139-158.
- Marschner, H., (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd edition. Academic Press, London.
- Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, A. T., Gregory, J. M., ... & Zhao, Z. C., (2007). *Global Climate Projections*. Chapter 10.
- Nitschke S, Cortleven A, Schmölling T., (2017). Novel Stress in Plants by Altering the Photoperiod. *Trends in Plant Science*, 22: 913-916.
- Osakabe, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., and Phan Tran, L. S., (2013). Sensing the environment: key roles of membrane-localized kinases in plant perception and response to abiotic stress. *J. Exp. Bot.* 64, 445–458.
- Osakabe Y., Osakabe K., Shinozaki K., Tran L.S., (2014). Response of plants to water stress, *Frontiers in Plant Science* V:5, A:86.
- Öztürk, H.H., (2008). *Sera İklimlendirme Tekniği*. Hasad Yayıncılık Ltd. Şti. 267-269.
- Roeber VM, Bajaj I, Rohde M, Schmölling T, Cortleven A., (2021). Light acts as a stressor and influences abiotic and biotic stress responses in plants. *Plant, Cell & Environment* 44(3), 645-664.
- Ros, R., Cooke D.T., Burden, R.S. ve James C.S., (1990). Effect of herbicide MCPA, and the heavy metals, cadmium and nickel, on the lipid composition, Mg-ATPase activity and fluidity of plasma membranes from rice, *Oryza sativa* cv. Bahia shoots. *J. Exp. Bot.* 41, 457-467.
- Shahzad, B., Fahad, S., Tanveer, M., Saud S. and Khan, I. A., (2019). Plant responses and tolerance to salt stress, *Approaches for Enhancing Abiotic Stress Tolerance in Plants*, 1st ed., Florida, USA: CRC Press, 61-78.
- Sanghera GS, Wani SH, Hussain W, Singh NB., (2011). Engineering cold stress tolerance in crop plants. *Current Genomics*. 12, 30-43.

- Sawa, M., Kay, S. A., & Imaizumi, T., (2008). Photoperiodic flowering occurs under internal and external coincidence. *Plant signaling & behavior*, 3(4), 269–271.
- Selye, H., (1973). The Evolution of the Stress Concept: The originator of the concept traces its development from the discovery in 1936 of the alarm reaction to modern therapeutic applications of syntoxic and catatoxic hormones. *American Scientist*, 61(6), 692-699.
- Singh BK, Sutradhar M, Singh AK, Mandal N., (2017). Cold stress in rice at early growth stage An overview. *International Journal of Pure Applied Bioscience*. 5, 407-419
- Skirycz, A., and Inze, D., (2010). More from less: plant growth under limited water. *Curr. Opin. Biotechnol.* 21, 197–203.
- Taiz, L. and Zeiger, E., (2010). *Plant Physiology*, 5th edn. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Van Gardingen., P., and Grace J., (1991). Plants and wind., *Advances in Botanical Research.*, 18, 189-253.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M. R., (2007). Heat tolerance in plants: An overview, *Environmental and Experimental Botany*, 6, 199- 223.
- Walawwe, S. A. (2014). *Regulation of Photosynthesis in Plants Under Abiotic Stress*. University of Manchester. Faculty of Life Sciences. ProQuest Dissertations Publishing, 306 p. England.
- Wang, W., Vinocur, B., and Altman, A., (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 28, 1–14.
- Wania, S. H., Kumar, V., Shriram, V., and Sah, S. K., (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *Crop Journal*. 4, 162–176.
- Wassan, S., Xi, C., Jhanjhi, N., Binte-Imran, L., (2021). Effect of frost on plants, leaves, and forecast of frost events using convolutional neural networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 17(10):155014772110537
- Zeiger, T., (2002). *Water and Plant Cells*. *Plant Physiology*. 3rd. ed: Sinauer Associates, Inc.; 33-46.



BÖLÜM 5

DNA PARMAK İZİ

*Pınar ÖZTOPCU VATAN*¹

*Dilay KARACAOĞLU*²

1 Pınar Öztöpcü-Vatan (Prof.Dr.), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 26480 Meşelik, Eskişehir. ORCID ID: **0000-0003-4339-4129**

2 Dilay Karacaoğlu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Kök Hücre Anabilim Dalı, 26480 Meşelik, Eskişehir. ORCID ID: **0009-0007-9960-6270**

Parmak İzi

Parmak izleri, deri altındaki papiller çıkıntılarının oluşturduğu desenler olarak tanımlanır. Papiller çıkıntılar yumuşak çıkıntılardır. Ter bezlerine bağlanan gözenekleri içerir. Parmak izleri fetal yaşamda 13 ila 19. hafta arasında oluşmaya başlar. Yaşam boyu değişmemekle birlikte, ölümden sonra bile diğer dokulara kıyasla daha uzun süre bozulmadan kaldığı belirlenmiştir. El ve ayak parmaklarında, avuçlarda ve ayak tabanlarında bulunan bu çıkıntılar yaşam boyunca ilk oluştuğu şekillerini korur (Kaushal ve Kaushal, 2011). Anne karnında annenin beslenmesi, aldığı kimyasallar, radyasyon, hormon seviyelerindeki değişimlerin parmak izlerinin şekillenmesinde etkili olabileceği bildirilmiştir. Fetüsün ana rahimdeki pozisyonu ve amniyon sıvısının yoğunluğu da parmak izinin şeklini etkilediği saptanmıştır (Delice vd., 2014).

Parmak izi kişiye özgüdür. Dünyada rastgele seçilen iki kişinin parmak izlerinin aynı olma ihtimalinin çok düşük olduğu bu ihtimalin ancak 64 milyarda 1 aynı olabileceği tahmin edilmektedir. Tek yumurta ikizlerinin bile parmak izleri aynı değildir. Buna rağmen bir insanın on parmağındaki parmak izleri farklılık gösterebilir (Delice vd., 2014).

Temel olarak bir parmak izi deseninde kıvrımlar, halkalar ve kemerler gözlenir. Nüfusun %65'e yakın bir kısmında halkalar görülürken, %30'unda kıvrımlar ve sadece %5'inde kemerler görülür (Kaushal ve Kaushal, 2011). Parmak izleri, gösterdiği farklı desenler nedeniyle beş ana grupta toplanmıştır. Bunlar; Wirbel, Ulnar, Ark, Lasso ve Radyal'dır. Dünyada en çok rastlanan parmak izi şeklinin Ulnar, Wilber ve Ark şeklinde olduğu düşünülmektedir (Delice vd., 2014).

Francis'in Galton 1892 yılında '*Parmak İzleri*' isimli bir kitap yazmıştır. Bu eserinde başta kendisi olmak üzere farklı kişilere ait parmak izlerini ve bu izlerin özelliklerini anlatmıştır. Ayrıca kitapta parmak izlerinin çocukluktan yaşlılığa geçiş dönemlerinde bile değişikliğe uğramadığından kaldığından bahsedilmektedir (Şekil 1) (<https://twain.lib.virginia.edu/wilson/galtonfp.html>).



Şekil 1. Galton'un kitabında bulunan bir çocuğunun parmak izlerinin zaman içerisinde aynı kaldığını gösteren çizim (<https://twain.lib.virginia.edu/wilson/galtonfp.html>).

Parmak İzinin Tarihesi

Çin'in kuzeybatısında yapılan arkeolojik kazılarda bulunan 6000 yıllık olduğu düşünülen çanak çömlek üzerinde parmak izleri bulunmuştur. Bulunan bu izler, hala en eski parmak izleri olarak kabul edilmektedir. Çinliler, parmak izini tanımlama aracı olarak kullanan ilk kültür olmuştur. Olay yeri inceleme hacmi-hırsızlık isimli belge bilinen en eski parmak izi ve suç arasında bağlantı olduğunun anlatıldığı örnektir. Bu belge parmak izlerinin nasıl kullanıldığını anlatan açıklayıcı bir metin şeklindedir. MÖ 221'den MS 220'ye kadar parmak izini kişiselleştirmek için kullanılan en yaygın araç kil mühürdü. Kil mühürlerinin bir tarafında kişinin ismi bulunurken, diğer tarafında ise kişinin parmak izi bulunmaktaydı. Bu mühürler genellikle, belgeyi yazan kişiyi belirtmek amacıyla kullanılırdı. Belgeye özgünlük kazandırmanın yolu hem isim, hem de parmak izine sahip olmasıydı. MS'den sonra 105 yılında Çinliler kâğıdı icat etmesi ile birlikte parmak izi imza olarak kullanılmaya başlandı. Çin'de sözleşme tipindeki tüm belgelere parmak izi uygulaması standart bir uygulama haline getirildi (Holder vd., 2011).



Şekil 2. İrlanda Newgrange’da bulunan üzerinde üçlü sarmal ya da parmak izi motifleri taşıyan mezar taşı (Holder vd., 2011).

Bunun yanı sıra tesadüf olarak değil de, bilerek parmak izlerinin bıraktığı antik eserlere de rastlanmıştır. Parmak izi desenlerini içeren antik eserler, günümüzde Fransa’da bulunan Gavrinis Mezarlığı’nda ve İrlanda’nın kuzeyinde bulunan Newgrange Mezarlığı’nda (Şekil 2) sergilenmektedir (Holder vd., 2011).

17.Yüzyılın sonlarına doğru insan derisine ait araştırmalar Avrupalı bilim adamları tarafından yayınlanmaya başladı. 1685’te Hollanda’lı anatomist Govard Bidloo, baş parmaktaki papiller çıkıntıları ve cildin ayrıntılarını içeren ‘*İnsan Vücudunun Anatomisi*’ isimli eserini yayınladı (Kern, 2017). 1687’de fizyolog Marcello Malpighi tarafından ‘*Dış Dokusal Organlarla İlgili*’ isimli kitap yayınlandı. Malpighi, araştırmalarında çıkıntılı derinin, nesne ile deri arasındaki sürtünmeyi arttırdığını keşfetmiştir. Böylece çıkıntılı derinin kavramayı arttırdığı belirlenmiş ve çalışmalarına ithafen deri tabakalarından birine onun ismi verilmiştir (Holder vd., 2011). Alman anatomist olan Mayer, parmaktaki çıkıntıları içeren ve detaylıca anlatan bir kitap yazdı. Bu kitap derideki çıkıntılarını yani parmak izlerinin hiç kimsede aynı olmadığını vurguladı. 19.Yüzyıl da Welcker 1856’da kendi elinin izini çıkardı ve tekrar 1897’de çıkardığı el iziyle uyuştuğunu gördü. Böylece parmak izinin kalıcılığını kanıtlayan ilk kişi olarak tarihe geçti (Holder vd., 2011).

Parmak İzleri ve Kriminal Çalışmalarda Kullanılması

19. Yüzyıl sonlarında, her parmak izinin kişiye ait olduğu anlaşılınca parmak izi, kriminoloji alanında kullanılmaya başlandı. Bu amaçla ilk kez İngiltere polis teşkilatı Scotland Yard tarafından suçluların belirlenmesinde kullanıldı. Başarılı sonuçların alınması sayesinde parmak izleri kriminal çalışmaların vazgeçilmez bir unsuru olmaya başladı (Delice vd., 2014).

İşlenen suçları çözümlenebilmek için cinsiyet tespiti yapmak çok

önemliydi. Cinsiyeti belirlemek için de parmak izlerinin kullanılabilceği belirlendi. Çünkü, parmak izi tipleri kadın ve erkeklerde belirgin karakteristik özelliklere sahip olduğu tespit edildi (Delice vd., 2014). Parmak izindeki çıkıntılarının yoğunluğu, kişisel tanımlamanın temelini oluşturuyordu. Yapılan çalışmalarda kadınlardaki desen yoğunluğu, erkeklere oranla önemli ölçüde daha yüksek olduğu ve aynı zamanda kadınların daha ince epidermal detaylara sahip olduğu saptandı. Tüm bu detaylar incelenebilirse suçluların cinsiyet tayini yapılabilecek ve suçlunun bulunması daha kolaylaşabilecekti (Kaushal ve Kaushal, 2011).

20. Yüzyılda, parmak izi kanıtları ilk kez Joseph Reibel'in cinayetiyle ilgili davada kullanıldı. Parmak izi sayesinde suçlular yakalandı ve adalete teslim edildi. 1902'de yapılan duruşmada, parmak izinin davalarda kullanılmasının başlangıcı oldu. 1903'te Yüzbaşı James H. Parke, suçlulardan aldığı parmak iziyle 'Amerikan Sınıflandırma' sistemini geliştirdi. Bu parmak izinin sistematik olarak ilk kullanımıydı ve kısa sürede ülke çapında yayıldı (Holder vd., 2011). Parmak izleri sadece suçluları belirlemek için değil aynı zamanda doğal felaketler sonucu ölenlerin kimlik tespiti için de kullanılmıştır. Örneğin, 23 Mayıs 1939'da batan bir denizaltıda bulunan tüm cesetlerin kimliği parmak izi yöntemiyle belirlenmiştir (Holder vd., 2011).

Uzun yıllar boyunca adli parmak izleri suçluları tespit etmekte kullanılmıştır. Fakat yıllar içinde yargıçlar, akademisyenler ve medya tarafından adli parmak izlerinin güvenilirliği ve geçerliliği sıklıkla sorgulanmaya başlandı (Kaushal ve Kaushal, 2011). Ayrıca cinayeti işleyecek kişiler parmak izi belirlenmesini önleyecek yollara başvurmaya başlamışlardı. Çoğu olay yerinde parmak izine çok nadir rastlanabiliyordu. Ayrıca ortamın ıslak olması parmak izlerinin silinmesine yol açabiliyordu. Bu nedenle araştırmacılar çok daha net sonuçlar verebilecek ve kriminal çalışmalarda hata payını en aza indirecek farklı yöntemlerin arayışına girdiler.

DNA Parmak İzi

DNA parmak izi, bir kişinin genetik materyalinin belirli bölgelerindeki varyasyonları analiz ederek kişinin benzersiz genetik profilini ortaya çıkaran bir biyometrik tanıma yöntemidir. Bu profil, bir kişinin kimlik tespiti, soy bağı belirleme ve suç mahallindeki DNA izlerinin eşleştirilmesi gibi birçok alanda kullanılabilir.

Adli vakalarda suç mahallinden elde edilen biyolojik materyaller ve vücut sıvıları, suçlunun orada bulunduğunu kanıtlamak için kullanılır. Bu materyaller üzerinde yapılan DNA analizi, suçluyu tanımlamak için kesin ve güvenilir bir sonuç sunar. Bu nedenle DNA parmak izi analizi, suçluların tespit edilmesinde ve yakalanmasında önemli bir araçtır. Ayrıca daha

önce işlenen suçlarla bağlantı kurmada önemli bir rol oynar. Suç mahallindeki DNA örnekleri, veritabanlarındaki DNA profilleriyle karşılaştırılarak daha önceki suçlarla ilişkilendirilebilir. Bu sayede, seri suçluların veya birbirleriyle ilişkili suçların tespiti ve çözülmesi kolaylaşır. Bu da soruşturma sürecini hızlandırır ve suçluların daha hızlı bir şekilde adalete teslim edilmesini sağlar.

Aynı zamanda DNA analizi yanlış mahkûmiyetlerin önlenmesinde büyük önem taşır. Suç mahallindeki DNA örnekleriyle, masum kişilerin suçla ilişkisi olmadığı kanıtlanabilir ve adil bir adalet sistemi sağlanabilir. Diğer delil türlerine kıyasla daha yüksek bir güvenilirlik sunar. Sonuç olarak, DNA parmak izi analizi suç olaylarının çözülmesi, suçluların tespiti ve adaletin sağlanması için vazgeçilmez bir araçtır. Bu teknoloji, adli makamlara sağlam deliller sunarak suç oranlarını düşürmeye ve masumiyeti kanıtlamaya yardımcı olur (Çetli vd., 2019).

DNA Parmak İzinin Tarihiçesi

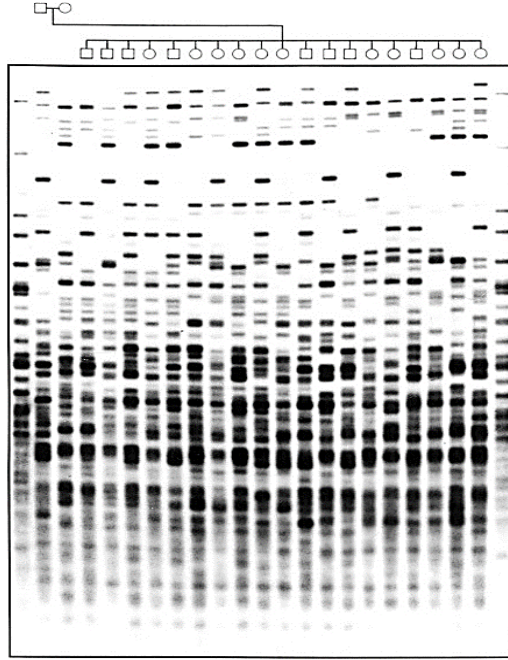
DNA parmak izi ve DNA profilleme teknikleri İngiliz genetikçi Profesör Sir Alec Jeffreys tarafından geliştirildi (Jeffreys, 2013). İlk kez 1985 yılında ebeveyn tespiti için kullanıldı (Garcia ve Miño., 2017). DNA parmak izi yöntemi 1987 yılında ilk defa adli bir vakada kullanıldı. Bu vakada biri 1983'te, diğeri 1986'da iki genç kız tecavüze uğrayıp öldürülmüştü. Cinayetleri işlediği düşünülen Colin Pitchfork ise suçlu olduğu kabul etmiyordu. Maalesef yetersiz kanıtlardan dolayı da suçlu olduğu kanatlanamıyordu. Daha sonra bu vaka da DNA parmak izi yönteminin kullanılmasına karar verildi. DNA parmak izi yönteminde kullanılmak üzere her iki suç mahalinden de alınan sperm örnekleri incelendi. Yapılan analizlerde iki suç mahalinden alınan sperm örneklerinin DNA içerikleri birbiriyle eşleştiği belirlendi. İki suç mahalindeki sperm örneklerindeki DNA izlerinin örtüşmesi sonucunda Colin Pitchfork suçunu itiraf etmesi ile dava sonuçlandı (Roewer, 2013).

Adli vakaların çözülmesinde DNA parmak izinin kullanılmasının ardından 1987 yılında Cellmark gibi şirketler, ulusal polis, kolluk kuvvetleri DNA parmak izini kullanmaya başladı. O dönemde pek çok ülkede DNA parmak izi ile ilgili kongreler yapıldı. Cambridge Üniversitesi, 1989 yılından itibaren ücretsiz olarak *Fingerprint News Dergisi*'ni dağıtmaya başladı (Roewer, 2013). 1990'ların başından başlayarak Restriksiyon Parça Uzunluk Polimorfizmi (RFLP) analizine dayalı DNA parmak izi yöntemleri, kademeli olarak PCR'ye dayalı yöntemlerle değiştirildi. Bunun sebebi gelişmiş hassasiyet, hız ve genotipleme kesinliği idi. Adli tıp camiasında mikrosatellit olarak bilinen STR'ler adli tıp uygulamaları için ideal bulundu.

Günümüzde Jeffreys'in geliştirdiği bu teknoloji moleküler biyolojik tekniklerin daha da gelişmesi ile birlikte daha metodolojik olarak ileri bir düzeye ulaşmıştır (Roewer, 2013). Geliştirilen bu tekniklerin, daha hassas, basit ve otomatik olduğundan DNA profillemeye dünya çapında adli tıp laboratuvarlarında daha da popüler hale gelmiştir. Adalet sisteminde DNA parmak izi uygulanması sayesinde özellikle soruşturmalarda doğru bir şekilde ilerleyebilmesi ve suçla mücadelede önemli bir adım atılmasını sağlamıştır. Adli tıpta kullanımı sadece suçluyu bulmada değil, kurbanı teşhis etmekte de kullanılır. DNA kanıtları her zaman aynı kalır. Zamanın geçmesi gibi faktörler DNA kanıtlarını etkilemez. Ayrıca babalık testinde, cinsel istismar, saldırı, kayıp kişiler, kimliği belirlenemeyen cesetler, faili meçhul suçlar, vur kaç vakalarını çözmek için de DNA parmak izi kullanılmaktadır (Singla vd., 2017).

DNA Parmak İzi Yöntemi

Klasik DNA parmak izi yönteminde, mini uydu ya da oligonükleotid dizileri içeren radyoaktif işaretli DNA problemleri kullanılmaktadır.



Şekil 3. Geniş bir aileden multilokus DNA parmak izi oligonükleotit (GTG)₅ ile problemlenmiştir (Roewer, 2013).

Bu problemler kullanılarak, DNA ile hibritleşmesi sağlanır. İşaretli problemler bir dizi mini uyduya ya da tekrar birimlerinin sayısındaki değişiklik nedeniyle genomik DNA da bazı bölgeler ile hibritleşebilir. Daha sonra fazla problemler ortamdaki uzaklaştırılır ve bir araya gelen hibritleşme bölgeleri X

ışınına maruz bırakılarak belirlenir (Şekil 3). Bu yöntem, DNA üzerindeki değişken parçaların görselleştirilmesini ve profillerin bireyler arasında karşılaştırılmasına olanak tanır (Roewer, 2013).

33.6 ve 33.15 olarak adlandırılan mini uydu problemleri yaygın olarak Birleşik Krallık'ta, Avrupa'nın çoğu yerinde ve ABD'de kullanılırken, pentamerik (CAC)/(GTG)₅ problemler Almanya'da kullanıldı. Bu yöntem 1990'lı yılların sonlarına kadar başarıyla uygulanmasına rağmen bazı sınırlamalara sahipti. Çalışma koşulları, DNA kalitesindeki sorunlar bazı problemlere sebep oldu. Bu sorunların üstesinden gelmek için, adli tıp laboratuvarları DNA fragmanlarını boyutlarına ve tespiti çözme gücüne göre gruplandırdı. İkinci problem ise, DNA parmak izi profili içindeki fragmentlerin ilişkisinin bilinmemesiydi, bu lokuslar arasındaki bağlantı nedeniyle istatistiksel hatalar oluşabilmekteydi. Üçüncü problem ise, yüksek düzeyde profiller elde etmek için, yüksek molekül ağırlıklı DNA gerekiyordu bu sebeple olay yeri örneklerinin çoğu analiz dışında tutuluyordu. Bu problemlerin üstesinden gelmek için tek lokuslu profil oluşturma geliştirildi. Bu yöntemde, tek lokus, yüksek sıklıkta hibridizasyon kullanılarak belirli tek bir lokus tarafından tespit edilir. Bu yöntemde için 10 ng DNA yeterli olabilmektedir. Bu yöntem adli vaka çalışmalarında kullanılmış ve güvenilir bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Ancak bu yöntemler de DNA'nın mevcut kalitesi ve miktarıyla sınırlıydı (Roewer, 2013).

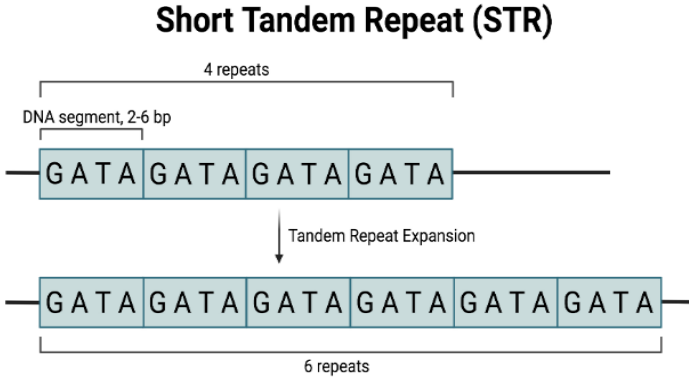
DNA Parmak İzinin Yaygın Olarak Kullanılan Çeşitleri

DNA parmak izi, bir kişinin benzersiz genetik özelliklerini temsil eden bir tür kimlik doğrulama yöntemidir. DNA analiziyle elde edilen bilgiler, bir kişinin parmak izinde bulunan genetik materyalin yapısını ve özelliklerini ifade eder. Analiz genellikle Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR) adı verilen bir yöntemle gerçekleştirilir. PCR, belirli DNA bölgelerini çoğaltarak tekrarlayan dizilerin sayısını belirlemek için yeterli miktarda DNA üretir. Ardından, çoğaltılmış DNA fragmanları elektroforez yöntemiyle boyutlarına göre ayrıştırılır ve DNA parmak izi profili oluşturulur.

DNA parmak izinin yaygın olarak kullanılan çeşitleri

1. Kısa Ardışık Tekrar Dizileri (Short tandem repeats, STRs)

Bu diziler aynı zamanda **mikrosatellitler** veya **basit tekrar dizileri** olarak da bilinir. En yaygın kullanılan DNA parmak izi çeşididir. STR'ler, 1 ila 6 baz çiftinden oluşan tekrarlı birimlerden ve en fazla 100 nükleotitten oluşan dizilerdir (Şekil 4). Genomun genelinde daha az düzenli bir şekilde dağılmış olup, insan genomunun yaklaşık % 3'ünü oluştururlar. Ancak, kromozomlar içindeki dağılımları tamamen homojen değildir. Alt-telomerik bölgelerde daha az sıklıkta görülürler. STR'lerin çoğu kodlanamayan (intron) bölgelerde bulunurken, yaklaşık % 8'i kodlama yapabilen (ekson) bölgelerde yer alır. Ayrıca, STR yoğunlukları kromozomlar arasında ufak farklılık gösterir. İnsan genomunda ortalama olarak 2.000 baz çiftinde bir STR bulunur (Fan ve Chu., 2007). İnsanlarda, STR'lerin en yüksek yoğunluğuna sahip olduğu kromozom 19. kromozomdur.



Şekil 4. Kısa Ardışık Tekrar Dizileri (<https://www.bcgsc.ca/news/straglr-new-software-tool-targeted-genotyping-and-repeat-expansion-detection>).

STR'ler, farklı tekrar birimlerine dayanarak farklı tiplere ayrılabilir. Bir yandan, major tekrar biriminin uzunluğuna göre, mono-, di-, tri-, tetra-, penta- ve hexanükleotid tekrarları gibi farklı tipler vardır. Tekrar birimi boyutu arttıkça her bir tipin toplam sayısı azalır. İnsan genomunda en yaygın STR'ler di-nükleotid tekrarlarıdır. Öte yandan, tekrar yapısına göre, yalnızca bir tekrar birimini içeren basit tekrarlar ve farklı kompozisyon tekrarlarından oluşan bileşik tekrarlar olarak da sınıflandırılır (Fan ve Chu., 2007).

Otozomal kromozomlar, bir kişinin cinsiyetini belirlemede rol oynamayan kromozomlardır ve bu kromozomlardaki STR'ler 'Otozomal STR'ler olarak adlandırılır. Adli amaçlarla cinsiyet tayininde kullanılmaktadır. Örneğin Y-STR yalnızca erkek cinsiyet belirleyici Y kromozomundan türetilir. Otozomal STR'lerden oluşan profil, Y-STR'lerden oluşan

profile kıyasla daha güçlü istatistiksel güç sağlar, çünkü otozomal DNA, yumurta ve sperm hücrelerinin oluşum sürecinde eşleşen kromozom çiftleri arasında rastgele olarak değişir. Bu sayede dünyada milyarlarca insan olmasına rağmen, ikiz olmayan hiçbir iki insan tam olarak aynı değildir. Y-STR'lerden oluşan profiller istatistiksel olarak daha zayıftır, çünkü sadece erkeklerde Y kromozomu bulunur ve tüm erkekler Y kromozomlarını babalarından alır, bu nedenle herhangi bir baba soyunda bulunan tüm erkekler neredeyse aynı Y kromozomlarına sahiptir. Yeterli sayıda Y-STR lokusuyla, bir Y-STR profili bireyler arasında ayırım yapma gücü sağlanabilir, ancak bu tür bir profil otozomal STR profili kadar güçlü değildir (Taylor, 2011).

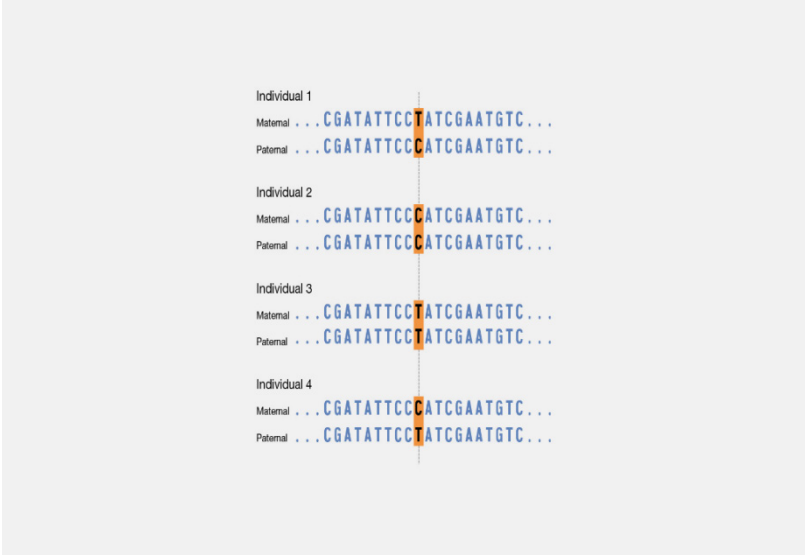
Dünya genelinde suçlu veritabanları tarafından talep edilen iki grup STR işaretleyici vardır: Avrupa standardı seti olan 12 STR işaretleyici ve ABD CODIS standardı olan 13 işaretleyici bulunmaktadır. Kısmen örtüşüklerinden dolayı toplamda 18 STR işaretleyici temeli oluşturur. Bu STR işaretleyiciler ticari kitlelere dahil edilerek, üçten az nükleer hücreden ve ağır şekilde hasar görmüş materyallerden bile çıkarılabilen çeşitli DNA kanıtlarının uygulanmasını ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır (Roewer, 2013).

Amerika Birleşik Devletleri'nde, adli amaçlar için kabul edilen sistemde 13 otozomal STR lokusu kullanılmaktadır. İyi verilere sahip güçlü bir suç mahali DNA örneğiyle, suçu işlememiş bir kişiyle ilişkisi olmayan birinin tüm 13 lokus için mükemmel bir eşleşme olasılığı genellikle yaklaşık 1 milyarda 1'dir. Öte yandan, çok sağlam bir 30 Y-STR lokusu setiyle yapılan deneysel çalışmalar, mükemmel bir eşleşme için yaklaşık 50.000'de 1 olasılık göstermiştir (Taylor, 2011).

2. Tek Nükleotid Polimorfizimi (Single Nucleotide Polymorphism, SNP)

SNP'ler, DNA'daki genler arasında bulunan yaygın varyasyon tipleridir (Şekil 5). Her bir SNP, nükleotit olarak temsil edilen tek bir DNA bloğunda farklılık gösterir. Örneğin, bir SNP, DNA'da guanin (G) yerine adenin (A) olarak değişebilir. SNP'ler, genlerin kodlama bölgelerine denk geldiklerinde amino asit dizisini ve dolayısıyla üretilen proteini değiştirmez. İki gruba ayrılırlar: eş anlamlı olanlar (protein üzerinde herhangi bir değişiklik yapmayan genler) ve eş anlamlı olmayanlar (amino asit dizisinde değişiklik yapan genler). Bu değişiklikler, yanlış amino asit üreten anlamsız (missense) veya hiçbir amino asit kodlamayan anlamsız (nonsense) değişiklikler olabilir. SNP varlığının yoğunluğu, mikrosatellit olarak adlandırılan bir diziyi kullanarak tahmin edilebilir. En yaygın yoğunluk belirleyicisi, "AT" mikrosatellitleridir. SNP'ler ayrıca kodlamayan ve kodlamayan bölgeler gibi bölgelere göre sınıflandırılabilir. Kodlama bölgeleri,

missense ve nonsense bölgeleri olarak daha da sınıflandırılabilir. SNP'ler, toplam varyasyonun %90'ını temsil eder, bu da günlük olarak meydana gelen genetik varyasyonun küçük nükleotid değişiklikleri tarafından oluşturulduğunu gösterir (Mathur vd., 2018).



Şekil 5. Tek Nükleotid Polimorfizimi (<https://www.genome.gov/genetics-glossary/Single-Nucleotide-Polymorphisms>)

SNP'leri keşfetmek için birkaç farklı yöntem geliştirilmiştir. Örneğin, DNA çipleri/mikroarray, SNP'lerin tespit edilmesi için geliştirilmiştir. Bir DNA segmentinin tam baz dizisi göz önüne alındığında, segmentteki her bir SNP lokusunda A, T, G ve C ile temsil edilen dört alel belirlenebilir. İnsanda genetik varyasyonun yaklaşık olarak %90'ının SNP'lerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Genomumuzun 3 ila 17 milyon arasında SNP içerdiği düşünülmektedir. Bunların %5'i genlerde meydana gelmesi beklenen SNP'lerdir. Bu nedenle, SNP'ler, genetik haritada çok yoğun bir şekilde bulunan moleküler işaretleyiciler sağlar ve çoğunlukla adli vakalarda tercih edilmezler. Daha sıklıkla insan hastalıklarında rol oynayan genlerin haritalanmasında kullanılırlar (Mathur vd., 2018).

3. Değişken Sayıda Ardışık Tekrar Bölgeleri (Variable Number Tandem Repeat, VNTR)

DNA bölgelerindeki tekrarlayan birim <6 bp ise, bunlar genellikle STR olarak adlandırılır ve aksi durumda ise VNTR'ler olarak adlandırılır. İnsanlarda genetik çeşitliliğin en büyük kaynaklarından birini temsil ederler. VNTR'ler genellikle genetik analizlerde eksik kalmıştır çünkü geno-

tiplleme ve hesaplama maliyeti gibi teknik zorluklar nedeniyle genel olarak genomik çalışmalarda yeterince incelenmemişlerdir (Bakhtiari vd., 2021).

DNA parmak izi yöntemi, farklı kromozomlarda bulunan belirli VNTR bölgelerini seçici olarak çoğaltmayı içerir. Farklı DNA örneklerinden elde edilen bu özel VNTR parçaları, agaroz jel elektroforezi kullanılarak karşılaştırılır ve bireylerin DNA profilleri oluşturulur (Mansoor vd.,2020).

Geleneksel olarak, VNTR genotiplleme, tekrarlayan dizilerin genomik analizler için hala zorluk oluşturmaktadır. Örneğin, PCR amplifikasyonu sırasında polimeraz kaymasına bağlı olarak oluşan “stutter hataları” VNTR uzunluğunu değiştirir ve genotiplleme doğruluğunu azaltır. Son zamanlarda, bazı yöntemler VNTR’lerin dizi verilerinden genotiplleme sorununu çözebilmiştir. Pacific Biosciences (PacBio) ve Oxford Nanopore Technologies (ONT) gibi firmalar uzun dizi okuma teknolojileri kullanılarak VNTR’lerin genotiplleme çalışmaları için çaba gösterilmiştir. Bu yöntemler oldukça doğrudan olsa, teknolojiler mevcut nüfus ölçeğinde dizileme için maliyetli olmaktadır. Bu nedenlerle, VNTR’lerin büyük ölçekli çalışmaları ve gen ifadesi ile ilişkileri, SNP’ler gibi diğer insan varyasyon kaynaklarıyla karşılaştırıldığı sınırlı kalmıştır (Bakhtiari vd., 2021).

4.Mitokondriyal DNA

İnsan mitokondriyal DNA’sı, 1963 yılında Margit ve Sylvan Nass tarafından keşfedilmiştir. mtDNA, ökaryot hücrelerin mitokondride bulunan küçük dairesel DNA’dır. mtDNA, doğrudan anneden bebeğe geçtiği için “Eva geni” olarak da bilinir (Mishra, 2017). İnsan mtDNA’sı, 1981 yılında Sanger laboratuvarı tarafından Cambridge’de dizilenen ilk insan genomunun önemli bir parçasıdır. İnsanlarda 16,569 baz çiftinden oluşur ve 37 geni kodlar. mtDNA’nın kodladığı 13 gen, normal mitokondriyal fonksiyon için önemlidir ve oksidatif fosforilasyon sürecinde enzim üretimine katkıda bulunur. Geri kalan genler ise tRNA ve rRNA üretimini sağlar, bu da amino asitlerin işlevsel proteinlere dönüşümünde yardımcı olur. mtDNA’nın replikasyon orjini bölgesi olan kontrol bölgesi ‘D-loop’ olarak adlandırılır ve adli soruşturmalarda kullanılmak üzere yüksek düzeyde polimorfizme sahiptir. Bu bölgenin uzunluğu 1100 baz çiftidir ve HVR-I ve HVR-II olarak adlandırılan iki bölge içerir (Mishra, 2017)..

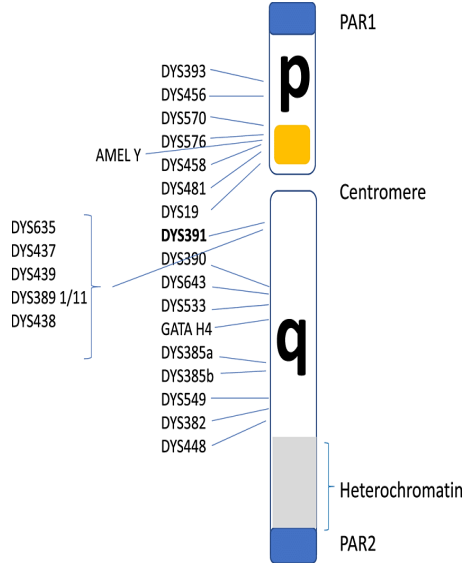
Mitokondriyal DNA analizi ise kimliği belirlenememiş cesetler, saç telleri ya da ileri derecede bozulmuş DNA örnekleri gibi düşük düzeyde çekirdek DNA’sı içeren örneklerin incelenmesinde önemlidir. Adli çalışmalarda genellikle kan yada epitelyal hücreler tercih edilir. Bu sayede, düşük miktardaki örneklerde bile tespit son derece hassas hale gelir. mtDNA genomunun bazı bölgeleri, tek kopyalı nükleer genlere göre 5-10 kat daha hızlı evrimleştiği gözlemlenmiştir. Bu bölgeler, daha yüksek mutasyon hızı

nedeniyle hipervaryabiliteye sahip oldukları için insan kimlik testleri için ilgi çekicidir (Sultana ve Sultan., 2018).

Günümüzde mitokondriyal DNA analizinin kullanıldığı en iyi bilinen adli vaka, Çarlık Rusya'sındaki imparatorluk ailesi olan Romanov ailesinin kayıp iki çocuğunun kimliğinin belirlenmesidir. Bu çalışmada Y-STR analizi ile birlikte mtDNA analizi de kullanılmıştır. Yekaterinburg yakınındaki toplu mezardan Romanov ailesinin üyelerinden alınan örnekler ile o güne kadar bulunamayan iki çocuklarının araştırılmasına başlanmıştır. Ailenin gömüldüğü yere yakın bir alanda bulunan kemik örneklerinden elde edilen veriler ile aile üyelerine ait veriler karşılaştırıldığında mezarda bulunan iki kişinin Romanov ailesine mensup olan kayıp iki çocuklarına ait olduğu net bir şekilde anlaşılmıştır (Roewer, 2013).

5. Y kromozomu DNA analizi

İnsan Y kromozomunun erkek özgül bölümü, özellikle standart otozomal DNA profilleme çalışmaları yeterli bilgi vermediğinde, adli DNA analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 6). Özellikle Y kromozomu analizi, kadın bir kurbanın DNA'sının bol miktarda bulunduğu, erkek failin ise DNA'sının sınırlı miktarda bulunduğu durumlarda son derece faydalıdır. Örnekler arasında, boşalma olmadan gerçekleşen cinsel saldırılar, vasktomili bir erkeğin cinsel saldırısı, kurbanın tırnakları altında bulunan erkek DNA'sı, kurbanın cildinde veya eşyalarında bulunan erkek temas DNA'sından Y kromozomu analizi kolaylıkla gerçekleştirilebilir (Roewer, 2013).



Şekil 6. İnsan Y kromozomunun yapısal diyagramı, adli DNA çalışmalarında rutin olarak kullanılan PowerPlex Y23 kısa tandem tekrar (STR) lokuslarının göreceli konumlarını tanımlar (Court, 2021).

Bilinmeyen erkek iz vericilerin ata soy hatlarını karakterize etmek için Y-STR'lerden oluşan haplotipler kullanılır. Y-STR haplotip analizi ise, erkek çocukların babalık tayinlerinde, paternal akrabalık testlerinde, tarihi vakalarda ve erkekleri içeren kayıp kişi ve felaket mağdurlarının kimlik tespitinde de kullanılabilir. Y kromozomu polimorfizmleri, otozomal DNA profillemenin bilgi vermediği durumlarda, bilinmeyen iz vericilerin veya kayıp kişilerin paternal biyocoğrafik kökenini belirlemek için de kullanılır (Sultana ve Sultan., 2018).

Özellikle erkeklerin ve kadınların bir arada bulunduğu durumlarda, örneğin cinsel saldırı vakalarında, Y-STR haplotiplendirme ile incelenebilir. Bu yöntem, adli soruşturmada erkek şüphelileri ayırt etmede, erkek failin ata soy hattını belirleme, iz üzerinde birden fazla erkek katkısını tespit etme ve bilinmeyen erkek faili bulma konusunda yardımcı olur. Ayrıca Y-STR haplotip analizi, erkek çocukların babalık anlaşmazlıklarında, paternal akrabalık testlerinde, tarihi vakalarda ve erkekleri içeren kayıp kişi ve felaket mağduru kimlik tespitinde de kullanılabilir (Kaysar, 2017).

Y Chromosome Haplotype Reference Database (YHRD), Almanya Berlin'deki Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü'nde barındırılan en büyük adli Y kromozomu haplotipi veritabanıdır. Bu veritabanı, 850'den fazla popülasyonda örneklenen yaklaşık 115.000 haplotipi içermektedir. Benzer şekilde, Empirical Population Genetics (EMPOP) veritabanı, Avusturya Innsbruck'taki Adli Tıp Enstitüsü'nde barındırılan en büyük adli mtDNA veritabanıdır ve 63 ülkede örneklenen yaklaşık 33.000 haplotipi içermektedir. YHRD'ye 235'ten fazla enstitü, EMPOP'a ise 105 enstitü veri sağlamıştır, bu da dünya genelinde adli bilim enstitüleri arasında yaygın bir işbirliği olduğunu göstermektedir. Bu geniş veritabanları, bir hedef DNA profili ile coğrafi olarak işaretlenmiş Y kromozomu veya mtDNA profilleri koleksiyonu arasında arama yapıldığında ek istihbarat bilgilerinin elde edilebilmesini sağlar. Bu tür analizler, doğrusal olarak kalıtılan markerlar olduğu için soy ağaçlarının ve aile ilişkilerinin belirlenmesinde büyük önem taşır (Roewer, 2013).

6. X STR Analizi

Geçmişte, X STR analizleri otozomal STR ve Y STR analizlerine kıyasla daha sınırlı bir kullanım alanına sahipti. Ancak, yakın zamanda X STR analizleri, bazı özel durumlarda yararlı bilgiler sağlayabilen bir araç olarak değer kazanmıştır. Özellikle büyük anne-torun ilişkisinin belirlenmesi ve çocuğun kız olduğu durumlarda, anneden örnek almanın mümkün olmadığı babalık testleri gibi özel durumlarda X STR analizleri önemli bir rol oynamaktadır. Büyük anne-torun ilişkisini belirlemek genellikle zor olabilir çünkü anne örneği alınamamış veya yeterli değildir. Bu durumda, X STR analizi kullanılarak büyük anne ve torun arasındaki genetik ben-

zerlikler incelenir. X kromozomunda bulunan genetik markerlerin analizi, büyük anne ve torun arasındaki olası ilişkiyi destekleyebilir veya reddedebilir (Alakoç, 2010).

DNA Parmak İzinin Çalışma Prensipleri

Adli DNA fenotipleme, suç olaylarının çözülmesi için hayati öneme sahip bir süreçtir. Suç mahallinden veya olay yerinden elde edilen biyolojik materyal ve vücut sıvıları üzerinde gerçekleştirilen DNA analizleri, suçlunun kimliğinin belirlenmesi için kritik bir rol oynar. Bu analizler, polis ve adli birimlere değerli ipuçları sağlayarak soruşturmalara yön verebilir ve suçluların yakalanmasına yardımcı olabilir. DNA parmak izi çalışmalarında aşağıdaki aşamalar takip edilmektedir.

1.Örnek Toplama: Doğru örneklerin suç mahallinden toplanması büyük önem taşır. Şüpheli veya mağdurdan alınan biyolojik örneklerin olay yerindeki örneklerle karşılaştırılması, şüpheli kişinin olayla ilişkisi hakkında bilgi sağlar. DNA analizi için olay yerinden, kan, tükürük, meni, kan, saç kökü, epitel hücreleri gibi mağdur ve şüpheliden biyolojik örnekler alınır. Doğru bir şekilde toplanmış, etiketlenmiş ve korunmuş biyolojik örnekler, DNA analizi için laboratuvara gönderilir. Analiz sürecinde, örneklerin bütünlüğü ve kalitesi önemlidir. Laboratuvarlar, standartlarına uygun protokoller kullanarak örneklerin analizi yapılır ve sonuçlar raporlanır. Olay yerinden biyolojik örneklerin doğru bir şekilde toplanması, saklanması ve laboratuvara gönderilmesi süreçlerinde yapılan hatalar, DNA analiz sonuçlarını olumsuz etkileyebilir ve adaletin gecikmesine neden olabilir (Açıkgöz vd.,2002).

2. DNA Ekstraksiyonu: İlk ham DNA ekstraksiyonu, İsviçreli Doktor Friedrich Miescher tarafından 1869 yılında gerçekleştirilmiştir. Lökositlerden proteinler araştırılırken tesadüfen çekirdekte DNA'yı saflaştırmış ve bu maddenin proteinlerden temel olarak farklı bir özelliğe sahip olduğunu keşfetmiş ve "nüklein" terimini kullanmıştır. DNA, klinik örneklerden (ince iğne aspirasyonları, biyopsi örnekleri), adli örneklerden (kurumuş kan lekeleri, yanak sürüntüleri, parmak izleri) ve çeşitli kaynaklardan (toprak, bitki ve hayvan dokusu, böcekler, protozoalar, bakteriler ve mayalar) izole edilebilir (Dairawan ve Shetty, 2020). Farklı biyolojik örneklerden izole edilen DNA, DNA dizileme, polimeraz zincir reaksiyonu (PCR), kantitatif PCR (qPCR), Southern blotting, rastgele polimorfik DNA amplifikasyonu (RAPD), genom kütüphaneleri için hazırlık, amplifiye edilmiş fragment uzunluk polimorfizmi (AFLP), restriksiyon fragment uzunluk polimorfizmi (RFLP), kısa tandem tekrar polimorfizmi (STRP), tek nükleotid polimorfizmi (SNP) ve değişken sayıda tandem tekrar (VNTR) analizi için kullanılabilir (Dairawan ve Shetty, 2020).

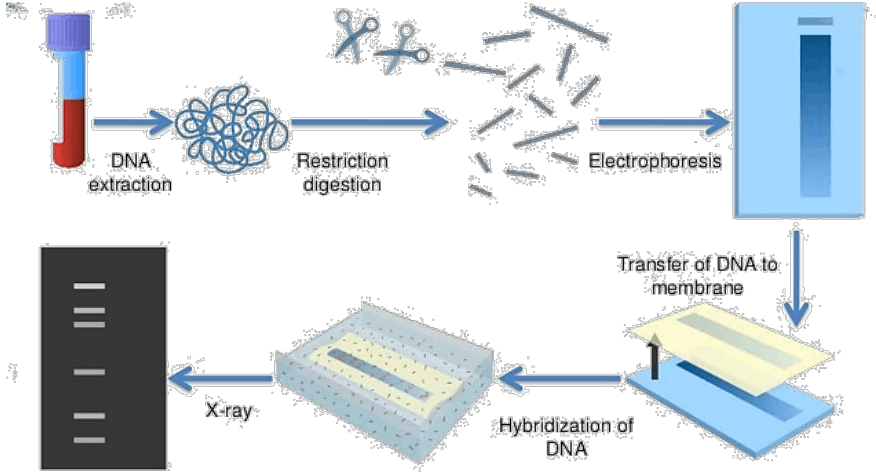
3. Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR): Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR), DNA'nın belirlenmesi amacıyla ilk kez 1985 yılında Kary Mullis tarafından keşfedilmiştir. Bu yüksek hassasiyete sahip ve spesifik bir teknik olarak tanımlanmıştır ve Mullis, bu buluşunun tanı ve araştırma alanlarında devrim niteliği taşıması nedeniyle Nobel Ödülü'ne layık görülmüştür (Kahya vd., 2013). PCR, genellikle 30 kez tekrarlanan sıcaklık döngüleriyle gerçekleşen bir işlem olup, ilk adımı şablon DNA, uygun iki oligonükleotid primer, DNA polimeraz, deoksiribonükleozid trifosfatlar ve bir tamponun karıştırılmasıdır. Karışım oluşturulduktan sonra, denatürasyon, eşleşme ve sentezin gerçekleşmesine izin veren sıcaklık döngüleriyle çoğaltma gerçekleştirilir. Elde edilen ürün daha sonra uygun bir jel üzerinde gösterilir ve verimlilik ile özgüllük açısından incelenir. PCR'in sırasıyla temel basamakları (Atawodi vd.,2010).

Adli PCR analizi için kullanılan işaretleyici sistemlerin değerli bir özelliği, bu analizin ayırıcı gücünü belirleyen yüksek düzeyde dizi değişikliğidir. Adli DNA analizinin ayırıcı gücünü artırmak için PCR yöntemleriyle kullanılabilir birçok DNA polimorfik bölge bulunmaktadır (Atawodi vd.,2010). Adli DNA analizinin temel amacı, biyolojik kanıt örneğinin kimlik tespitini elde etmektir. Biyolojik kanıt örneklerindeki DNA polimorfizmlerini tespit etme yeteneği, adli biyolojide devrim yaratmıştır. Restriksiyon parça uzunluk polimorfizmi (RFLP) analizi ve bireye özgü DNA parmak izler gibi yöntemler genellikle adli kanıtlardan yeterli miktarda DNA gerektirirken, PCR tekniği çok daha az DNA miktarıyla başarılı bir tespit sağlamaktadır. Bu sayede, sperm lekeleri, kan lekeleri, tek tüy ve epitelyal hücrelerden DNA toplama sonuçları elde edilebilmektedir ve bu sonuçlar suç dosyalarının kesin çözümünde kullanılabilir (Atawodi vd.,2010).

4. Jel Elektrofrez: Elektrofrez, sıvı içerisinde çözülmüş moleküllerin belirli bir elektrik alanında hareket ettirilmesiyle ilgili bir tekniktir. Bu teknik, Ferdinand Frederic Reuss tarafından 1807 yılında ortaya konulmuştur ve 1900'lerin başında elektrofrez olarak adlandırılmıştır. Elde edilen DNA parçaları elektrofrez ile görünür hale getirilmiştir. Bu sayede ortamda bulunan DNA'lar görünür hale getirilir, birbirleri ile karşılaştırılabilir ve bu sayede görsel kanıtlar elde edilmiş olur (Magdeldin, 2012).

5. DNA Profil Analizi: 1985 yılından bu yana, adli bilimde DNA profil analizi hızla gelişen ve önemli ya da küçük suçları çözen önemli bir teknik haline gelmiştir. Bu yenilik, şu anda 700.000'den fazla örneği içeren İngiltere Ulusal DNA veritabanının oluşturulmasına önder olmuştur (Gill vd., 2001). DNA profil analizinin 1985 yılında Jeffreys ve çalışma arkadaşları tarafından keşfedilmiştir. Bu yöntem ile geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha fazla derecede bireyler arasında ayırım yapma imkânı sağlanmıştır. DNA profil analizinin muhtemelen en önemli adli uygulama

ması, tecavüzcülerin tespitidir. Orijinal protein tabanlı yöntemler, vajinal sıvı ve meninin enzim ve kan grubu aktivitesine sahip olmaları nedeniyle yorumlanması zor karışımlara yol açmıştır. Ancak, DNA ile yapılan erken deneyler, sperm hücrelerini diğer hücre materyalinden ayrı bir şekilde ayırmanın nispeten kolay olduğunu göstermiş, erkek ve dişi bileşenleri ayırarak yorumlamayı basitleştirmiştir (Gill vd.,2001).



Şekil 7. DNA parmak izi görüntüsü (<https://www.molekulce.com/dna-profilleme/>)

DNA profil analizinin tanıtılmasından bu yana, teknik şüphesiz adli bilim laboratuvarlarının çalışma şeklini devrim niteliğinde değiştirmiştir. DNA profil analizinin gelişimi son on yılda da büyük bir ivme kazanmıştır. Özellikle polimeraz zincir reaksiyonunun keşfi, orijinal yöntemlere uygun olmayan çok küçük suç izlerinin analizini de içeren yeni olasılıkların kapılarını açmıştır. Ayrıca, bu teknikler önemli ölçüde daha hızlı ve daha ucuzdur ve bu da 1995 yılında İngiltere Ulusal DNA veritabanının oluşturulmasını sağlamıştır. Yakın bir gelecekte, bu veritabanının birkaç yıl içinde milyonlarca DNA profilini içereceği öngörülmektedir. Yeni teknolojilerin hızlı bir şekilde uygulanma hızı devam etmektedir. Şüphesiz, birkaç yıl içinde, yeni teknikler daha hızlı analiz yöntemlerine olanak sağlayacak ve buna bağlı olarak maliyetlerin azalması gibi avantajlara sahip olacaktır. Adli bilimde DNA profil analizinin kullanımı, bugün olduğundan çok daha yaygın hale gelecektir (Gill vd.,2001).

6. Karşılaştırma ve Eşleştirme: DNA örneği, olayla ilgili bir soruşturma kapsamında incelenmek üzere kalite ve miktar açısından değerlendirilir (Alakoç.,2010). Olay yerinden elde edilen biyolojik materyalin DNA profili, daha önce belirlenmiş olan olayla ilgili kişilere ait DNA profilleriyle karşılaştırılır. Bu kişiler, soruşturmanın odaklandığı potansiyel şüpheliler veya kurbanlar olabilir. Karşılaştırma işlemi, örneğin DNA di-

ziliimlerindeki benzerlikler veya farklılıklar üzerinden gerçekleştirilir. Karşılaştırma sonuçlarına dayanarak, DNA analizi raporu oluşturulur. Rapor, laboratuvarın bulgularını, analiz yöntemlerini ve sonuçları ayrıntılı bir şekilde açıklar. Rapor, olayın soruşturma aşamasında önemli bir kanıt sunar ve adli makamların karar süreçlerinde kullanılır. Bu nedenle, DNA analizi raporları, hukuki süreçlerde adil ve güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi için titizlikle hazırlanır (Alakoç, 2010).

DNA Parmak İzinin Kullanım Alanları

DNA molekülü, içerdiği genetik bilgiler nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır. Sağlık alanında, kalıtsal hastalıkların analizi için kullanıldığı gibi, adli bilimlerin alanında da suçluların tespiti için önemli bir araç olarak görev yapmaktadır. Adli vakalarda, DNA analiz yöntemleri kullanılarak, kimliği belirsiz kişilerin kimliklendirilmesi, babalık ve annelik davalarının çözülmesi, felaket kurbanlarının kimliklendirilmesi ve suçlu tarafından olay yerinde bırakılan biyolojik materyaller aracılığıyla suçlunun kimliğinin belirlenmesi gibi birçok alanda faydalanılmaktadır (Çetli vd., 2019).

Bir toplumun genetik yapısındaki farklılıklar ve varyasyonlara genetik polimorfizm denir. Bir lokus bölgesinin polimorfik olarak adlandırılması için o bölgede toplum içinde iki veya daha fazla allel bulunması gerekmektedir. Kişiler arasındaki bu farklılıklar, yani polimorfizm, önemli bir bilgi kaynağıdır. Olay yeri incelemelerinde toplanan biyolojik maddelerden kimlik tespiti yapılırken veya akrabalık ilişkileri belirlenirken, polimorfizm araştırmacılara önemli katkılar sağlamaktadır. Adli seroloji ve adli hemogenetik, bu konular üzerinde çalışan bilim dallarıdır. Adli antropoloji ve adli genetik ise adli bilimlerin diğer alt dalları arasında yer almaktadır. Bu bilim dalları, suç olaylarının çözülmesinde, suçlu veya kayıp kişinin belirlenmesinde, maktul, mağdur ve olay yeri arasındaki ilişkinin kurulmasında sıkça kullanılmaktadır. Adli antropoloji, iskelet kalıntıları, yumuşak doku ve kişisel veriler üzerinden çalışırken, adli genetik ise DNA materyallerinin PCR tabanlı analiziyle çalışmaktadır (Çetli vd., 2019).

Adli DNA Veritabanlarının Faydaları ve Riskleri

İlk adli DNA veritabanı 1995 yılında İngiltere’de kurulmuştur. Bunun gibi bir DNA veritabanından yapılan eşleşme, bir suç yeri örneğini, bir veritabanına sağlamış bir suçluyla bağlantı kurmak için kullanıldığında genellikle soğuk isabet olarak adlandırılır. Soğuk isabet, polis ajansında şüpheliye yönelik bir soruşturma için önemli bir ipucudur. Dünya genelindeki en büyük DNA veritabanlarına sahip ülkeler Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere’dir. Ulusal DNA veritabanı olan tüm ülkelerde, veritabanına kayıtlı kişilerin oranı artmaktadır. Oranlar değişiklik gösterebilir.

Örneğin, İngiltere’de nüfusun yaklaşık %10’u ulusal DNA veritabanında bulunurken, Almanya ve Hollanda’da sırasıyla %0,9 ve %0,8’dir (Roewer, 2013).

Adli DNA veritabanlarının boyutu sürekli olarak büyümekte ve bu büyük kişisel veri koleksiyonlarının dahil edilme ve saklanma kriterleri üzerinde sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu durum, verimlilik, uygunluk ve gizlilik ihlali konularında şüpheleri beraberinde getirmektedir. Artık sadece ciddi suçlar değil, tüm suçlar DNA analizine tabi tutulmaktadır ve bu da milyonlarca DNA profili üretmektedir. Bu profillerin birçoğu ulusal DNA veritabanlarında saklanmakta ve sürekli olarak aranmaktadır (Roewer, 2013). Büyük veri kümeleri toplandığında, korelasyona dayalı madencilik yöntemleri kullanılabilir hale gelmektedir. Örneğin, “Ailevi DNA Veritabanı Arama” adlı yöntem, suç mahalli örneği ile veritabanındaki bir kişi arasında yakın eşleşmeleri bulmayı hedeflemektedir. Bu, gerçek suç işleyicisinin yakın bir akrabası olabilecek bir kişiyi işaret edebilir. Bazı ülkelerde, polis sadece mahkûm olan bireylerin değil, suçlama yapılmamış, suçsuz olduğu kanıtlanmış veya hiçbir suçlamaya maruz kalmamış masum insanların da DNA profillerini toplamasını veri tabanında saklanmasını eleştirilmektedir (Roewer, 2013).

Bu nedenle, çok büyük DNA koleksiyonlarının faydaları ve riskleri konusunda halen tartışmalar devam etmektedir. Bu nedenle DNA veritabanlarının geliştirilmesi ve yönetimi için ortak etik ve gizlilik standartlarının benimsenmesi önemli olduğu sıklıkla vurgulanmaktadır (Roewer, 2013).

Sonuç olarak, İnsan vücudu toplam 60 trilyon hücre içerir. İnsan diploid hücresi 23 çift kromozom içerir. DNA kodunun yaklaşık %99’u tüm insanlarda aynıdır. DNA parmak izinin temeli olan %1’lik kısım kodlanmayan bölgede yer alır. DNA parmak izi, genom dizileme ile karıştırılmamalıdır. İnsan DNA dizilerilerinin %99’u her hücrede aynı olmasına rağmen, birini diğerinden ayırt edecek %1’lik bir farka sahiptir (Singla vd., 2017). DNA molekülü ve DNA analiz yöntemleri, sağlık alanında hastalık analizlerinde ve adli bilimler alanında suçluların tespitinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu bilgi ve teknikler, adli soruşturmalarda, kimlik tespiti, akrabalık ilişkilerinin belirlenmesi ve suçlunun kimliğinin saptanması gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Çetli vd.,2019). Bununla birlikte, farklı ülkelerde ulusal yasal düzenlemelerin farklılıkları ve etik konular gibi bazı engellerin aşılması gerekmektedir. Bu gelişmelerle birlikte, DNA parmak izi teknolojisinin daha kullanışlı, doğru ve basit hale getirilmesi için çalışmalar devam etmektedir (Roewer, 2013).

KAYNAKÇA

- Açıkgoz N, Hancı İ.H ve Çakır A.H. (2002). *Olay Yerinden DNA Analizi İçin Biyolojik Örnek Toplama Ve Örneklerin Laboratuvara Gönderilme Usulleri*. Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 51(2), 119-206.
- Alakoç, Y.D. (2010). *Adli Bilimlerde DNA Analizleri*, Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi, 9 (2), 1-8.
- Atawodi S.E, Atawodi J.C, Dzikwi A.A. (2010). *Polymerase chain reaction: Theory, practice and application: A review*, Sahel Medical Journal, 13 (2), 45-63.
- Bakhtiari M, Park J, Ding Y-C, Shleizer-Burko S, Neuhausen S.L, Halldórsson B.V, Kári Stefánsson K, Gymrek M, Bafna V. (2021). *Variable number tandem repeats mediate the expression of proximal genes*, Nature Communications, 12 (1), 1-12.
- Court D.S. (2021). *The Y chromosome and its use in forensic DNA analysis, Emerging Topics in Life Sciences*, 5 (3), 1-15.
- Çetli E, Tatar D., ve Özkoçak V. (2019). *Adli Bilimlerde DNA Parmak İzine Adli Genetik ve Adli Antropolojik Bakış*. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(4), 1545-1556.
- Dairawan M ve Shetty, P.J. (2020). *The evolution of DNA extraction methods*, American Journal of Biomedical Science and Research, 8(1), 39-45.
- Delice M, Duman A, Özel Ş.A. (2014). *Parmak İzi Tipi İle Suç Türü Arasındaki İlişkinin İncelenmesi*, Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi, (43), 3-27.
- Fan H ve Chu, J.Y. (2007). *A brief review of short tandem repeat mutation*. Genomics, Proteomics & Bioinformatics, 5(1), 7-14.
- Garcia D ve Miño K. (2017). *DNA fingerprinting*, Bionatura, 2(4), 477-480. DOI.10.21931/RB/2017.02.04.12
- Gill P, Sparkes R, Tully G. (2001). *DNA Profiling ,in Forensic Science, Encyclopedia of Life Science*, 1-8.
- Holder Jr, E.H, Robinson L.O, Slowikowski, J. (2013). *The Fingerprint (Sourcebook)*, US Department of Justice Office of Justice Programs, National Institute of Justice, 1-422.
- <https://twain.lib.virginia.edu/wilson/galtonfp.html>
- <https://www.bcgsc.ca/news/straglr-new-software-tool-targeted-genotyping-and-repeat-expansion-detection>
- <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Single-Nucleotide-Polymorphisms>
- Jeffreys A.J. (2013). *The man behind the DNA fingerprints: an interview with Professor Sir Alec Jeffreys*, Jeffreys Investigative Genetics, 4 (21), 1-7.

- Kahya S, Buyukcangaz E, Carlı K.T. (2013). *Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) optimizasyonu*, Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 32(1), 31-38.
- Kaushal, N ve Kaushal, P. (2011). *Human identification and fingerprints: a review*, Journal of Biometrics & Biostatistics, 2 (4), 1000123. DOI: 10.4172/2155-6180.1000123
- Kayser M. (2017). *Forensic use of Y-chromosome DNA: a general overview*. Human Genetics, 136 (5), 621-635.
- Kern J. (2017). *Fingerprinting: A Study in Cognitive Bias and its Effects on Latent Fingerprint Analysis” Undergraduate Honors College Theses*, 2016-. 32, https://digitalcommons.liu.edu/post_honors_theses/32.
- Magdeldin S. (2012). *Gel Electrophoresis-Principles and Basics*, InTechOpen, 15-32.
- Mansoor S.K, Hussein E.F, Ibraheem A.K. (2020). *Use the Variable Number of Tandem Repeats (VNTR) in DNA fingerprinting and its application biological sciences*. EurAsian Journal of BioSciences, 14 (2), 2835-2839.
- Mathur R, Rana B.S, Jha K.A, (2018). *Single Nucleotid Polymorphism (SNP)*, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018J. Vonk, T. K. Shackelford (eds.), Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior, https://doi.org/10.1007/978-3-319-47829-6_2049-1.
- Mishra A. (2018). *Mitochondrial DNA*, Springer International Publishing AG, J. Vonk, T.K. Shackelford (eds.), Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior, https://doi.org/10.1007/978-3-319-47829-6_162-1
- Roewer L. (2013). DNA fingerprinting in forensics: Past, Present, Future. Investigative Genetics, 4 (1), 1-10.
- Singla K, Rani Y, Kumar K, Panchal K, Sing R.K, Chouskey V. (2017). *DNA Fingerprint*, European Journal Of Pharmaceutical and Medical Research (EJPMR), 4 (8), 244-246.
- Sultana G.N.N ve Sultan M.Z. (2018). *Mitochondrial DNA and methods for forensic identification*. Journal of Forensic Science and . Criminal, Investigation, 9(1), 1-5.
- Taylor T. (2011). What Is STR Analysis, NIJ Journal, 267, 1-4.



BÖLÜM 6

FARKLI ÖZELLİKTE BOR TOZLARININ MGB₂ KÜLÇE SÜPERİLETKENİNİN MANYETİK KALDIRMA KUVVETİ ETKİSİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Burcu SAVAŞKAN¹

Sait Barış GÜNER²

¹ Energy Systems Engineering, Faculty of Technology, Karadeniz Technical University, 61830 Of, Trabzon, Turkey.

*E-mail: bsavaskan@ktu.edu.tr

² Department of Physics, Faculty of Arts and Sciences, Recep Tayyip Erdogan University, 53100 Rize, Turkey.

1. Giriş

Magnezyum diborür (MgB₂) ilk olarak 1954 yılında Morton E. Jones ve Richard E. Marsh tarafından keşfedilen intermetalik bir bileşiktir. Süperiletken özelliği, 2001 yılında, Japonya'nın Sendai kentinde düzenlenen "Symposium on Transition Metal Oxides" kongresinde, Akimitsu ve ekibinin, MgB₂ metal alaşımının 39 K geçiş sıcaklığında süperiletken olduğunu açıklamasıyla duyuruldu [1,2]. BCS tipi olarak bilinen ve bakır oksit içermeyen süperiletkenlerde geçiş sıcaklığının limiti Nb₃Ge bileşiğinde 23 K idi. MgB₂ bileşiğinde elde edilen bu sonuç, intermetalik bileşikler için bilinen en yüksek geçiş sıcaklığıdır. Özellikle son yirmi yılda bilim camiasında büyük ilgi gören MgB₂ süperiletkeni endüstriyel uygulamalar için mükemmel bir seçenek olmasının yanı sıra iki bantlı yapısı ile süperiletkenlik mekanizması hakkında bilgi vermektedir. MgB₂, doğada bolca bulunan iki element, Magnezyum ve Bor'dan meydana gelir. Cu-tabanlı yüksek sıcaklık süperiletkenlerine (HTS) kıyasla daha az sayıda elemente sahip olduğundan daha kolay ve ucuz sentezlenir. HTS'lere kıyasla daha büyük koherens uzunluğuna ($ab(0) = 37,120 \text{ \AA}$ and $c(0) = 16-36 \text{ \AA}$) sahiptir [3,4]. Bu nedenle süperiletken olmayan katkılar, kusurlar, tane sınırları ve boşluklar gibi büyük boyutlu kusurlar etkili akı çivileme merkezi görevi görebilirler [5]. Süperiletkenler arasında en düşük külçe yoğunluğuna ($\rho = 2.55 \text{ g/cm}^3$) sahiptir, yani hafiftir. MgB₂'deki tane sınırları Cu-tabanlı HTS'lerdeki gibi zayıf bağlantılar değil güçlü akı çivileme görevi görürler, bu nedenle çok kristalli MgB₂ örnekleri iyi akım taşıma yeteneği gösterirler [6,7]. Bu özellik bileşiğin standart seramik üretim yöntemleri kullanılarak büyük boyutlu ve seri üretimine olanak sağlar. MgB₂ taneleri arasında zayıf bağlantı olmaması, alansız ve 20 K sıcaklığında 105 A/cm²'nin üzerinde yüksek kritik akım yoğunluğuna (J_c) sahip örnek üretimine olanak sağlar [7]. Ancak artan manyetik alanla J_c 'nin hızlı bir şekilde azalması, MgB₂'nin süper-mıknatıs, süperiletken motor ve süperiletken jeneratör gibi endüstriyel süperiletken tel ve külçe uygulamalarındaki kullanımını sınırlayan temel problemdir [8]. Diğer bir problem ise, bileşiğin yüksek higroskopik özellik sergilemesi ve Mg elementinin yüksek buharlaşma özelliği nedeniyle yapısında heterojen dağılım gösteren MgO oluşumu ve stokiyometride meydana gelen kaymalardır. Bu sorunların çözümü için yüksek basınç gerektiren Hot Pressing (HP), Spark Plazma Sintering (SPS), Capsule Metod, Mg difüzyon esaslı Infiltration Growth (IG), Reactive Liquid Infiltration (RLI) gibi yenilikçi üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemler yüksek basınçlı fırın ve sıvı Mg kullanımı gerektirdiğinden oldukça yüksek maliyetli, tehlikeli ve seri üretime uygun değildir. Bu nedenle pek çok araştırma grubu sorunun çözümünde farklı bir yaklaşım olarak geleneksel yöntem olarak adlandırılan "In-situ" yöntemini optimize etmişlerdir. Geleneksel yöntemlerde sin-

terleme sıcaklığı, sinterleme süresi, ısıtma sırasında kullanılan Ar gazı basıncı, başlangıç tozlarının saflığı, tane boyutu, tozların kristalinitesi gibi pek çok parametre MgB₂ faz oluşumu üzerinde oldukça etkilidir [9-14]. Bu çalışmada amacımız, başlangıçta kullanılan Bor tozunun kristalinitesi, saflığı ve tane boyutunun MgB₂ nin yapısal, manyetik ve elektriksel özellikleri üzerine etkisini araştırarak MgB₂ fazı oluşumu için en uygun Bor tozunu belirlemektir.

2. Deneysel Yöntem

2.1. MgB₂ Külçe Örneklerin Üretilmesi

Yüksek kalitede ve farklı özellikte Bor tozları ülkemizi yurtdışında başarı ile temsil eden Pavezyum Teknik Seramik firmasından temin edildi. Bor tozlarının saflıkları, kristal özellikleri ve tane boyutları Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Pavezyum (PAVTEK) firmasından temin edilen Bor tozlarının saflık, tane boyutu ve kristal özellikleri.

Örnek Adı	Kristal Yapısı	Tane Boyutu	Saflık (%)
B1	Amorf	d50 < 1.5 mikron	% 86–88 B, < %12 Mg
B2	Amorf	d50 < 1 mikron, 325 mesh	% 86–88 B, < %12 Mg
B3	Amorf	d50 < 1 mikron, 325 mesh	% 87–89 B, < %11 Mg
B4	Amorf	d50 < 1 mikron	% 90–92 B, < %6 Mg
B5	Amorf	d50 < 800 nm, 325 mesh	% 91–93 B, < %5 Mg
B6	Amorf	d50 < 1 mikron	% 95–97 B, < %1.5 Mg
B7	Amorf	d50 < 800 nm	% 95–97 B, < %1.5 Mg
B8	Kristal	d50 < 800 nm	% 95–97 B, < %1.5 Mg
B9	Amorf	d50 < 400 nm	% 99 B

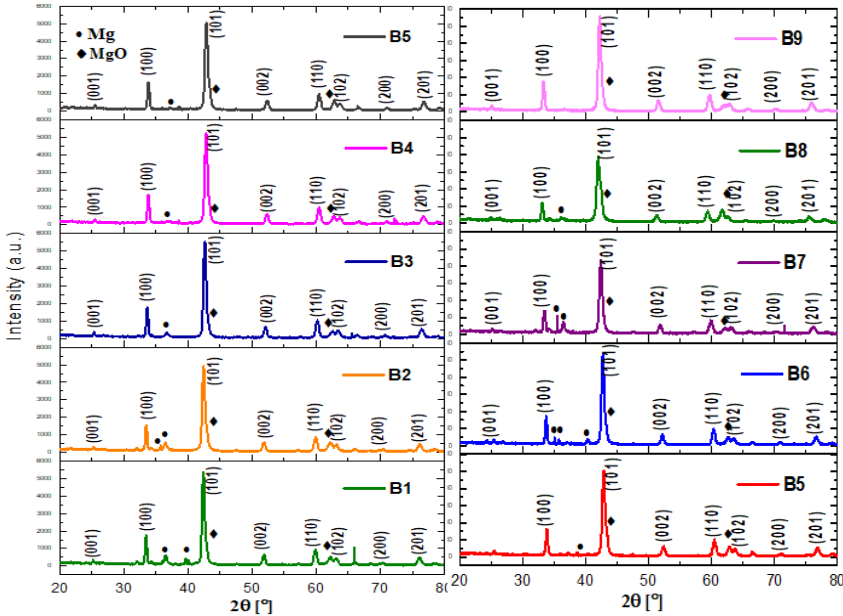
1.5 g lık, 18 mm çaplı silindirik külçe MgB₂ örnekleri geleneksel katı-hal tepkime (*in-situ*) yöntemiyle üretildi. Bu yöntemde elemental Mg tozu (Alfa Aesar, -325 mesh) ve amorf nano-B (Pavezyum, %99.8 saflıkta) tozu uygun stokiometrik oranlarda (Mg:B = 1:2) birbirine eklenip agat havanda, hava ortamında bir saat boyunca homojen karışım elde etmek için karıştırıldı. Magnezyumun yüksek buharlaşma özelliği de dikkate alınarak toplam miktar üzerinden %10 daha fazla Mg eklendi ve toplam

toz kütlesi 1,65 gr'a yükseldi. Fazla Mg eklenmesi, taneler arası bağlantıyı arttırıp, mikroçatlakları azaltarak iletkenliği arttırdığı bilinmektedir [4, 15]. Toz karışım 18 mm çapında silindirik kalıpta 10 ton basınç altında preslendi. Pellet haline getirilen örnekler Ti folyoya sarıldı ve ısıl işlem için paslanmaz Cr tüp içerisine yerleştirildi. Yirmi dakika boyunca tüpün ve bağlantı borularının vakumu (10^{-2} bar) alındı. Tüp fırın içine yerleştirildi ve argon (Ar) atmosferinde 3 saat süresince sinterlendi.

3. Bulgular

3.1. XRD Analizi

Örneklerin kristal özellikleri ve faz kompozisyonlarını karakterize etmek için X-ışını kırınımı (XRD) kullanıldı. MgB_2 külçe örneklerinin x-ışınları kırınım desenleri Rigaku D/ Max-III difraktometresinde CuK_{α} ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$, 40 kV, 30 mA) ışınımı kullanılarak elde edildi. Tüm ölçümler, oda sıcaklığında, $20^{\circ} \leq 2\theta \leq 80^{\circ}$ aralığında, $0,2^{\circ}/dk$. tarama hızında yapıldı. Şekil 1, dokuz farklı özellikte Bor tozu kullanılarak üretilen külçe MgB_2 örneklerinin X-ışını kırınımı desenlerini göstermektedir. Tüm örneklerde MgB_2 süperiletken faz oluşumunun gerçekleştiği ve yapıda az miktarda MgO ve reaksiyona girmemiş Mg safsızlık fazlarının oluştuğu gözlemlendi. Bu durum, yapıda MgB_2 reaksiyonuna katılmayan Mg elementinin varlığını belirtir.

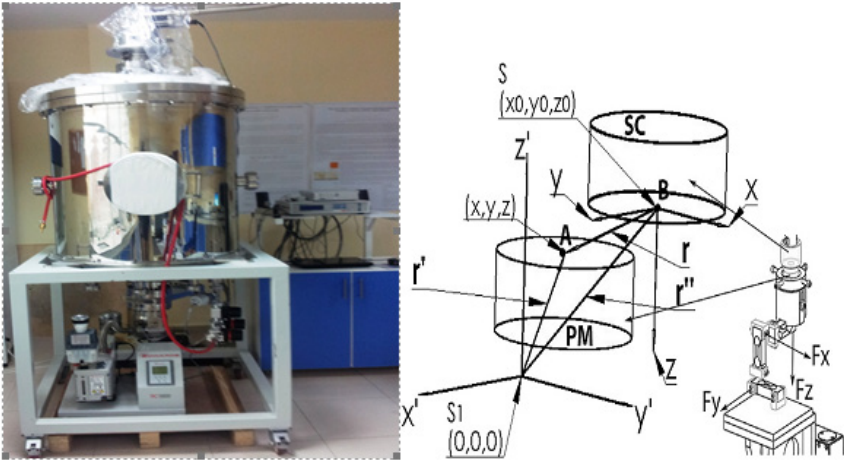


Şekil 1. Farklı özellikte Bor tozu kullanılarak üretilen külçe MgB_2 örneklerinin X-ışını kırınımı desenleri.

Literatürde pek çok çalışma da MgB_2 yapısında Mg eksikliğinin stokiometri kaymasına, dolayısıyla MgB_4 , MgB_7 ve MgB_{12} gibi borca zengin süperiletken olmayan safsızlık fazlarının oluşmasına neden olduğu belirtilmektedir. Zeng ve ark. [16], Ma ve ark. [17] çalışmalarında aşırı Mg eklenmesi ile MgO miktarında belirgin bir azalma gözlemlenmiştir ve Mg'nin, MgB_2 örgüsündeki oksijen alımını kolaylaştırdığı, tane bağlantısını iyileştirdiği ve böylece J_c 'yi arttırdığı sonucuna vardılar. Şekil 1 incelendiğinde, kristal bor tozu kullanılarak üretilen B8 örneğinde, MgB_2 fazına ait (101) ana pik şiddetinin diğer örneklere kıyasla oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Aynı örnekte MgB_2 fazına ait (101), (002) ve (110) pik şiddetlerinde belirgin bir azalma ve düşük açılara doğru kayma görülmüştür. Pik şiddetlerinin azalarak daha küçük açılara kayması ve pik genişlemesi yapı içinde örgü bozukluklarının ve örgü geriliminin arttığını gösterir. Ayrıca B3, B4, B6 ve B9 örneklerinde MgB_2 fazına ait (101) ana pik şiddetinin diğer örneklere kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmiştir. % 99 saflıkta amorf nano-B kullanılarak üretilen B9 örneğinde, MgB_2 piklerinin daha keskin ve şiddetli olduğu görülmektedir. Bu durum, faz saflığı ve kristalitenin bor tozunun saflığına ve tane boyutuna bağlı olduğunu yani yüksek saflık ve nano boyutta kullanılan bor tozunun faz oluşumunu ve faz içeriğini belirlediğini göstermektedir.

3.2. Manyetik Kaldırma Kuvveti Ölçümleri

Düşük sıcaklıklardaki manyetik kaldırma kuvveti ölçümleri, TÜBİTAK tarafından desteklenen 110T622 nolu proje ile tasarlanan [18], 2013/13638 patent numaralı "Düşük Sıcaklık Cryostat Sistemi" kullanılarak RTE Üniversitesi Katihal Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi.



Şekil 2. Manyetik kaldırma kuvveti ölçüm sistemi, deney geometrisi ve süperiletken ile mıknatısın birbirine göre konumları [17].

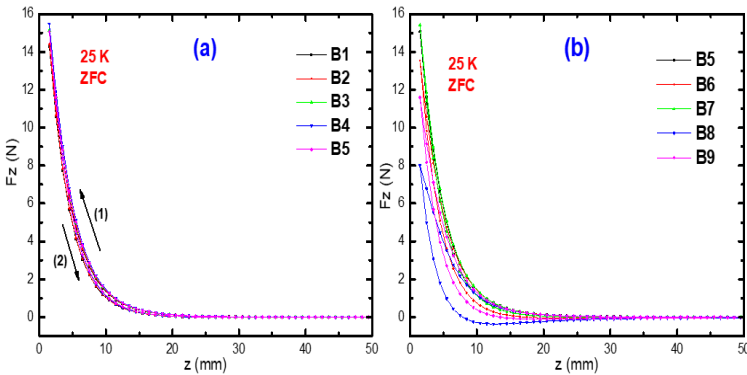
Düşey manyetik kaldırma kuvveti (F_z), mıknatısın üst yüzey merkezi ve örneğin alt yüzey merkezi arasındaki düşey mesafeye bağlı olarak bilgisayar kontrolünde ölçüldü. MgB_2 örnekleri, mıknatısın 50 mm üstündeyken düşey ZFC ölçümleri (Alanlı soğutma) için oda sıcaklığından aşağı soğutuldu. Sonra mıknatıs ile örnek arasındaki minimum uzaklık 1,5 mm olana kadar yükseltildi. FC (Alan altında soğutma) ölçümleri ise, örnekler ve mıknatıs arasındaki mesafe 1,5 mm iken soğutma yapılarak, aradaki mesafenin 50 mm artışı ve tekrar 1,5 mm'ye düşüşü sırasında alınmıştır.

Bir süperiletken ve kalıcı mıknatıs (PM: permanent magnet) arasındaki kaldırma kuvveti, PM'nin manyetik alan gradyenti ve süperiletkenin manyetik momenti ile orantılıdır. Bu yüzden kaldırma kuvveti aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır [19]:

$$F = m (dH/dz), \quad m = M V \text{ ve } M = A J_c r \text{ ifadesiyle verilir.}$$

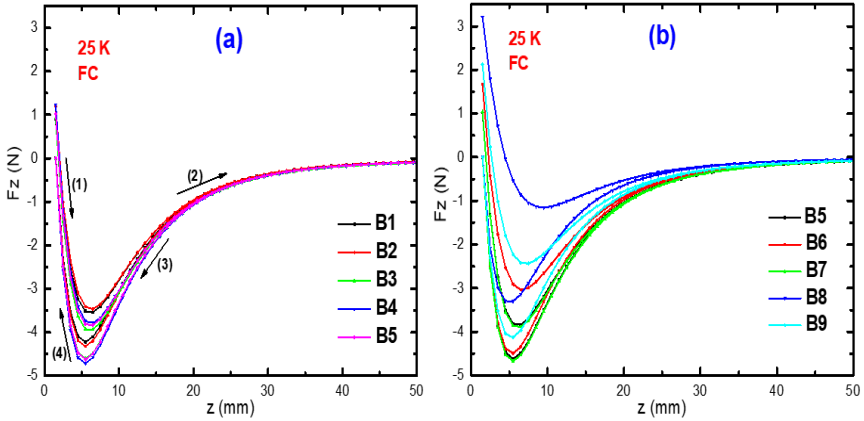
Burada (dH/dz), PM tarafından üretilmiş manyetik alan gradyentidir. Süperiletkenin manyetizasyonu $M = A J_c r$ dir. Burada birim hacim (V) başına manyetizasyon, $m = M V$ olarak tanımlanır, A örnek geometrisine bağlı sabittir, J_c süperiletkenin kritik akım yoğunluğudur, r ise perdeleme akım halkasının yarıçapıdır [19, 20]. Bu eşitlik, yüksek kaldırma kuvveti için mümkün olduğunca büyük r , J_c ve dH/dz 'ye sahip olmak gerektiğini gösterir.

Manyetik kaldırma kuvvetinin en belirgin özelliği süperiletken örnek ve PM arasındaki uzaklık değişirken kaldırma kuvveti değişiminin histeresiz bir davranış sergilemesidir. Histeresiz eğrileri süperiletken örneklerin akı çivileme potansiyelini gösterirken dar döngü daha güçlü çivileme potansiyeline karşılık gelir. Sıcaklık azaldıkça kaldırma kuvveti artar, histeresiz alanı azalır bu durum yüksek kritik akım yoğunluğunun (J_c) ve düşük girme derinliğinin sonucudur [3,21].



Şekil 3. Farklı özellikte Bor tozları kullanılarak üretilen silindirik MgB_2 örneklerinin ZFC rejiminde 25 K sıcaklıkta ölçülmüş, PM ve MgB_2 örnek arasında ki dikey mesafeye (z) karşı dikey kaldırma kuvveti (F_z) grafikleri.

Dokuz farklı özellikte Bor tozu kullanılarak üretilen silindirik külçe MgB_2 örneklerinin $T= 25$ K sıcaklığında ZFC soğutma rejiminde, manyetik kaldırma kuvvetinin (F_z) dikey harekete (z) göre değişim grafiği Şekil 3'te görülmektedir. Şekildeki (1) ve (2) işaretleri sırasıyla, kalıcı mıknatısın (PM) örneğe doğru ve daha sonra örnekten uzağa doğru hareketini gösterir. Mıknatıs süperiletkene doğru hareket ettiğinde, süperiletkenin hissettiği manyetik alan artar ve dolayısıyla dikey kaldırma kuvveti (F_z) de artar. PM ve MgB_2 örnek arasındaki uzaklık azaldıkça dikey kaldırma kuvveti ekponansiyel olarak artar ve aralarındaki uzaklık minimum (1.5 mm) olduğunda maximum kaldırma kuvveti elde edilir (Şekil 3). 25 K ölçüm sıcaklığında tüm örnekler içerisinde en yüksek manyetik itici kuvvet B4 örneğinde 15.48 N olarak ölçüldü. En düşük manyetik kaldırma kuvveti ise kristal Bor tozu kullanılarak üretilen B8 örneğinde 8 N olarak ölçüldü. B8 örneğinin diğer örneklere kıyasla daha geniş histeresiz göstermesi örnek içinde normal bölge yoğunluğunun daha fazla olması ve manyetizasyon özelliğinin diğer örneklerden daha zayıf olmasının sonucudur.



Şekil 4. Farklı özellikte Bor tozları kullanılarak üretilen silindirik MgB_2 örneklerinin FC soğutma rejiminde 25 K sıcaklıkta ölçülmüş, PM ve MgB_2 örnek arasında ki dikey mesafeye (z) karşı dikey kaldırma kuvveti (F_z) grafikleri.

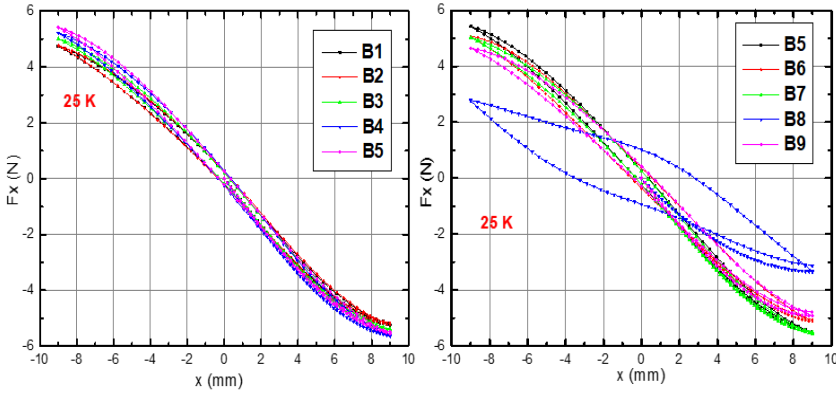
Dokuz farklı özellikte Bor tozu kullanılarak üretilen silindirik külçe MgB_2 örneklerinin $T= 25$ K sıcaklığında FC soğutma rejiminde, manyetik kaldırma kuvvetinin (F_z) dikey harekete (z) göre değişim grafiği Şekil 13'de görülmektedir. Şekildeki (1) ve (2) işaretleri sırasıyla, kalıcı mıknatısın (PM) örnekten uzaklaşırken, (3) ve (4) işaretleri tekrar örneğe yaklaşırken hareketini gösterir. Süperiletken örnek- PM arası mesafe $z = 1.5$ mm iken, normal halden süperiletken hale geçerken örneğin mıknatısın manyetik alanı altında soğutulması FC rejimi (Alanlı Soğutma) olarak adlandırılır. Bu soğutma işleminde manyetik akı örnek içerisinde tuzaklanır. Çekici

(negatif) kuvvet FC rejiminde ZFC rejiminden daha güçlüyken, itici (pozitif) kuvvet ZFC rejiminde FC rejiminden daha güçlüdür.

25 K ölçüm sıcaklığında en yüksek dikey maksimum kaldırma kuvveti B4 örneğinde 15,48 N olarak ölçüldü. Onun hemen arkasından ikinci en yüksek dikey kaldırma kuvveti 15,41 N değeri ile B7 örneğinde tespit edildi. En düşük manyetik kaldırma kuvveti ise kristal bor tozu kullanılarak üretilen B8 örneğinde 8 N olarak ölçüldü. B8 örneğinin diğer örneklerle kıyasla daha düşük kaldırma performansı ve geniş histeresiz göstermesi, örnek içinde normal bölge yoğunluğunun daha fazla olması ve manyetizasyon özelliğinin diğer örneklerden daha zayıf olmasının sonucudur.

Şekil 4'te tüm örnekler içinde en yüksek çekici manyetik kuvvet (negatif kuvvet) değeri B4 örneğinde -4,72 N olarak belirlendi. Onun hemen ardından B7 örneğinde çekici kuvvet -4,67 N olarak ölçüldü. En düşük çekici kuvvete sahip olan örnek ise -3,30 N değeri ile kristal bor tozu ile üretilen B8 örneği olmuştur.

Yatay manyetik kuvvet MAGLEV (Manyetik Olarak Havalanmış Ulaşım Araçları) araçlarında kılavuzlayıcı kuvvettir ve havalanmış araçlarda yatay dengeyi sağlar [22-24]. Maglev sistemlerinin endüstriyel uygulamaları için manyetik kaldırma kuvvetinin yanında, kılavuzlama kuvvetinde artırılması gerekmektedir. Literatür incelendiğinde MgB_2 süperiletkeninde kılavuzlayıcı kuvvet ile ilgili çalışmalar dikey kaldırma kuvveti ile kıyaslandığında oldukça sınırlıdır.



Şekil 5. Farklı özellikte Bor tozları kullanılarak üretilen MgB_2 örneklerinin 25 K sıcaklıkta ölçülmüş manyetik kılavuzlama kuvvetinin (F_x) yatay yerdeğiştirmeye (x) bağlılığı.

Şekil 5, FC rejimi altında külçe MgB_2 örneklerinin yatay mesafeye (x) kılavuzlayıcı kuvveti (F_x) göstermektedir. Kılavuzlayıcı (yanal) manyetik kuvvet ölçümlerinde, kristal boz tozu kullanılarak üretilen B8 örne-

ęinin diğer örneklere göre daha geniş histeresiz göstermesi ve daha düşük manyetik kaldırma performansına sahip olması, diğer örneklere kıyasla daha büyük normal bölge yoğunluğuna sahip olduğunu göstermektedir. B8 örneğinin en düşük kritik akım yoğunluğu sonucu manyetizasyon özelliğinin de diğer örneklere zayıf olmasının sonucudur.

4. Sonuç

Düşük saflıktaki bor tozlarından üretilen MgB_2 külçe örneklerinin kaldırma kuvveti uygulamaları için uygun olduğu ve B9 örneğinde kullanılan yüksek saflıktaki bor tozunun, yüksek J_c değeri elde edebilmek için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmamız, düşük bor tozu saflığına sahip dolayısıyla daha ekonomik MgB_2 külçe örneklerin Maglev gibi manyetik kaldırma kuvveti uygulamalarında tercih edilebileceğini göstermiştir. Bu ilginç ve bir o kadar da önemli sonuç, MgB_2 süperiletkenini endüstriyel uygulamalar için Cu-tabanlı ve Nb-tabanlı süperiletkenlere alternatif bir malzeme yapmaktadır.

Kaynaklar

- [1] B. Savaşkan, MgB₂ Süperiletkeninin Üretimi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2007.
- [2] A. Bhagurkar, “Processing of MgB₂ Bulk Superconductor by Infiltration and Growth”; Doctoral thesis; BCAST, Brunel University London; Uxbridge, UB8 3PH, UK; January (2017).
- [3] B. Savaskan, E. T. Koparan, S. Celik, K., Ozturk, E., Yanmaz, “Investigation on The Levitation Force Behaviour of Malic Acid Added Bulk MgB₂ Superconductors”, Physica C, 502 (2014) 63-69.
- [4] S. B. Güner, B. Savaşkan, K. Öztürk, Ş. Çelik, C. Aksoy, F. Karaboğa, E. T. Koparan, E. Yanmaz, Investigation on superconducting and magnetic levitation force behaviour of excess Mg doped-bulk MgB₂ superconductors, Cryogenics, (101) 2019 131-136.
- [5] A. Yamamoto, H., Tanaka, J., Shimoyama, H., Ogino, K., Kishio, K. ve T. Matsushita, Towards the Realization of Higher Connectivity in MgB₂ Conductors: In-situ or Sintered Ex-situ?, Japanese Journal of Applied Physics, 51 (2012) 010105-1-010105-6.
- [6] G.A.B., Matthews, S., Santra, R., Ma, C.R.M., Grovenor, Grant P.S., Speller S.C., Effect of the sintering temperature on the microstructure and superconducting properties of MgB₂ bulks manufactured by the Field Assisted Sintering Technique”, Supercond. Sci. Technol. 33 (2020) 054003.
- [7] Y. Takahashi, T. Naito and H. Fujishiro, “Vortex pinning properties and microstructure of MgB₂ heavily doped with titanium group elements”, Supercond. Sci. Technol. 30 (2017) 125006 (7pp).
- [8] M Zehetmayer Eisterer and H. W Weber. “Current Percolation and Anisotropy in Polycrystalline MgB₂” Phys. Rev. Lett. 90 (2003) 247002.
- [9] A. T. Ulgen, F. Karaboğa, M. Karakaya, R. Podila, A. M. Raoe, I. Belenli, “Improved transport properties of MgB₂ superconducting round wires via minute addition of gold nanoparticle”, Ceramics International, 45(1) (2019) 1031-1036.
- [10] H. Ağıl, E. Aksu, A. Gencer, “Role of Aniline Addition in Structural and Superconducting Properties of MgB₂ Bulk Superconductor”, J. Supercond. Nov. Magn., 30 (2017) 2735–2740.
- [11] H. Ağıl, E. Aksu, S. Akturk, A. Gencer, “The Effects of Structural, Thermal, and Magnetic Properties of Hexylbenzene-Doped MgB₂ Superconductor”, J. Supercond Nov Magn., 30 (2017) 1727–1736.
- [12] M. Yilmazlar, C. Terzioglu, M. Dogruer, et al., “Evaluation of Microstructural and Mechanical Properties of Ag-Diffused Bulk MgB₂ Superconductors”, J Supercond Nov Magn 27 (2014) 77–82.

- [13] F. Karaboga, H. Yetis, M. Oz et al. “Effect of different-sized h-BN nano-particles on some properties of MgB₂ superconductors”, *J Mater Sci: Mater Electron* 27 (2016) 8512–8517.
- [14] E. Yanmaz, C., Castillo-Berrio, Ü., Alkan, A. T. Ülgen et al. “Bulk MgxB₂ superconductor production by excess Mg and hot press methods and their properties”, *Journal of Boron*, 2(1) (2017) 43-48.
- [15] G. A. B. Matthews, T. Mousavi, S. Santra, C. R. M. Grovenor, P. Grant, S. C. Speller, “Improving the connectivity of MgB₂ bulk superconductors by a novel liquid phase sintering process”, *Supercond. Sci. Technol.*, 75 (2022) 065005.
- [16] R. Zeng, J. L. Wang, J. Horvat, W. X. Li, D. Q. Shi, S. X. Dou, M. Tomsic, and M. Rindfleisch, “Significant improvement in the critical current density of in-situ MgB₂ by excess Mg addition”, *Supercond. Sci. Technol.*, 20 (2007) L43.
- [17] Z. Ma, Y. Liu, Q. Cai, L. Yu, “Significant improvement in the critical current density of MgB₂ bulks in situ sintered at low temperature by excess Mg addition”, *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 496 (2014) 49–52.
- [18] S. Çelik, “Design of magnetic levitation force measurement system at any low temperatures from 20 K to room temperature”, *J Alloys and Compd.*, 662 (2015) 546-55.
- [19] K. Ozturk, S. Celik, A. Cansız, “Determination of levitation force and pinning properties of (Sm₁₂₃)_{1-x}(Yb₂₁₁)_x bulk superconductor depending on Yb₂₁₁ doping ratio”, *Phys. Status Solidi A*, 206 (2009) 2569–2575.
- [20] M. Murakami, H. Fujimoto, S. Gotoh, K. Yamaguchi, N. Koshizuka ve S. Tanaka, “Flux pinning due to non-superconducting particles in melt processed YBaCuO superconductors”, *Physica C*, 185–189 (1991) 321.
- [21] Y. Yang and X. Zheng, “Effect of parameters of a high-temperature superconductor levitation system on the lateral force”, *Supercond. Sci. Technol.*, 21 (2008) 015021.
- [22] B. Savaskan, E. T. Koparan, S. B. Güner, S. Çelik, K. Öztürk, E. Yanmaz, “Effect of C₄H₆O₅ Adding on the Critical Current Density and Lateral Levitation Force of Bulk MgB₂”, *J Low Temp Phys.*, 181 (2015) 38–48.
- [23] B. Savaskan, M. Abdioglu, K. Ozturk, “Determination of magnetic levitation force properties of bulk MgB₂ for different permanent magnetic guideways in different cooling heights”, *Journal of Alloys and Compounds*. 834 (2020) 155167.
- [24] H. Ağıl, A. A. Agil, S. B. Güner, E. Ayas, “Investigation of MgB₂ bulk superconductors synthesized by in situ spark plasma sintering at different temperatures”, *Materials Chemistry and Physics*, 306 (2023) 128010.



BÖLÜM 7

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (APG) SİSTEMİ

Hüseyin Aşkın AKPULAT¹

¹ Hüseyin Aşkın AKPULAT, Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi,
Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü,

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-8394-2746>

Taksonomi, insanlığın dil becerisi kadar eskidir. Edinilen deneyimleri ailenin ve kabilenin diğer üyelerine iletmek için yenilebilir ve zehirli bitkilerin isimlerini bilmek her zaman gerekli olmuştur. Geçmişte kullanılan sınıflandırma sistemleri az sayıda botanikçi tarafından oluşturulmuştur.

Botanikte bilimsel sınıflandırmanın temel ilkeleri **ilk defa Linnaeus** tarafından 1737 yılında *Genera Plantarum* (Bitki Cinsleri) kitabında bitkileri çiçek yapılarına göre cins düzeyinde sınıflandırmıştır. Sınıflandırmayı Darwin öncesi ve sonrası olarak iki döneme ayırabiliriz.

A)-Darvin öncesi sınıflandırma;

-Linnaean sistemleri (1735-1758) *Genera Plantarum*, 1737 (1. baskı), 1753 (5. baskı).

-Adanson sistemi (1763) *Familles naturelles des plantes*, 1763.

-de Jussieu sistemi (1789) *AL de Jussieu* (1789).

-de Candolle sistemi (1819) *AP de Candolle* (1819). *Théorie élémentaire de la botanique, ou exposition des principes de la sınıflandırma naturelle et de l'art de décrire et d'étudier les végétaux* (2. baskı).

-Dumortier sistemi (1820) Dumortier, Barthélemy-Charles (1829). *Des familles des plantes avec l'indication des principaux genres qui s'y rattachent (Fransızca)*. Tournay: Casterman.

-Bentham & Hooker sistemi (1862-1883) G. Bentham ve JD Hooker (1862-1883). *Herbariis kewensibus servata definita'da cins plantarum rekلام exemplaria imprimis*. 3 cilt.

-Baillon sistemi (1867-1894) H. Baillon (1867-1894). *Histoire des plantes*. 13 cilt.

B)-Darvin sonrası sınıflandırma;

-Engler sistemi 1887-1915 A. Engler, K. Prantl (1887-1915; 2. baskı, 1924-).

-Bessey sistemi 1907 - 1915 Charles E. Bessey (1907). "Bitki Filumlarının Özeti"

-Hutchinson sistemi 1926-1934 J. Hutchinson; (iki cilt, 1926-1934; 2. baskı 1959; 3. baskı, 1973).

-Takhtajan sistemi 1966-1997 A. Takhtajan; (Rusça, 1966). Çiçekli bitkilerin sistemi ve soyuluşu.

-Cronquist sistemi 1968-1988 A. Cronquist; (1968; 2. baskı 1988) (1988).

-APG sistemi 1998–2016.

Sınıflandırmanın tarihçesi

Eski Yunanca ἀγγείον, angeíon (hazne, kap) ve σπέρμα, (tohum) kelimelerinden oluşan botanik terimi «Angiosperm», 1690 yılında Paul Hermann tarafından bitkiler aleminin birincil bölümlerinden birinin adı olarak Angiospermae şeklinde türetilmiştir.

Bu, Gymnospermae'den farklı olarak kapsüller içine alınmış tohumlara sahip çiçekli bitkileri ya da akeniyal veya şizo-karpik meyvelere sahip çiçekli bitkileri içeriyordu; meyvenin tamamı veya her bir parçası burada bir tohum ve çıplak olarak kabul ediliyordu.

Angiosperm sınıflandırması

Ayrıntılı genetik kanıtlar elde edilene kadar, çiçekli bitkilerin (Angiospermler, Angiospermae, Anthophyta veya Magnoliophyta olarak da bilinir) sınıflandırılması morfolojilerine (özellikle çiçeklerine) ve biyokimyasalarına (ne tür kimyasal bileşikler içerdikleri veya ürettikleri) dayanıyordu. Sınıflandırma sistemleri tipik olarak bireysel bir botanikçi ya da küçük bir grup tarafından üretilmiştir.

Sonuç olarak bu türden çok sayıda sistem ortaya çıkmıştır. Farklı sistemler ve bunların güncellemeleri farklı ülkelerde tercih edilme eğilimindeydi; örneğin, Kıta Avrupası; İngiltere'de Bentham & Hooker sistemi (Kew tarafından kullanıldığı için özellikle etkilidir); eski Sovyetler Birliği ve etki alanındaki ülkelerde Takhtajan sistemi; ve Amerika Birleşik Devletleri'nde Cronquist sistemi.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (APG) SİSTEMİ

Angiosperm Phylogeny Group ya da APG, çiçekli bitkilerin (Angiospermler) filogenetik çalışmalara dayanan ilişkileri hakkında yeni bilgileri yansıtacak bir taksonomi görüş birliği oluşturmaya çalışmak için bir araya gelen sistematik botanikçilerden oluşan gayri resmi bir uluslararası grubu ifade eder.

2023 yılı itibarıyla, bu işbirliğinden bir sınıflandırma sisteminin dört aşamalı versiyonu ortaya çıkmıştır (1998, 2003, 2009 ve 2016 yıllarında yayınlanmıştır).

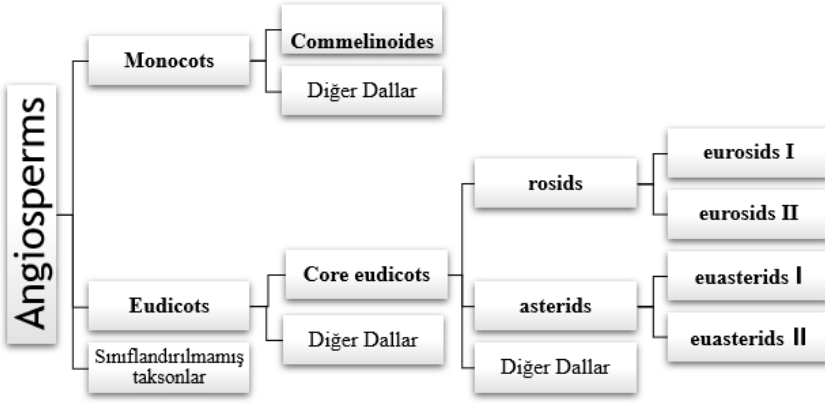
Grup için önemli bir motivasyon, monofiletik gruplara (yani ortak bir atanın tüm torunlarından oluşan gruplar) dayanmayan önceki angiosperm sınıflandırmalarındaki eksiklikler olarak gördükleri temel sorundu. APG yayınlarının etkisi giderek artmakta, bugün bazı büyük herbaryumlar ko-

leksiyonlarının düzenini en son APG sistemine uyacak şekilde değiştirmektedir.

1998 yılında, çiçekli bitkilerin takım ve familyalarının ilk Angiosperm Phylogeny Group (APG) sınıflandırması (APG I olarak adlandıracağız; APG, 1998) yayınlandı ve bu sınıflandırma bu uzun geleneğe yeni bir yaklaşım başlattı. APG I, bir ya da iki yetkili kişi tarafından yazılmamıştır; bunun yerine APG süreci, birçok çiçekli bitki grubundaki uzmanların sonuçlarını ve görüşlerini yansıtan bir fikir birliği sınıflandırması üretmeye çalışmıştır. Başlangıçtaki odak noktası, familyaların sınırlandırılması konusuna çok fazla vurgu yapmadan, familyaların takımlar halinde sınıflandırılmasını sağlamaktı; 1998'de çok az sayıda familya uygun şekilde incelenmişti ve bu nedenle APG I'de bu tür konular sınırlı olarak ele alındı. Saxifragaceae (Morgan & Soltis, 1993), Geraniaceae (Price & Palmer, 1993), Liliaceae (Chase et al, 1995), Onagraceae (Conti, Fischbach & Sytsma, 1993) ve Ericaceae (Judd & Kron, 1993; Kron & Chase, 1993) gibi bazıları polifiletik olduklarından şüphelenilen (örneğin Saxifragaceae sensu Cronquist, 1981) erken moleküler çalışmaların odak noktası olmuştur. Öncelik kuralı takım düzeyinde geçerli olmadığından, APG I'deki en büyük sorun takımlara uygulanan isimlerin standartlaştırılmasıydı, böylece benzer familya gruplarını inceleyen araştırmacılar (çoğu moleküler teknikler kullanan) farklı isimler kullanmıyordu. Amaç kaosun önlenmesiydi ve fikir birliğine nispeten daha kolay ulaşıldı.

APG I'de sunulan özet fikir birliği ağacı büyük ölçüde çözümlenmemiştir; bu, o dönemde üst düzey (sıralar arası) ilişkiler hakkında bilinenlerin ilk niteliğinin bir göstergesiydi. Daha sonra ordoların oldukça açık olduğu kabul edildi.

Ana grupların düzeninin genel şeması da açıktır: kapalı tohumluların ana yayılmasına yol açan izole edilmiş bir takson sınıfı (ANA sınıfı veya o zamanlar adlandırıldığı gibi ANITA sınıfı), tüm monokotların bir sınıfı, bir manolyum sınıfı familyalar ve birkaç küçük daldan ve her biri iki ana alt daldan oluşan iki ana gruptan (rosidler ve asteridler) oluşan büyük bir eudicot (trikolpat) daldır (Şekil 1).



Şekil 1: APG sistemi

Angiosperm ilişkilerinin genel çerçevesi netleştikçe, odak noktası, çoğu angiosperm taksonomistinin sorunlu olabileceğini hissettiği Dioscoreaceae (Caddick et al, 2002), Flacourtiaceae (Chase et al., 2002), Lamiaceae/Verbenaceae (Wagstaff & Olmstead, 1997), Loganiaceae (Backlund, Oxelman & Bremer, 2000), Malvaceae (Judd & Manchester, 1997; Bayer et al., 1999), Rutaceae (Chase, Morton & Kallunki, 1999) ve diğerleri. Sorunlu olduğu varsayılan familyalar üzerine yapılan bu ilk çalışmalar, özellikle Backlund & Bremer'in (1998) ilkeleri takip edildiğinde, çoğunlukla net çözümlerle sonuçlanmıştır.

Yine, bir fikir birliği sağlamak nispeten kolaydı ve APG II (2003), APG kullanıcılarına daha dar ve daha geniş ('parantezli' bir sistem), bunların herhangi bir permütasyonuna izin veren ve yine de yazarların "APG'yi takip ettiklerini" iddia etmelerine izin veren isteğe bağlı çevreler sunarak bunu kolaylaştırmaya çalıştı. Familyaların sınırlandırılması açıkça önemli bir sorun haline geliyordu ve parantezli sistemin kullanımı, geniş bir destek konsensüsünü sürdürme çabasına ek olarak, daha çok familya sınırlandırmasına ve bölmeye karşı birleştirme konusuna odaklandı.

Derleyiciler tarafından parantezli sistemin kullanımı konusunda alınan olumsuz tepkiler üzerine APG III'te (2009) bu kullanımdan vazgeçilmiştir. Her durumda olmasa da çoğu durumda, parantezleme ile ima edilen daha geniş sınırlar kabul edilmiştir. Wearn ve diğerleri (2013) ve Christenhusz ve diğerleri (2015) tarafından gözden geçirildiği üzere, bu birleştirme yaklaşımı, kullanıcıların sınıflandırmanın özellikle, ordo ve familyalar gibi vurguladıkları kısımlarını basitleştirmek amacıyla yapılmıştır ve genel olarak destek gören bir yaklaşımdır. Hem taksonomistlerin hem de sınıflandırma kullanıcılarının daha geniş kapsamlı ve daha dar kapsamlı sınıflandırmalara verdiği desteği değerlendirmek için Ağustos 2014'te çevrimiçi

bir anket düzenlenmiştir (Christenhusz ve ark., 2015), ancak her ankette soruların ifade ediliş biçiminden kaynaklanan önyargılar olabileceği göz önünde bulundurulmuştur.

Çiçekli bitki çeşitliliği

Çiçekli bitki türlerinin dünyada sayısının 250.000 ila 400.000 arasında olduğu tahmin edilmektedir. Çiçekli bitkilerin çeşitliliği eşit olarak dağılmamıştır. Neredeyse tüm türler eudicot (%75), monocot (%23) ve magnoliid (%2) kladlarına aittir. Kalan 5 klad toplamda 250'den biraz fazla tür içerir, yani çiçekli bitki çeşitliliğinin %0,1'inden azı 9 familyaya bölünmüştür.

APG çevrelerinde, tür sayısı sırasına göre, en çeşitli çiçekli bitki familyaları şunlardır:

Asteraceae veya Compositae (papatya familyası): 23.600 tür;

Orchidaceae (orkide familyası): 22.075 tür;

Fabaceae veya Leguminosae (bezelyegiller): 19.400;

Rubiaceae (kökboyasgiller): 13.150;

Poaceae veya Gramineae (çim familyası): 10,035;

Lamiaceae veya Labiatae (nane familyası): 7,173;

Euphorbiaceae (sütlegengiller): 5.735;

Melastomataceae (melastome familyası):5,005;

Myrtaceae(mersingiller):4,620;

Apocynaceae(zakkumgiller):4,555.

Yukarıdaki listede (sadece en büyük 10 familyayı gösteren) Orchidaceae ve Poaceae tek çenekli familyalardır; diğerleri ise ödikot familyalardır.

Bir sınıflandırma, araştırmanın belirli bir durumuna dayalı olarak, zamanın belirli bir noktasında bir görüş sunar. APG üyeleri de dahil olmak üzere bağımsız araştırmacılar, angiosperm taksonomisi alanlarında kendi görüşlerini yayınlamaya devam etmektedir.

Kullanıcılar için ne kadar sakıncalı olsa da sınıflandırmalar değişmektedir. Bununla birlikte, APG yayınları giderek daha fazla yetkili bir referans noktası olarak kabul edilmektedir.

Bazı örnekler:

- Kew de dahil olmak üzere önemli sayıda büyük herbaryum, koleksiyonlarının sıralamasını APG'ye uygun olarak değiştirmektedir.
- Etkili World Checklist of Selected Plant Families (yine Kew'den) APG sistemine göre güncellenmektedir.
- ABD'de, ABD ve Kanada bitkilerinin yeni bir fotoğrafik araştırması APG II sistemine göre düzenlenmiştir.
- Birleşik Krallık'ta, Britanya Adaları'nın standart florasının (Stace tarafından) son baskısı APG III sistemine dayanmaktadır. Önceki baskı Cronquist sistemine dayanıyordu.

Prensipier

APG'nin sınıflandırma yaklaşımının ilkeleri 1998 tarihli ilk makalede ortaya konmuş ve sonraki revizyonlarda da değişmeden kalmıştır.

Kısaca, bunlar:

- Linne'nin familya ve ordo sistemi muhafaza edilmelidir. "Familya, çiçekli bitki sistematığında merkezidir." Familyaların sıralı bir sınıflandırması, «geniş faydanın referans aracı» olarak önerilmektedir.

Ordolar öğretimde ve familya ilişkilerini incelerken özel bir değere sahip olarak kabul edilir.

- Gruplar monofiletik olmalıdır (yani ortak bir atadan gelen tüm torunlardan oluşmalıdır).

Mevcut sistemlerin reddedilmesinin temel nedeni bu özelliğe sahip olmaması, filogenetik olmamasıdır.

- Grupların sınırlarını tanımlamak için geniş bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu nedenle, sınırlı sayıda daha büyük ordolar daha faydalı olacağı söylenir. Tek bir cins içeren familyadan ve tek bir familya içeren düzenlerden, bunun mümkün olduğu durumlarda, monofiletik için öncelikli gereklilik ihlal edilmeden bunun mümkün olduğu durumlarda kaçınılır.
- Her ne kadar takımlar ve familyalar kullanılsa da, bu seviyenin üzerinde, adlandırılmış kladlar da serbestçe kullanılmaktadır. (Bazılarına daha sonra APG sisteminin 2009 revizyonuyla ilişkili bir makalede resmi isimler verilmiştir). Yazarlar, bir filogenetik ağaçtaki tüm kladları isimlendirmenin "mümkün olmadığını ve

arzu edilmediğini” söylemektedir; ancak sistematikçilerin, iletişimi ve tartışmayı kolaylaştırmak için bazı kladlar, özellikle de takımlar ve familyalar için isimler üzerinde anlaşmaları gerekmektedir.

APG I sistemi;

- APG’de takım en üst kategoridir.
- Üst gruplar «Klad» olarak ifade edilir.
- İsimlendirme kuralları monocots, eudicots, rosids, asterids gibi farklılıklar gösterir.
- Sadece takım ve familya isimleri nomenklatür kurala göre yapılır.
- **40 takım ve 462 familya** APG sisteminde tanımlanmıştır.

APG II sistemi;

- APG I sisteminden farklı olarak 45 Takım ile sınıflandırma yapılmıştır.

Yeni takımlar;

Austrobaileyales, Canellales, Gunnerales, Celastrales, Crossosomatales.

APG II 457 familya olarak gruplandırma yapmıştır. (APG I’den 5 familya eksik)

APG III sistemi;

APG’nin üçüncü makalesi, 2003 tarihli makalede açıklanan sistemi güncellemektedir. Sistemin ana hatları değişmeden kalmıştır, ancak daha önce yer almayan familya ve cinslerin sayısı önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu, önceki sınıflandırmaya kıyasla hem yeni takımların hem de yeni familyaların tanınmasını gerektirmektedir. Takım sayısı 45’ten 59’a çıkmıştır; sadece 10 familya bir takıma yerleştirilmemiştir ve bunlardan sadece ikisi (Apodanthaceae ve Cynomoriaceae) tamamen sınıflandırma dışında bırakılmıştır. Yazarlar, uzun süredir tanınan familyaları değiştirmeden bırakmaya çalıştıklarını, az sayıda cinsi olan familyaları ise birleştirdiklerini söylüyorlar. “Sınıflandırmanın daha fazla değişikliğe ihtiyaç duymayacağını umuyorlar.”

Makalenin en önemli değişikliklerinden biri, daha büyük ve daha kapsayıcı familyalar lehine ‘parantezli’ familyaların kullanımına son vermesidir. Sonuç olarak, APG III sistemi APG II’deki 457 familya yerine sadece 415 familya içermektedir. Örneğin, Agave familyası (Agavaceae) ve süm-bül familyası (Hyacinthaceae) artık daha geniş kuşkonmaz familyasından

(Asparagaceae) ayrı olarak kabul edilmemektedir. Yazarlar, APG I ve II’de olduğu gibi alternatif sınırlandırmaların karışıklığına neden olabileceğini ve koleksiyonlarını APG yaklaşımına göre yeniden düzenleyen büyük herbaryumların hepsinde daha kapsayıcı familyaları kullanmayı kabul ettiğini söylüyor. Derginin aynı sayısında birbiriyle ilişkili iki makale yayımlanmıştır.

Bunlardan biri APG III’teki familyaların doğrusal bir sıralamasını vermektedir; APG II için yayınlanan doğrusal sıralamada olduğu gibi, bu da örneğin herbaryum örneklerinin sıralanması için tasarlanmıştır. Diğer makale ise APG III’teki familyaların ilk kez resmi taksonomik sıralamaları kullanan bir sınıflandırmasını vermektedir; daha önce sadece sıra seviyesinin üzerinde gayri resmi klad isimleri kullanılmaktaydı.

APG III (2009) bitki sınıflandırma sistemi, Angiosperm Phylogeny Group tarafından 2009 yılında, selefi APG II sisteminin yayınlanmasından altı yıl sonra yayınlanan modern, çoğunlukla moleküler temelli bir bitki taksonomisi sisteminin üçüncü versiyonudur. Ekim 2009’da Linne Topluluğu üyeleri, tüm kara bitkileri için APG III sınıflandırmasıyla uyumlu resmi bir filogenetik sınıflandırma önermiştir. Bu gerekliydi çünkü botanikçiler ve bitki bilimciler grupların hangi taksonomik dereceye atandığı konusunda sıklıkla anlaşmazlığa düşmektedir. APG III sistemi, önceki sistemin 45 takımının tamamını ve 14 yeni takımı tanımlamıştır.

Ceratophyllales yanlışlıkla yeni bir takım olarak işaretlenmiştir, ancak önceki APG sistemlerinin her ikisinde de tanınmıştır.

Yeni tanımlanan takımlar şunlardır:

Amborellales, Nymphaeales, Chloranthales, Petrosaviales, Trochodendrales, Buxales, Vitales, Zygophyllales, Picramniales, Huerteales, Berberidopsidales, Escalloniales, Bruniales ve Paracryphiales.

Alternatif “parantezli familyalar” tanımlaması APG III’te terk edilmiştir, çünkü önceki sistemde yer alması popüler olmamıştır. APG III, önceki sisteme göre 42 daha az olmak üzere 415 familyayı tanımlamıştır. “Paranteze alınmış 55 familyadan” 44’ünün tanınmasına son verilmiş ve diğer 18 familyanın tanınmasına da son verilmiştir.

Sonlandırılan parantezli familyalar şunlardır:

Illiciaceae, Alliaceae, Agapanthaceae, Agavaceae, Aphyllanthaceae, Hesperocallidaceae, Hyacinthaceae, Laxmanniaceae, Ruscaceae, Themidaceae, Asphodelaceae, Hemerocallidaceae, Kingdoniaceae, Fumariaceae, Pteridophyllaceae, Didymelaceae, Tetracentraceae, Pterostemonaceae, Hypseocharitaceae, Francoaceae, Memecylaceae, Lepuropetalaceae, Rhoipteleaceae, Medusagynaceae, Quinaceae, Malesherbiaceae, Turneraceae,

Bretschneideraceae, Diegodendraceae, Cochlospermaceae, Peganaceae, Tetradiclidaceae, Nyssaceae, Ternstroemiaceae, Pellicieraceae, Aucubaceae, Donatiaceae, Lobeliaceae, Desfontainiaceae, Diervillaceae, Dipsacaceae, Linnaeaceae, Morinaceae ve Valerianaceae.

Diğer Kullanımı durdurulan familyalar ise şunlardı:

Limnocharitaceae, Luzuriagaceae, Sparganiaceae, Ledocarpaceae, Heteropyxidaceae, Psiloxylaceae, Oliniaceae, Rhynchocalycaceae, Parnassiaceae, Maesaceae, Myrsinaceae, Theophrastaceae, Eremosynaceae, Polyosmaceae, Tribelaceae, Aralidiaceae, Mackinlayaceae ve Melanophyllaceae.

Önceki sistemde yer almayan 20 familya APG III sistemine kabul edilmiş ve birkaç familya da farklı bir konuma taşınmıştır.

Yeni tanınan familyalar şunlardır:

Petermanniaceae, Schoepfiaceae, Limeaceae, Lophiocarpaceae, Montiaceae, Talinaceae, Anacampserotaceae, Centroplacaceae, Calophyllaceae, Guamatelaceae, Gerrardinaceae, Dipentodontaceae, Capparidaceae, Cleomaceae, Cytinaceae, Mitrastemonaceae, Metteniusaceae, Linderniaceae, Thomandersiaceae ve Quintiniaceae.

Herhangi bir sraya konulmayan familyaların sayısı 39'dan 10'a düşürülmüştür. Apodanthaceae ve Cynomoriaceae Angiospermler arasında, **incertae sedis**, yani angiospermler içinde herhangi bir gruba yerleştirilmemiştir. Diğer sekiz familya ise angiospermler içinde çeşitli supra-ordinal gruplara incertae sedis olarak yerleştirilmiştir.

Yerleştirilmeyen familyalar şunlardı:

Apodanthaceae, Cynomoriaceae, Dasypogonaceae, Sabiaceae, Dilleniaceae, Icacinaceae, Metteniusaceae, Oncothecaceae, Vahliaceae ve Boraginaceae.

Icacinaceae familyasının sınırlandırılması özellikle şüphelidir.

Apodytes, Emmotum, Cassinopsis ve diğer birkaç cins, daha ileri çalışmalarla bu familyaya ait olup olmadıkları belirlenene kadar geçici olarak bu familya içinde tutulmuştur.

Üç cins (Gumillea, Nicobariodendron ve Petenaea) angiospermler **incertae sedis** içine yerleştirilmiştir. Gumillea APG II'de yer almamıştı. Nicobariodendron ve Petenaea listeye yeni eklenmiştir.

Belirsiz pozisyon taksonları

- Apodanthaceae Takht. (üç cins)
- Cynomoriaceae Endl. ex Lindl.

- Aguilera Ruiz & Pav.
- Petenaea Lundell (muhtemelen Malvales'te)
- Nicobariodendron (Simmons, 2004; muhtemelen Celastraceae'de).

Kullanımdan kaldırılan familyaların yerini alan alt familyalar, APG II'de paranteze alınan familyalarının yerini alan alt familyalar Tablo 1'de bildirilmiştir.

Tablo1- APG II'de isteğe bağlı olan (yani paranteze alınan) ancak APG III'te kullanımdan kaldırılan bazı familyaların yerini almak üzere bir dizi alt familya önerilmiştir.

APG II kullanılmayan familyalar	APG III önerilen familya ve alt familyalar
<i>Agapanthaceae</i>	<i>Amaryllidaceae: Agapanthoideae</i>
<i>Agavaceae</i>	<i>Asparagaceae: Agavoideae</i>
<i>Alliaceae</i>	<i>Amaryllidaceae: Allioideae</i>
<i>Amaryllidaceae</i>	<i>Amaryllidaceae: Amaryllidoideae</i>
<i>Aphyllanthaceae</i>	<i>Asparagaceae: Aphyllanthoideae</i>
<i>Asparagaceae</i>	<i>Asparagaceae: Asparagoideae</i>
<i>Asphodelaceae</i>	<i>Xanthorrhoeaceae: Asphodeloideae</i>
<i>Hemerocallidaceae</i>	<i>Xanthorrhoeaceae: Hemerocallidoideae</i>
<i>Hesperocallidaceae</i>	<i>Asparagaceae: Agavoideae</i>
<i>Hyacinthaceae</i>	<i>Asparagaceae: Scilloideae</i>
<i>Laxmanniaceae</i>	<i>Asparagaceae: Lomandroideae</i>
<i>Ruscaceae</i>	<i>Asparagaceae: Nolinoideae</i>
<i>Themidaceae</i>	<i>Asparagaceae: Brodiaeoideae</i>
<i>Xanthorrhoeaceae</i>	<i>Xanthorrhoeaceae: Xanthorrhoeoideae</i>

APG III (2009)

APG II'deki 45 takıma ilave 14 tane yeni takım ileri sürülmüştür. Bu sistemde Ceratophyllales yeni bir takımış gibi gösterilmiştir.

APG III'de **413 familya** vardır (APG II'den 44 adet eksik) 55 alt familya bu sınıflandırmada yer almaz. 18 familya adı da kaldırılmıştır.

- APG I ve APG II'de olmayan 19 yeni familya eklenmiştir.
- APG I ve APG II'deki alt familyaların yeri değiştirilmiştir.
- Hiçbir takıma girmeyen familya sayısı 39 yerine 10 olarak belir-

lenmiştir.

Yeri belirsiz familyalar için, **incertae sedis (emin olunmayan yerleş-tirme)** olarak belirlenmiştir.

APG IV (2016)

APG III'e ek olarak bazı yeni familyalar eklenmiştir.

Ayrıca 5 yeni takım eklenmiştir.

Boraginales, Dilleniales, Icacinales, Metteniusales, Vahliales.

Son olarak bu sistemle birlikte Kapalı Tohumlu Bitkiler **416 familya** ve **64 takım** olarak sınıflandırılmıştır.

Sonuç olarak sistemlere göre familya sayıları tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Sistemler ve familya sayıları

Sistem	Familya sayısı
Bentham & Hooker -1883	202
Engler ve Prantl -1915	303
Arthur Cronquist -1981	386
APG I -1998	462
APG II -2003	457
APG III-2009	413
APG IV-2016	416

Genel olarak, APG III'ten (2009) APG IV'e olan değişiklikler minimum düzeydedir. Kararlılık, bu sınıflandırmaya yaklaşımımızın önemli bir yönüdür ve APG sistemi, başlangıcından bu yana oldukça tutarlı kalmıştır. Şu anda dikkat gerektiren çok az şey kaldı, ancak familya sınırlamaların yeniden düzenlenmesi ve değiştirilmesi, özellikle jenerik ve familya ilişkilerin sağlam bir resmini sağlamak için daha fazla veriye ihtiyaç duyulan Caryophyllales, Lamiales ve Santalales'te devam edecek. Rutin tam plastid genom dizilimi ve nükleer gen diziliminin ortaya çıkışı, erken ayrılan lamidlerde olduğu gibi bu duruma çözüm getirmelidir. Tabii ki, yeni filogenetik anlayış, Kewaceae, Macarthuraceae, Microteaceae ve Petenaeaceae vakalarında olduğu gibi yeni familyaların tanımlanmasını gerektirebilir, ancak bu, APG sisteminin gelecekte değiştirilmesini gerektirecek en olası yeni veri kaynağı gibi görünmektedir.

KAYNAKLAR:

- APG. (1998).** An ordinal classification for the families of flowering plants. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **85**: 531–553.
- APG II. (2003).** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* **141**: 399–436.
- APG III. (2009).** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* **161**(2): 105–121.
- APG IV. (2016).** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* **181**(2): 1–20.
- Applequist WL, Wallace RS. (2001).** Phylogeny of the portulacaceous cohort based on *ndhF* sequence data. *Systematic Botany* **26**: 406–419.
- Backlund A, Bremer K. (1998).** To be or not to be – principles of classification and monotypic plant families. *Taxon* **47**: 391–401.
- Backlund M, Oxelman B, Bremer B. (2000).** Phylogenetic relationships within the Gentianales based on *ndhF* and *rbcL* sequences, with particular reference to the Loganiaceae. *American Journal of Botany* **87**: 1029–1043.
- Bayer C, Fay MF, de Bruijn AY, Savolainen V, Morton CM, Kubitzki K, Chase MW. (1999).** Support for an expanded concept of Malvaceae within a circumscribed order Malvales: a combined analysis of plastid *atpB* and *rbcL* DNA sequences. *Botanical Journal of the Linnean Society* **129**: 267–303.
- Caddick LR, Wilkin P, Rudall PJ, Hedderson TAJ, Chase MW. (2002).** Yams reclassified: a recircumscription of Dioscoreaceae and Dioscoreales. *Taxon* **51**: 103–114.
- Chase MW, Zmarzty S, Lledo MD, Wurdack KJ, Swensen SM, Fay MF. (2002).** When in doubt, put it in Flacourtiaceae: a molecular phylogenetic analysis based on plastid *rbcL* DNA sequences. *Kew Bulletin* **57**: 141–181.
- Chase MW, Morton CM, Kallunki J. (1999).** Molecular phylogenetics of Rutaceae: evidence from combined plastid *atpB* and *rbcL*. *American Journal of Botany* **86**: 1191–1199.
- Chase MW, Duvall MR, Hills HG, Conran JG, Cox AV, Eguiarte LE, Hartwell J, Fay MF, Caddick LR, Cameron KM, Hoot S. (1995).** Molecular phylogenetics of Lilianae. In: Rudall PJ, Cribb PJ, Cutler DF, Humphries CJ, eds. Monocotyledons: systematics and evolution. Kew: *Royal Botanic Gardens*, 109–137.

- Christenhusz MJM, Vorontsova MS, Fay MF, Chase MW. (2015).** Results from an online survey of family delimitation in angiosperms and ferns: recommendations to the Angiosperm Phylogeny Group for thorny problems in plant classification. *Botanical Journal of the Linnean Society* **178**: 501–528.
- Conti E, Fischbach A, Sytsma KJ. (1993).** Tribal relationships in Onagraceae: implications from rbcL data. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **80**: 672–685.
- Cronquist A. (1981).** *An integrated system of classification of flowering plants*. New York: Columbia University Press.
- Hall JC, Iltis HH, Sytsma KJ. (2004).** Molecular phylogenetics of core Brassicales, placement of orphan genera *Emblingia*, *Forchammeria*, *Tirania*, and character evolution. *Systematic Botany* **29**: 654–669.
- Haston E, Richardson JE, Stevens PF, Chase MW, Harris DJ. (2009).** LAPG III: a linear sequence of the families in APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* **161**: 128–131.
- Judd WS, Kron KA. (1993).** Circumscription of Ericaceae (Ericales) as determined by preliminary cladistic analyses based on morphological, anatomical and embryological features. *Brittonia* **45**: 99–114.
- Judd WS, Manchester SR. (1997).** Circumscription of Malvaceae (Malvales) as determined by a preliminary cladistic analysis of morphological, anatomical, palynological and chemical characters. *Brittonia* **49**: 384–405.
- Kron KA, Chase MW. (1993).** Systematics of Ericaceae, Empetraceae, Epacridaceae, and related taxa based upon rbcL sequence data. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **80**: 735–741.
- Morgan DR, Soltis DE. (1993).** Relationships among members of Saxifragaceae sensu lato based on rbcL sequence data. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **80**: 631–660.
- Price RA, Palmer JD. (1993).** Relationships of the Geraniaceae and Geraniales from rbcL sequence comparisons. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **80**: 661–671.
- Simmons MP. (2004).** Celastraceae. In: Kubitzki K, ed. *The families and genera of vascular plants. VI. Flowering plants. Dicotyledons. Celastrales, Oxalidales, Rosales, Cornales, Ericales*. Berlin: Springer, 29–64.
- Stevens PF. (2001) onwards.** Angiosperm phylogeny website. Available at <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>
- Takhtajan A. (1997).** *Diversity and classification of flowering plants*. New York: Columbia University Press.
- Tamura MN, Yamashita J, Fuse S, Haraguchi M. (2004).** Molecular phylogeny of monocotyledons inferred from combined analysis of plastid *matK* and *rbcL* gene sequences. *Journal of Plant Research* **117**: 109–120.

- Wagstaff SJ, Olmstead RG. (1997).** Phylogeny of Lamiaceae and Verbenaceae inferred from rbcL sequences. *Systematic Botany* **22**: 165–179.
- Zhang L-B, Simmons MP. (2006).** Phylogeny and delimitation of the Celastrales inferred from nuclear and plastid genes. *Systematic Botany* **31**: 122–137.
- Zhang Z-H, Li C-Q, Li J. (2009).** Phylogenetic placement of *Cynomorium* in Rosales inferred from sequences of the inverted repeat region of the chloroplast genome. *Journal of Systematics and Evolution* **47**: 297–304.



BÖLÜM 8

POLİMERLER VE BİYOPOLİMERLER

Yasemin YILDIZ¹

¹ Sakarya Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sakarya, Turkey <https://orcid.org/0000-0003-2855-0496>

1.Giriş

Polimerler, monomer adı verilen birimlerden oluşan büyük moleküllerdir. Monomerler birbirlerine kimyasal bağlarla bağlanırlar. Monomer birimlerinden polimerlerin eldesini sağlayan tepkimelere polimerleşme tepkimeleri veya polimerizasyon denir. Bu tepkimelerle oluşan polimerler en az iki en çok sonsuz sayıda “mer” (birim) içerebilir (Seçkin, 2015).

Polimerlerin doğada varlığının yanı sıra basit moleküllerden sentezlenebileceğini ilk kez 1920 yılında Alman kimyacı Hermann Staudinger ve arkadaşları göstermiştir. Daha sonra 1953'te Staudinger bu çalışma ile Nobel Kimya Ödülü almıştır. Staudinger “macro” kelimesi ile “molekül” kelimesini birleştirerek çok büyük anlamına gelen “makromolekül” kelimesini türetmiştir. İsveçli Kimyacı Barın Jons Jacob Berzelius tarafından “çok parçalı” anlamına gelen “polimer” kelimesi ise 1830 yılında türetilmiştir (Sarıkaya, 2017).

Polimerlerin sınıflandırılması ilk kez 1929'da Cartothers tarafından yapılmıştır.

Polimerler sınıflandırılırken çok sayıda yöntem kullanılır. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Doğada bulunup bulunmamasına göre (doğal ve sentetik),
- Organik veya inorganik olmalarına göre,
- Molekül ağırlığına göre (makromolekül, oligomer vb.),
- Zincirin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre (doğrusal, dallanmış, çapraz vb.),
- Isıya karşı gösterdikleri davranışa göre (termoplastik veya termoset),
- Sentezleme tepkimesine göre (basamaklı, zincir vb.) (Seçkin, 2015).

Polimerler genel olarak ise üç sınıfta toplanabilirler:

- Kauçuk gibi elastik özellik gösteren polimerler (elastomerler)
- Pamuk, ipek ya da naylon gibi life benzer yapıdaki polimerler (elyaf)
- İnce tabaka haline getirilebilen (ambalaj malzemeleri gibi), kalıplanabilen (oyuncaklar gibi) ya da katlanabilen polimerler (plastikler) (Uyar, 2001).

Polimerler hem kristal hem de amorf yapıya sahip olmaları açısından dikkat çekicidirler. Bu iki yapıyı birlikte içeren polimerlerin erime sıcaklıkları sabit değildir, belirli bir aralıktadır (Sarıkaya, 2017).

Polimerlerin sergilediği yapısal farklılıklar üretilen malzemelerin özelliklerini de etkilemektedir. Günümüzde bir malzemenin bir özelliğinin bir polimerden, diğer bir özelliğinin ise başka bir polimerden elde edildiği yeni malzemeler (polimer karışımları) elde edilmektedir. Örneğin, PA'e polietilen veya kauçuk ilavesi ile kırılma davranışını değiştirmek mümkündür. Polimerlerin karışabilmesi aralarındaki dipol dipol etkileşimine, hidrojen bağına, dipol-iyon kuvvetlerine bağlıdır (Taşdemir, 2016). Bu karışımlar polimerlerin performansını artırmanın yanı sıra farklı uygulama alanları da sunmaktadır. (Kemaloğlu-Doğan, 2014).

Uygulama alanları arasında yapay organ, doku, implant gibi insan yedek parçası gibi kullanılacak malzemelere yönelik çalışmalar giderek artmaktadır. Bu malzemeler arasında polimer kaynaklı biyopolimerler de geniş yer tutmaktadır. (Kemaloğlu-Doğan, 2014).

Biyopolimerler, biyomalzeme olarak kapsamlı bir kullanım alanına sahiptir. Biyopolimerler, monomerlerin birbirlerine eklenmesiyle oluşan uzun zincirli büyük molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Doğal ve sentetik polimer türleri mevcuttur (Güven, 2014). Bu iki tür polimer arasındaki temel fark yapıdadır (Hacker, Krieghoff, Mikos, 2019). Genellikle proteinler, polisakkaritler gibi doğal olarak türetilen birçok polimer birincil yapılarına bağlı olarak karmaşık şekillerde kendiliğinden kompakt (sıkıştırılmış) şekillere katlanırlar. Polyesterler, poli(etilen glikol) gibi çoğu sentetik polimer ise daha basit, daha düzensiz yapılara sahiptir. Buna ek olarak, doğal olarak türetilen polimerler genellikle biyolojik olarak parçalanabilirler. Hücreler ve dokular gibi biyolojik birimlerle iyi etkileşime girerler. Ancak in vivo uygulamalarını büyük ölçüde sınırlayan bazı dezavantajlara sahiptirler. Bu dezavantajlar; sınırlı mekanik özellikler, kontrolsüz bozunma ve olası immünojenite gibi dezavantajlardır (van de ve Kiekens ,2002); Endres ve Siebert-Raths, 2011). Genellikle doğal biyolojik aktiviteden yoksun olan sentetik polimerler ise bileşim, yapı, mekanik özellikler ve bozunma davranışı bakımından iyi kontrol edilebilirlik sergilerler (Maitz, 2015).

Bu nedenle biyomedikal alanlarda doğal ve sentetik polimerlerin avantajlarından tam olarak yararlanmak büyük önem arz etmektedir.

Biyomedikal polimerler, akıllı ilaç dağıtımı, hastalık tespiti/teşhisi, biyoalgılama, rejeneratif tıp ve hastalık tedavisi gibi birçok biyomedikal alanda umut verici uygulamalarda kapsamlı bir şekilde geliştirilmiştir.

Polimer bazlı taşıyıcılar, kanserler, organ aşılı ve enfeksiyonlar gibi hastalıkların tedavisinde büyük fayda sağlamaktadır (Feng ve diğerleri, 2021; Hao ve diğerleri, 2021; Mora-Huertas, Fessi ve Elaissari, 2010).

Biyopolimerlere örnek olarak verilen polietilen (PE), poliüretan (PU), politetraoroetilen (PTFE), poliasetal (PA), polimetilmetakrilat (PMMA), polietilenteraftalat (PET), silikon kauçuk (SR), polisülfon (PS), poliaktik asit (PLA) ve poliglukolik asit (PGA) gibi çok sayıda polimer, tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır (Güven, 2014). Bununla birlikte, çok çeşitli bileşimlerde ve biçimlerde (film, lif, jel, nanopartikül) hazırlanabilmektedirler (Çırak Deniz, 2020).

Biyopolimerler

Biyopolimerlerin sınıflandırma kriterlerinden biri, ham madde kaynaklarına göre doğal, sentetik ve mikrobiyal biyopolimerler olmak üzere üç grup altında gruplanabilirler (Li, Zheng ve Chu, 2021; Awe ve diğerleri, 2017; Lelkes ve diğerleri, 2018). Doğal olarak üretilmiş biyopolimerler esas olarak proteinler veya polisakkaritlerden üretilmiş polimerler kapsamına girer. Hem bitki hem de hayvan kaynaklı protein biyopolimerleri arasında aljinat, keratinler, kollajen, elastin, zein, jelatin, fibrinojen, buğday gluteni, soya proteini, süt proteini, yumurta proteini ve peynir altı suyu proteini bulunur. Benzer şekilde, karbonhidrat türevi polimerlerin polisakkarit kaynakları arasında selüloz, agar, galaktanlar, pektinler, karragenan, aljinik asit, kitosan, hyaluronik asit, zamlar ve nişasta yer alır (Awe ve diğerleri, 2017; Lelkes ve diğerleri, 2018).

Sentetik polimerler arasında Poli laktik asit (PLA) yer alırken; petrol bazlı polimerler arasında Polietilen, poliamidler, Polistiren, Poli glutamik asit (PGA), polivinil alkol (PVA) ve Polikaprolakton (PCL) bulunur.

Mikrobiyal üretimden üretilen biyopolimerler arasında poli hidrokisi alkanoatlar (PHA'lar), poli hidrokisi bütirat (PHB), poli(3-hidroksibütirat-ko-3-hidroksivalerat) (PHBV), levan, curdlan, gellan, dekstran, bakteriyel selüloz, mikrobiyal polisakkaritler ise ekzopolisakkaritler, kapsüller polisakkaritler ve ksantandır (Udayakumar ve diğerleri, 2021).

Biyopolimerler, termal koşullara duyarlılıklarına göre ise; elastomerler, termosetler ve termoplastikler olarak sınıflandırılır.

Son olarak laminatlar ve kompozitler şeklinde üç kategoriye ayrılması ise bileşimlerine göre bir sınıflandırmadır. (Ashish, Sanjayb, Srisuk, Parameswaranpillai, ve Siengchin, 2020)

Birçok biyopolimerin, biyolojik olarak parçalanabilen veya biyolojik olarak parçalanamayan, doğal veya sentetik olarak üretilmiş başka bir biyopolimer ile karıştırılması söz konusudur. Bu durum, biyopolimer bile-

şiminde, keten, kenevir, sisal, odun ve çok daha fazlası gibi doğal olarak türetilmiş liflerle güçlendirilmiş, esas olarak biyo bazlı veya fosil yakıt bazlı polimerler olan biyo kompozitlerin gelişmesini sağlayan yeniliklere yol açmıştır (Ashish, Sanjayb, Srisuk, Parameswaranpillai ve Siengchin, 2020).

Doğal biyomedikal polimerler olarak peptitler, proteinler, polisakkaritler ve lipitler içeren mikrobiyal bileşenler, kanser hedefli tedavi için etkili nanoilaçlar tasarlamak ve hazırlamak için kullanılabilirler (Li, Zheng ve Chu, 2021).

Küçük molekülü ilaç dağıtımında kullanılan biyomedikal polimerler gibi bu alanda son on yılda muazzam ilerlemeler kaydedilmiştir. Bunlar arasında antikanser ilaç dağıtım sistemlerinin geliştirilmesi tipik bir örnektir (Chen ve diğerleri, 2022).

Bu gibi yeni yaklaşımların insan sağlığını korumaya ve sürdürmeye olanak sağlayacağı düşünülmektedir (Yücel ve diğerleri, 2022).

Günümüzde biyomedikal polimerler, yeri doldurulamaz özellikleri nedeniyle hassas nanotıp (terapötik, teşhis ve teranostik), doku mühendisliği ve rejeneratif tıpta önemli uygulamalara sahiptir ve klinik öncesi ve klinik çalışmaların araştırmalarında birçok çalışma yapılmıştır (Chen ve diğerleri, 2022). Örneğin, menisküs doku mühendisliğinde birçok biyomateryalden üretilen çatı implantları, hasarlı menisküsün yerini alacak ideal implantlar için araştırmalarda kullanılmıştır. Başlangıçta menisküsün tümüyle yerini alması amacıyla tasarlanan sert yapıda poliüretanlar çatı implantı olarak kullanılmış fakat kırıkdağı korumada başarısız bulunmuştur. Daha sonra poliüretana, polikaprolakton eklenmesiyle elde edilen çatı implantının uygun olduğu ve yan etki görülmediği bildirilmiştir. Menisküsün yerini alabilecek bir malzemenin hâlâ uzağında olduğunu çalışmalar bildirmekle birlikte, gelecekte bu yönde katedilecek yolun doku mühendisliği uygulamalarından geçeceğini bildirmişlerdir (Demirhan- Demirkıran, N. 2023). Bu yeni biyomalzemerler sayesinde mümkün olacaktır.

Kapsamlı araştırma yapılan bir diğer biyopolimer ise kitosandır. Kitosan antibakteriyel ve antifungal özelliklere sahip olması nedeniyle potansiyel bir doğal antimikrobiyal madde olarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kitosandan gıda, ilaç dağıtımı ve implantasyon uygulamalarından yararlanılmaktadır (Subajiny, Sarathadevi, Ashoka, Terrence, ve Sudhagar, 2020).

Kitosan, yara pansumanı ve diyet, doku mühendisliği, ilaç dağıtımı için Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç İdaresi (ABD FDA) ve Avrupa Birliği'nce genellikle güvenli olarak tanınan bir madde olarak onaylanmıştır (Munoz Bonilla ve diğerleri, 2019).

Biyomedikal kullanımlarda polimerlerin iki temel özelliğe sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler biyomedikal polimerlerin biyoyumluluğu ve biyolojik olarak parçalanabilirliğidir (Chen ve diğerleri, 2022).

Parçalanma terimi, ilk olarak olumsuz ya da istenmeyen bir durum gibi düşünülse de; özellikle vücut içinde belirli bir zaman aralığında aşamalı olarak parçalanabilme durumudur ve biyomedikal uygulamalarda öncelikli olarak aranan bir özelliktir. (Tamariz ve Rios- Ramírez, 2013; Kaplan ve Çalış, 2021).

Doku onarım malzemeleri gibi insan vücudu ile uzun süre temas halinde olması gereken polimer bazlı kardiyovasküler stentler bu malzemelere örnektir. Bu gibi polimerler uygun biyoyumluluğa sahip olmasının yanı sıra, vücudun inflamatuvar yanıtlarını ve immünolojik stres reaksiyonlarını tetiklememelidirler. Bu doğrultuda, polimer bazlı ilaç dağıtım sistemlerinin de in vivo yan etkileri azaltmak ve uygulanabilirliği geliştirmek için iyi bir biyoyumluluğa sahip olması gerekmektedir (Chen ve diğerleri, 2022).

Biyoyumluluk kadar biyopolimerlerin özellikleri uygulama alanlarındaki kullanıma elverişliliğini etkilemektedir (Udayakumar ve diğerleri, 2021). Bu bağlamda biyopolimerlerin özelliklerine değinmekte fayda görülmektedir.

Biyopolimerlerin özellikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Göreceli Özellikleri
- Sentezleyici Özellikleri
- Bileşen Özellikleri

Göreceli özellikler, bir polimerin yapısını ve kimyasal bileşimini saptıran temel ve doğal niteliklerini ifade etmektedir.

Göreceli özellikler, incelenen polimerin yoğunluğunu, çözünürlüğünü, şeffaflığını ve geçirgenliğini göstermektedir.

Sentezleme özellikleri kalite parametreleriyle, yani viskozite, optik saflık, mekanik özellikler, stabilite ve moleküler ağırlıkla ilişkilidir (Udayakumar ve diğerleri, 2021).

Daha öncede bahsedildiği gibi polimerlerin biyoyumluluk ve biyolojik olarak parçalanabilirlik özelliklerinin yanında biyomedikal malzeme olarak kullanılabilmesi için sahip olması gereken özellikler mevcuttur. Bunlar;

- Toksik olmayan biyoparçalanma ürünlere sahip olması
- Düşük antijenisite (immünojenisite),
- Yüksek biyoaktivite

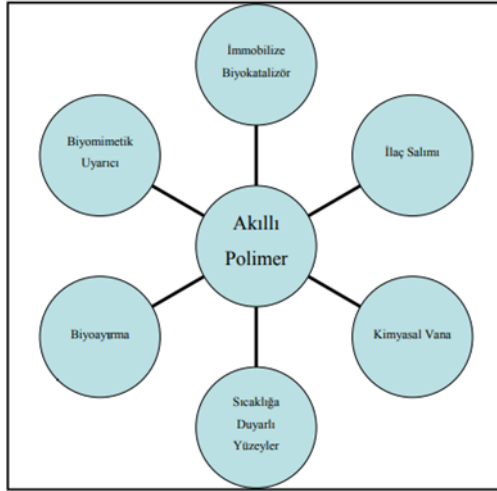
- Gözenekliliğinin uygunluğu
- Komplike şekillere işlenebilirlik
- İstenilen süre boyunca mekanik kuvvetini koruyabilme
- Hücre büyümesi ve çoğalmayı destekleme kabiliyeti (doku mühendisliği uygulamaları vb.) (Kaplan ve Çalış, 2021).

Bu aşamada 1990'lı yıllarda ilk olarak ifade edilen “akıllı polimerler” kavramına da değinmek gerekliliği doğmuştur. (Kaplan ve Çalış, 2021).

Akıllı polimerler, yaygın olarak hidrojeller olarak bilinmektedir. Hidrojeller suda çözünme özelliğine sahiptir. Aynı zamanda insan vücudu için tasarlanan ilk biyomalzeme olması yönünden de değerlidirler (Sözmen, 2008).

Cevap verdikleri uyarı türlerine polimerler göre sınıflandırılabilirler:

- Sıcaklık hassas polimerler
- pH hassas polimerler
- İyonik güce hassas polimerler
- Kimyasal maddelere hassas polimerler
- Işığa hassas polimerler
- Elektrik alana hassas polimerler
- Manyetik alana hassas polimerler (Sözmen, 2008).



Şekil 1. Akıllı polimerlerin biyoteknoloji ve tıp alanındaki kullanım alanları (Galaev ve Mattiasson, 1999).

Akıllı polimerler; pH, sıcaklık, elektrik veya manyetik alan, ışık yoğunluğu, biyolojik moleküller vb. tek bir uyarana veya çoklu uyaranlara karşı makroskobik yanıtlar verebilen polimerlerdir. Bu tip polimerler insan vücudunda arzu edilen fonksiyonları elde etmek ve spesifik yanıtları oluşturmak için ilaç taşıma, hastalıkların tanısı, doku mühendisliği ve rejeneratif biyotıp gibi çeşitli biyomedikal alanlarda kullanılabilir (Kaplan ve Çalış, 2021).

Akıllı polimerik jeller, şekil hafızalı polimerler, kendi kendini onaran/iyileştiren polimerler ve uyaranlara duyarlı polimerler olarak akıllı polimerler sınıflandırılabilir. Günümüzde oldukça dikkat çeken akıllı polimerler birbirleriyle oldukça güçlü bir etkileşime sahiptir ve biyomedikal uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadır (Mutlu ve Karagöz, 2023).

Akıllı polimerik ilaç taşıyıcı sistemlerin hastalıkların tanı ve tedavisi amacıyla kullanımında etken maddelerin polimerik yapıya kolayca yüklenmesi, hem hidrofilik hem de lipofilik ilaçların taşınabilmesi, ısıya dayanıksız ilaçlar için uygunluk gibi bazı avantajlara sahiptir. Bununla birlikte bazı dezavantajları da mevcuttur: polimerik sistemin biyoyumluluğunun kafi olmaması, toksisite verilerin yetersiz olması, ısıya dayanıksız ilaçların sıcaklığa bağlı olarak dayanıklılık problemi göstermesi bu dezavantajlar içerisinde (Kaplan ve Çalış, 2021).

Akıllı polimerlerin sahip olduğu dezavantajlar gibi biyopolimerlerde de dezavantaj olan durumlar görülmektedir. Bu durumlar arasında yüksek maliyet sayılabilir de; ucuz olan biyopolimerlerde vardır (Kadouche, 2017; Garavand, 2017).

Biyopolimerler arasında nişasta bazlı biyopolimerler ucuz olmaları yenilenebilirlikleri, biyolojik olarak parçalanabilirlikleri, bol bulunabilirlikleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Nişasta bazlı biyopolimerler yenilenebilir filmler üretmek için en umut verici biyopolimer olarak kabul edilmektedir (Nanda ve diğerleri, 2022).

Son zamanlarda, nişasta bazlı biyopolimer filmler, antimikrobiyal özelliklerini geliştirmek için bitkiden türetilmiş esansiyel yağlarla yaygın şekilde birleştirilmektedir. Bu yağlar tarçın, nane, portakal, limon, karanfil ve zencefilden elde edilen uçucu yağlardır. Etkili antimikrobiyal ve antibakteriyel aktiviteleri nedeniyle biyopolimerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Nanda ve diğerleri, 2022). Nişasta neme karşı hassas, mekanik özelliklerden ve termal stabiliteden yoksundur. Düşük erime sıcaklığı, kırılabilir yapı ve yüksek gaz geçirgenliği gibi yetersiz fiziksel özelliklere sahiptir (Abe ve ark. 2021).

Selüloz ise, tarım ve ormancılık kaynaklı lignoselülozik biyokütleden bulunan baskın doğal biyopolimerlerden biridir (Nanda ve ark. 2014). Se-

lülöz, bitkiler dışındaki organizmalar tarafından polimerize edilebilen bir polimerdir. Bakterilerle selülöz sentezi yapabilmektedir. *Acetobacter xylinum* ile yapılan selülöz sentezi en kapsamlı bakteriyel selülöz sentezidir (Das ve diğerleri, 2023).

Selülöz bazlı biyopolimerler biyolojik olarak parçalanabilirlikleri, yüksek dayanıklılıkları, mukavemetleri ve sertlikleri nedeniyle büyük ilgi çekmektedir (Okolie ve diğerleri 2021; Amorim ve diğerleri, 2020; Qasim ve diğerleri, 2021). Araştırmalar, selülözün pektin ve kitosan gibi diğer polisakaritlerle harmanlanmasının stabiliteyi, esnekliği ve şeffaflığı artırabileceğini öne sürmüştür (Yaradoddi ve diğerleri, 2020). Son araştırma çalışmaları, polimer üretiminde selülözün biyolojik olarak parçalanabilirliğini artıran biyo bazlı bir dolgu malzemesi olarak kullanıldığını göstermiştir (Nanda ve diğerleri, 2022).

Biyomalzeme olarak yaygın kullanılan bazı sentetik polimerler arasında polilaktik asit (PLA), poliglikolik asit (PGA), poliüretan, polikaprolakton (PCL), poliamit (Naylon), ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE), poli (tetraforetilen) (teflon), poliakrilatlar, polidimetilsiloksan (silikon) sayılabilirler (Yücel ve diğerleri, 2022). Bu polimerlerin bazı spesifik özellikleri incelendiğinde; PGA mükemmel lif oluşturma özelliğine sahiptir. Bu nedenle biyobozunur ameliyat ipliklerinin yapımında kullanılır (Yücel ve diğerleri, 2022).

PGA, doku mühendisliği uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan biyobozunur polimerlerdendir (Kemaloğlu-Doğan, 2014). Fakat vücut içinde bir iki ay içinde mekanik gücünü kaybetmektedir. Bu sebeple implant gibi uzun süreli uygulamalar için elverişli değildir (Yücel ve diğerleri, 2022). PGA'nın bu sınırına karşı; Poli L-laktik asit (PLLA) iyi gerilme mukavemeti ve yüksek modülüne sahip olması ortopedik vidalar gibi yük taşıma gerektiren implantlarda kullanılabilmesini sağlar (Yücel ve diğerleri, 2022).

Polilaktik asit ise, taze gıda ürünlerine yönelik yeşil ambalaj polimerinde yaygın olarak uygulanan bir polimerdir. Düşük üretim maliyeti, sertliği, mekanik mukavemeti, esnekliği, termal stabilitesi, düşük sıcaklıkta ısıyla yapıştırma yeteneğinin yanı sıra aroma ve tat direnci nedeniyle ambalajlamada olağanüstü özelliklere sahiptir (Jamshidian ve diğerleri, 2010; Nanda ve diğerleri, 2022).

Aynı zamanda (PLLA) menisküs tedavisi, greft dolgu ve koronoer stent gibi çeşitli biyomalzeme uygulamalarında da kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak kitosan, kollajen gibi doğal polimerlerle karıştırılarak da kullanılmaktadır. (Yücel ve diğerleri, 2022).

Polikaprolakton (PCL) ise sıcaklığa duyarlı biyoparçalanır bir poli-

merdir. Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi [U.S. Food and Drug Administration (FDA)] tarafından biyomalzeme olarak kullanımı onaylanan bir polimerdir. Polikaprolakton yapıları implantlar doğal dokuyu taklit edebilecek yeteneğe sahiptir. Bununla birlikte, biyouyumluluk, biyoparçalanırlık, kişiye özel 3 boyutlu şekillerde üretilebilme olanağı sunmaktadır (Kaplan ve Çalış, 2021). Aynı zamanda vücut ağırlığına dayanabilecek mekanik özellikte olması nedeniyle uzun süreli doku rejenerasyonu için uygun bir polimerdir. Kemik ve kıkırdak dokularının rejenerasyonu için kullanılan doku iskelerinin üretiminde kullanılmaktadır. (Yücel ve diğerleri, 2022; Kaplan ve Çalış, 2021).

Biyomalzeme olarak kullanılan bir diğer polimer olan poliüretanlar (PU'lar), çok çeşitli alanlarda kullanılan, geniş bir yelpazede fizikokimyasal, mekanik ve yapısal özellikler sergileyen önemli bir polimer ailesinin mensuplarıdır. Biyomedikal uygulamalara uygun oldukları kanıtlanmıştır ve bu alanda onlarca yıldır kullanılmaktadırlar (Wendels ve Av'rous, 2021). İyi biyouyumluluk ve mekanik özellikleri ile yara örtüleri, ortopedik uygulamalarda enjeksiyon formunda ve çeşitli biyomalzemelerin yapımında kullanılmaktadır. (Yücel ve diğerleri, 2022).

Poliamid 11 veya naylon 11 ise, naylon ailesine ait olan biyo bazlı bir polimerdir. Ayrıca biyolojik olarak parçalanmama özelliği, onu daha uzun ömürlü ürünlerin üretimindeki uygulamalarda etkili kılmaktadır (Nanda ve diğerleri, 2022). Poliamit yapısındaki H bağı nedeniyle PGA gibi mükemmel lif oluşturma özelliğine sahiptir. Ticari ismi Kevlar olan poliamit temelli malzeme lif yapısında üretilmektedir. Bu malzemenin spesifik mukavemeti çeliğin birkaç katıdır ve kompozit malzeme üretimi için uygundur. (Yücel ve diğerleri, 2022).

Eklem protezleri, kateter tüpleri, ameliyat iplikleri, yapay tendonlar ve yüz implantları gibi uygulamalarda ise ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE) tercih edilen bir polimerdir. Kimyasal olarak inert olması, yüksek darbe ve aşınma direnci göstermesi nedeniyle kalça ve diz eklemleri gibi yük taşıyan bölgelerde kullanılan ortopedik implantlarda tercih edilmektedir (Sepetçi, 2022; Yücel ve diğerleri, 2022).

Poli (tetrafloretillen) (teflon), kimyasal, mekanik olarak kararlı hidrofobik bir polimerdir. Kardiyovasküler dokularda (Ganeson ve diğerleri, 2023), sentetik damar grefti olarak cerrahi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. (Yücel ve diğerleri, 2022).

Poliakrilatlardan poli(metil metakrilat) kıkırdak onarımında Hyaluronik asit (HA) ile birlikte kullanımı dikkat çeken bir polimerdir. Metakrilattan türetilmiş HA (Hyaluronik Asit Metakrilat, HAMA), mekanik ve biyolojik olarak parçalanabilir özelliklerinden dolayı büyük ilgi görmüştür (Huang, Wang, Wang, Chen ve Tong, 2023). Poli(metil metakrilat) hidro-

fobik bir polimer olup, kalça ve diz eklemlerinin protezlerini sabitlemek için kemik çimentosunun içeriğinde yer almaktadır. Aynı zamanda yumuşak ve sert kontakt lenslerde, takma dişlerde ve çene protezlerinde kullanılmaktadır (Yücel ve diğerleri, 2022).

Polidimetilsiloksan (PDMS) ise, yüksek biyouyumluluğu, stabilitesi ve biyosensörlerin üretim süreçleriyle uyumluluğu nedeniyle film biyosensörleri çalışmalarında kullanılmaktadır (Chen ve diğerleri, 2022). Polidimetilsiloksan (Silikon) biyouyumlu olması ve toksik olmaması nedeniyle kalp kapakçıkları, parmak eklemleri, burun, çene, kulak implantları, göğüs implantları göz içi lensleri gibi çeşitli biyomalzemelerin yapımında kullanılmaktadır (Yücel ve diğerleri, 2022).

Sonuç

Polimerler ve biyopolimerlerle ilgili bu çalışmada paylaşılan bilgilerin biyomedikal uygulamalar için başarılı araştırmalara ilham vermesi arzu edilmektedir.

En az yeni malzeme üretimi kadar biyomedikal polimerlerin güvenlik konularının da irdelenmesi gerekliliği söz konusudur.

Bu nedenle, biyomalzemelerle ilgili uzun vadeli potansiyel toksisite endişesini gidermek amacıyla biyogüvenlik konusunda daha fazla çalışma yapılmalıdır ve bu hususun hayvan modellerinde dikkatli bir şekilde araştırılması ve yürütülmesi desteklenmelidir.

Bununla birlikte kalite kontrol, tekrarlanabilirlik ve büyük ölçekli imalat, biyomedikal polimerlerin mühendisliğinde aşılması gereken ek zorluklar olarak görülmektedir.

Tüm bu zorluklara rağmen yeni malzemeler ve uygulama alanlarının genişliliği umut vericidir.

Kaynaklar

- Abe, M.M., Martins, J.R., Sanvezzo, P.B., Macedo, J.V., Branciforti, M.C., Halley, P., Botaro, V.R., Brienzo, M. (2021) Advantages and disadvantages of bioplastics production from starch and lignocellulosic components. *Polymers*, 13,2484. <https://doi.org/10.3390/polym13152484>.
- Ashish, G., Sanjayb, M.R., Srisuk, R., Parameswaranpillai, J., Siengchin, S. (2020). A comprehensive review on chemical properties and applications of biopolymers and their composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154 (2020) 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.120>.
- Awe, O.W., Zhao, Y., Nzihou, A., Minh, D.P., Lyczko, N. (2017) A review of biogas utilisation, purification and upgrading Technologies. *Waste Biomass Valorization*, 8 267-283, <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9826-4>.
- Chen, W.H., Chen, Q.W., Chen, Q., Cui, C., Duan, S., Kang, Y. et. al. (2022). Biomedical polymers: synthesis, properties, and applications. *Science China Chemistry*, 65 (6) 1010-1075. <https://doi.org/10.1007/s11426-022-1243-5>.
- Das, A., Ringu, T., Ghosh, S., Pramanik, N. (2023) A comprehensive review on recent advances in preparation, physicochemical characterization, and bioengineering applications of biopolymers. *Polymer Bulletin*, 80, 7247–7312. <https://doi.org/10.1007/s00289-022-04443-4>.
- de Amorim, J.D.P., de Souza, K.C., Duarte, C.R., da Silva, D.I., de Assis Sales Ribeiro, F., Silva, G.S., de Farias, P.M.A., Stingl, A., Costa, A.F.S., Vinhas, G.M., Sarubbo, L.A., (2020) Plant and bacterial nanocellulose: production, properties and applications in medicine, food, cosmetics, electronics and engineering a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 851–869. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-00989-9>.
- Demirhan- Demirkıran, N. (2023). Menisküs doku mühendisliğinde yenilikler. *TOTBİD Dergisi*, 22, 31-37. <https://doi.org/10.5578/totbid.dergisi.2023.05>.
- Endres H.J., Siebert-Raths A. (2011). Engineering biopolymers. In: Endres H.J., Siebert-Raths A, Eds. *Engineering Biopolymers: Markets, Manufacturing, Properties and Applications*. Munich: Hanser Publications, 71148: 3-15.
- Feng, X., Xu, W., Xu, X., Li, G., Ding, J., Chen, X. (2021). *Science China Chemistry*, 64: 293-301.
- Galaev, I.Y., Mattiasson, B., 1999, ‘Smart’ polymers and what they could do in biotechnology and medicine, *Tibtech August*, 17, 335-340.
- Garavand, F., Rouhi M., Razav, S. H., Ilaria Cacciotti, I., Mohammadi, R. (2017) Improving the integrity of natural biopolymer films used in food packaging by crosslinking approach: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, A, 687-670. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.093>.

- Ganeson, K., Xue May, C.T., Ashraf Abdullah, A.A., Ramakrishna, S., Vigneswari, S. (2023) Advantages and Prospective Implications of Smart Materials in Tissue Engineering: Piezoelectric, Shape Memory, and Hydrogels. *Pharmaceutics*, 15, 2356. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15092356>.
- Gunatillake, P.A., Adhikari, R. (2003) Biodegradable synthetic polymers for tissue engineering. *European Cells & Materials*, 5, 1-16.
- Güven, Ş.Y. (2014). Biyouyumluluk Ve Biyomalzemelerin Seçimi. Suleyman Demirel University. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 2(3), SI:BioMechanics, 303-311. ISSN: 1308-6693.
- Hacker, M.C., Krieghoff, J., Mikos, A.G. (2019). *Principles of Regenerative Medicine*. Boston: Academic Press, 559-590.
- Hao, K., Guo, Z., Lin, L., Sun, P., Li, Y., Tian, H., Chen, X. (2021). *Science China Chemistry*, 64: 1235-1241.
- Huang, X., Wang, Z., Wang, H., Chen, D., Tong, L. (2023). Novel strategies for the treatment of osteoarthritis based on biomaterials and critical molecular signaling. *Journal of Materials Science&Technology*, 149, 42-55.
- Jamshidian, M., Tehrani, E.A., Imran, M., Jacquot, M., Desobry, S. (2010) Poly-lactic acid: production, applications, nanocomposites, and release studies. *Comp Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 552–571. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x>.
- Kadouche, S., Farhat, M. Lounici, H., Fiallo, M., Sharrock, P., Mecherri, M., Haddioui, M. (2017) Low Cost Chitosan Biopolymer for Environmental Use Made from Abundant Shrimp Wastes, *Waste Biomass Valor*, 8, 401–406. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9593-2>.
- Kaplan, M., Çalış, S. (2021). Biyopolimerler ve Akıllı Polimerlere Genel Bakış, Akıllı Polimerlerin Biyomedikal Alandaki Uygulamaları: Geleneksel Derleme. *Literatür Eczacılık Bilimleri Dergisi*, 10(3), 358-71. <https://10.5336/jpharmsci.2021-83355>.
- Lelkes, P.I., Marcinkiewicz, C., Lazarovici, P., Baharlou, S.M., Gerstenhaber, J.A. et al., (2018) Soy-derived bioactive peptides for use in compositions and methods for wound healing. *Tissue Eng. Regen. Med*.
- Li, Y., Zheng, X., Chu, Q. (2021). Bio-based nanomaterials for cancer therapy. *Nano Today*, 38, 101134. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2021.101134>.
- Maitz, M.F. (2015) Applications of Synthetic Polymers in Clinical Medicine. *Biosurface and Biotribology*, 1, 161-176. <https://doi.org/10.1016/j.bsbt.2015.08.002>.
- Mutlu, D., Karagöz, İ. (2023) Akıllı malzeme olarak polimerler ve uygulamaları. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 274-299. <https://10.36306/konjes.1106955>.

- Mora-Huertas, C.E., Fessi, H. and Elaissari, A. (2010) Polymer-Based Nanocapsules for Drug Delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 385, 113-142. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2009.10.018>
- Munoz-Bonilla, A., Echeverria, C., Sonseca, A., Arrieta, M. P., & Fernandez Garcia, M. (2019). Bio-based polymers with antimicrobial properties towards sustainable development. *Materials* (Basel), 12, 641.
- Nazlı Nadire Sözmén (2008). Biyomedikal Uygulamalarında Akıllı Polimer Kullanılması ve Karakterizasyon Yönteminin Kuartz Kristal Mikro Dengeleyici Sistemler İle Geliştirilmesi [Yüksek Lisans Tezi] Başkent Üniversitesi. Ankara.
- Nanda, S., Patra, B.R., Patel, R., Bakos, J., Dalai, A.K. (2022) Innovations in applications and prospects of bioplastics and biopolymers: a review. *Chemistry Letters*, 20, 379–395. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01334-4>.
- Okolie, J.A., Nanda, S., Dalai, A.K., Kozinski, J.A. (2021) Chemistry and specialty industrial applications of lignocellulosic biomass. *Waste Biomass Valor*, 12, 2145–2169. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01123-0>.
- Qasim, U., Osman, A.I., Al-Muhtaseb, A.H., Farrell, C., Al-Abri, M., Ali, M., Vo, D-V.N., Jamil, F., Rooney, D.W. (2021) Renewable cellulosic nanocomposites for food packaging to avoid fossil fuel plastic pollution: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 613–641. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01090-x>.
- Sarıkaya, Y. (2017). *Fizikokimya*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Seçkin, T. (2015). Polimer kimyası, Seçkin, 42, Ankara. ISBN: 978-975-02-3275-6.
- Sepetçi, S. (2022). Sözlü Karar Analizi Yöntemi Temelinde Salgın Durumlarında Polimerik Biyomalzeme Üreten Firmaların Kalite Performanslarının Değerlendirilmesi [Yüksek Lisans Tezi] Başkent Üniversitesi.
- Subajiny, S., Sarathadevi, R., Ashoka, G., Terrence, M., Sudhagar, M. (2020). Antioxidant and antimicrobial applications of biopolymers: A review. *Food Research International*, 136, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109327>.
- Tamariz E, Rios- Ramírez A. (2013). *Biodegradation of medical purpose polymeric materials and their impact on biocompatibility*. In: Chamy R, Rosenkranz F, (Eds). *Biodegradation: Life of Science*. 1st ed. Rijeka: Intech, 1-29.
- Taşdemir, M. (2016). Polimer Karışımları ve Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Udayakumar, G.P., Muthusamy, S., Selvaganesh, B., Sivarajasekar, N., Ramba-bu, K., Banat, F., Sivamani, S., Sivakumar, N., Hosseini-Bandegharaei, A., Show, P.L. (2021) Biopolymers and composites: Properties, characterization and their applications in food, medical and pharmaceutical industries. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 105322. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105322>.

- Uyar, T. (2001). *Organik Kimya*, 1. Baskı, Ankara.
- Van de Velde K, Kiekens P. (2002). Biopolymers: overview of several properties and consequences on their applications. *Polymer Testing*, 21, 433-442. [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(01\)00107-6](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(01)00107-6).
- Wendels, S., Av'eros, L. (2021). Biobased polyurethanes for biomedical applications. *Bioactive Materials*, 6 (4) 1083-1106. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2020.10.002>.
- Yaradoddi, J.S., Banapurmath, N.R., Ganachari, S.V., Soudagar, M.E.M., Mubarak, N.M., Hallad, S., Hugar, S., Fayaz, H. (2020). Biodegradable carboxymethyl cellulose based material for sustainable packaging application. *Scientific Reports*, 10, 21960. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78912-z>.

