

FEN BİLİMLERİ VE MATEMATİK

ALANINDA TEORİ VE ARAŞTIRMALAR

Ekim 2022

EDİTÖRLER

PROF. DR. AHMET AKSOY

PROF. DR. HASAN AKGÜL

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana
Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi
Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2022
ISBN • 978-625-7276-00-9

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing.

Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Yalı Mahallesi İstikbal Caddesi No:6

Güzelbahçe / İZMİR

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

Fen Bilimleri ve Matematikte Teori ve Araştırmalar

Ekim 2022

Editörler

Prof. Dr. Ahmet AKSOY
Prof. Dr. Hasan AKGÜL

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

KARAYOSUNLARININ BİYOLOJİK AKTİVİTE ÖZELLİKLERİ
VE İN VİVO ÇALIŞMALAR İÇİN TERCİH EDİLEBİLİRLİĞİ;
DİCRANUM SCOPARIUM ÖRNEĞİ

Tayyibe Beyza YÜCEL 1

Bölüm 2

ANTİFRİZ PROTEİNLERİ

Seda VURAL AYDIN, Duygu TANRIKULU, Muhitdin YILMAZ . 17

Bölüm 3

ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZİ

Hülya Sayğı.....37

Bölüm 4

DİZİ UZAYLARI

Lale CONA77

Bölüm 5

BİYOKÜTLE KAYNAKLI YAKIT ÜRETİMİ

Birce Pekmezci Karaman91

Bölüm 6

BİTKİLERDE HASTALIK DİRENCİNİN GELİŞTİRİLMESİNDE RNAİ
VE CRISPR/CAS PERSPEKTİFİNDEN GENETİK MÜHENDİSLİĞİ

Oksal MACAR..... 117

Bölüm 7

ZOONOTİK HASTALIKLAR

Adile Akpınar 139

Bölüm 8

EKONOMİK AÇIDAN ZARARLI GEOMETRIDAE TÜRLERİ
HAKKINDA BİLGİLER

Mürşit Ömür KOYUNCU, Mehmet YARAN 149

Bölüm 9

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA ARBÜSKÜLER MİKORİZAL
FUNGUSLAR ve BİYOGÜBRE OLARAK KULLANIM POTANSİYELİ

Aydın ATAKAN 161

Bölüm 10

GIDA İŞLETMELERİNDE ENTEGRE YÖNETİM SİSTEMLERİ

Haydar Kurt, Seval Andıç 175

Bölüm 11

Antalya İl Genelinde Yapılmış Olan Bazı Flora Çalışmaları

Orhan ÜNAL, Meryem GÖKOĞLU 197

Bölüm 12

NÖRAL GEN EKSPRESYONUN EPİGENETİK DÜZENLEMESİ

Aslı GİRAY 207

Bölüm 13

ANTALYA İLİNDE GÖRÜLEN VEJETASYON TİPLERİ

Orhan ÜNAL 225

Bölüm 14

KENTSEL ALANLARDA ERGONOMİK TARIM OLANAĞI
OLARAK HİDROPONİK TARIM SİSTEMİ

Mehmet Hakan GÜZEL, Sevgi DURNA DAŞTAN 239

Bölüm 15

İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİNİN ENDOFİTİK FUNGUSLARIN
YAŞAM TARZINA POTANSİYEL ETKİSİ

Derya İŞLER CEYHAN, Olcay DEDECAN, Canan CAN 253

Bölüm 16

ZEHİRLİ MANTARLARA DİKKAT!

Hakan ALLI 265

“

Bölüm 1

**KARAYOSUNLARININ BİYOLOJİK
AKTİVİTE ÖZELLİKLERİ VE İN
VİVO ÇALIŞMALAR İÇİN TERCİH
EDİLEBİLİRLİĞİ; DİCRANUM
SCOPARIUM ÖRNEĞİ**

Tayyibe Beyza YÜCEL¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Giresun Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0002-2632-8325>

”

1. GİRİŞ

Bryofitler, kapalı tohumlu bitkilerden sonra en büyük ikinci bitki grubu olup filogenetik olarak algler ve pteridofitler arasında bulunur. Yaklaşık olarak 24.000 türü bulunan bryofitler toprak, kaya veya damarlı bitkilerin gövdeleri ve yaprakları üzerinde genellikle nemli yerlerde yetişen kolonyal organizmalardır (Bandyopadhyaya & Dey, 2022). Bryofitler sıcak ve kurak hava şartlarında uyku durumuna geçerek şartlar normale döndüğünde yaşamsal faaliyetlerini yeniden yerine getirmektedir. Bu özellikleri ile yaklaşık 450 milyon yıl önceden günümüze kadar varlıklarını sürdüren en eski karasal bitkilerdendir (Sing & Srivastava 2013). Besin olarak kullanım alanı bulunmasa da Kuzey Amerika ve Çin gibi bazı ülkelerde geleneksel tedavi amaçlı olarak bazı hastalıkların (bronşit, tonsilit, tüberküloz, yanık, çürük vb) tedavisinde kullanılmaktadır. Bunun yanında radyoaktif elementleri ve kirletici molekülleri absorbe etme kapasitesinden dolayı kentsel ve endüstriyel alanlardaki hava ve topraktaki kirlilik düzeyi tespitinde biyoindikatör maddeler olarak kullanılmaktadır. Bryofitler, karayosunları (Bryophyta), çiğerothları (Marchantiophyta) ve boynuzlu çiğerothları (Anthocerotophyta) olarak 3 gruptan oluşurlar.

Bryofit grubu içinde bulunan çiğerothları, karayosunları ve bulunan karayosunları bu grubun en kalabalık alt üyesidir. Su tutma kapasitelelerinin yüksek olması sebebiyle buldukları toprağı su açısından zenginleştirme ve toprağı havalandırma gibi fonksiyonlara sahiptir. Bunun yanı sıra buldukları ortamda diğere bryofit türlerine de baskınlık gösterirler. *Tortula*, *Polytrichum*, *Grimmia*, *Bryum*, *Mnium* cinslerine ait türler bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Türkiye’de yaklaşık olarak 1050 kadar taksonla çeşitlilik gösteren karayosunları hakkındaki ilk çalışmalar ülkemizde 1800 lü yıllarda başlamaktadır (Abay vd., 2021; Batan vd., 2022; Erdağ & Kürschner, 2017). Karayosunları hakkındaki çalışmaların büyük bir kısmı karayosunlarının taksonomik bilgileri ile ilgili çalışmalar olup; karayosunlarının sosyolojisi, ekolojisi ve antimikrobiyal vb. biyolojik aktiviteler gibi konular hakkında yaklaşık olarak 350 tane araştırma çalışması bulunmaktadır (Erdağ ve Kürschner; 2017).

Bryum, *Mnium* ve *Philonotis* ve *Atrichum*, *Dicranum*, *Mnium*, *Polytrichum* ve *Sphagnum* karayosunu türlerinin bazı toplumlarda geleneksel olarak bazı hastalıkların tedavisinde kullanıldığı, daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarla bazı karayosunu türlerinin yüksek antibiyotik etkiye sahip oldukları bulunmuştur.

Apigenin, luteolin, kaempferol ve orobol glikozitler ve bunların dimmerleri de yosunlarda bulunur (Zinsmeister vd., 1991; Basile vd., 1999).

Flavonoidler içeren çeşitli tıbbi bitki özlerinin antimikrobiyal aktivite gösterdiği bildirilmiştir (Waage & Hedin, 1995).

Deneysel olarak yapılan çalışmalarda ciğerotlarının ve karayosunlarının kimyasal yapılarında oligo ve polisakkaritler, yağ asitleri, terpenoidler, sekonder metabolitler, flavonoidler, alkaloidler gibi biyolojik aktiviteye sahip bileşik yapılarının aydınlatılmasından dolayı fitokimyasal yapıları ve çeşitli biyolojik aktiviteleri ile ilgili çalışmaların sayısı son yıllarda oldukça artmıştır. Karayosunu türlerinin antifungal, antiviral antikanser, anti-inflammatuar aktivitelerinin yanı sıra sitotoksik, antitümör, kardiotonik, antialerjik gibi farklı aktivite çalışmalarının da yapıldığı görülmektedir (Asakawa vd., 2013; Onbaşlı & Yuvalı, 2021; Klavina ve ark., 2015; Yayın-taş vd., 2019; Gürsu vd., 2010; Yücel, 2020).

Alem: Bitki

şube: Bryofit

Sınıf: Dicranidae

Aile: Dicranaceae

Tr: Dicranum

Bilinen isim: atal yosun, rüzgarla savrulan yosun

Dicranum cinsi, Dicranaceae ailesinden olup 86 türü içeren en geniş karayosunu cinsinden biridir ve Avrupa lkelerinin bir çoğunda çok yaygın dağılım göstermektedir (Lang & Stech, 2014). Bu yosunlar yoğun halde kümelenmiş halde oluşur. Sapları dallanmadan atallanabilir. Genel olarak, dik gövdeleri tek olacak şekilde ancak birlikte bir bütün olarak bulunur. Türlerine ait birimler genellikle peyzaj alanında zemin örtüsü olarak kullanılır. Bunlardan birkaçı aşağıda gösterilmiştir.



Dicranum montanum



Dicranum majus



Dicranum polysetum



Dicranum bonjeani



Dicranum scoparium

Dicranum türüne ait Türkiye’de 14 takson vardır. Türkiye’de yayılım gösterdiği bölgeler nemli yerlerde çoğalma özelliklerinin olmasından dolayı daha yoğun olarak denize kıyısı olan bölgelerde olmak üzere tüm Türkiye’de görülmektedir (Öztürk, 2014). *Dicranum* cinsinin birçok türüne ait ekstraktların biyolojik aktivite çalışmaları yapılmış olup, oldukça yüksek biyolojik aktivite sonuçlarına sahip olan türleri bulunmaktadır. Bunların yanı sıra fenolik bileşiklerin, lipidlerin ve yağ asitlerinin de *Dicranum* türlerinde tayin edildiği çalışmalar mevcuttur (Mishra vd., 2014; Wasley vd., 2006).

Dicranum polysetum etanol ve kloroform ekstraktları ile yapılan çalışmalar da *Staphylococcus carnosus* bakterisine karşı oldukça yüksek aktivite gösterdiği bulunmuş olup, bunun yanı sıra etanol ve kloroform ekstraktının GC/MS analizinin yapıldığı çalışmalar bulunmuştur (Altuner vd., 2014; Klavina vd., 2015).

Klavina ve ark. tarafından yapılan bu çalışmada etanol ekstratı çeşitli kanser hücreleri üzerinde antiprolatif aktivite çalışması yapılmış ve çalışılan 11 karayosunu ekstraktı içinde *D. polysetum*’un (0.9–5 µg/mL) sıçan glioma hücrelerinde oldukça yüksek aktivite gösterdiğini bulmuşlardır.

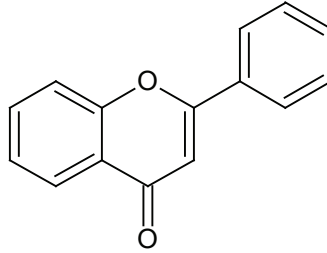
Dicranum cinsinden olan *D. majus* fenolik bileşimin çalışıldığı ve yüksek antioksidan aktivite bulunduğu çalışmalar, *D. polysetum* Sw etanol ekstraktının antimikrobiyal aktivite tayininin yapıldığı çalışmada gram pozitif ve gram negatif bakteriler üzerinde oldukça yüksek aktivite gösterdiği tespit edilmiştir (Altuner vd., 2014)

1.1. *Dicranum scoparium* genel özellikleri

‘Süpürge çatalı’ (Broom forkmoss) olarak bilinen *D. scoparium* genellikle kaba ve sağlam yapıya sahiptir. Boyları 2-8 cm yüksekliğinde parlak yumaklar halinde olan yünlü saplarıyla toprağa tutunan genellikle gölge ve genelde asidik toprakta daha iyi yetişen bir karayosunu türüdür. *D. scoparium*, yosununun kökleri oldukça yüksek kapasitede suyu emebilme yeteneği yanında, toprağa sıkıca tutunmasını da sağlar.

D. scoparium insan vücudunda antioksidan bir bileşik olarak önemli rol oynayan yüksek oranda prostaglandin benzeri doymamış yağ asitleri içerir (Yücel, 2021). Bunun yanında *D. scoparium*, bir biflavon bileşiği olan 5',3'-di-hidroksiamentoflavonun izole edildiği ilk yosundur (Geiger vd., 2014).

Daha sonraki çalışmalarda bu karayosunu türünün kimyasal yapısında 5',3'-di-hidroksiamentoflavon biflavon bileşiğine izomer yapısı ve biyogenetik olarak yakından ilişkili olan 5',3'-dihidroksirobustafavon bileşiğinin eşlik ettiği bulundu. Flavonoidler bilinen adıyla biyoflavonoidler, bitkisel kaynaklı sekonder metabolitlerdir. Sayıları 4000'in üzerinde olabileceği düşünülen bu bileşikler soğan, baklagiller, armut, şeftali, kırmızı lahana, domates gibi daha çok renkli besinlerde (kırmızı, yeşil, sarı) bol miktarda bulunmaktadır.



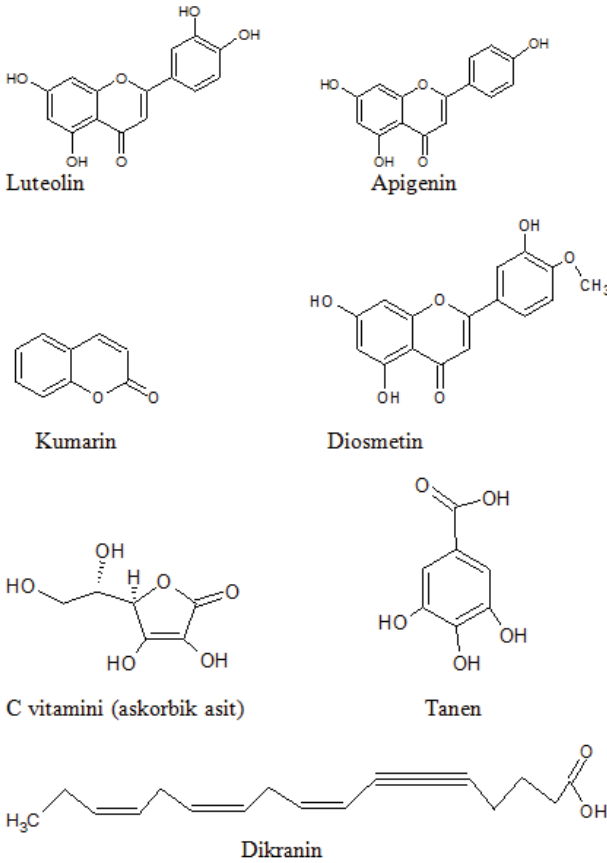
Şekil 1. Flavonoidlerin genel yapısı

Flavonoidlerin genel yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir. Flavonoidler flavanon, flavanol, flavanon, flavonol, antosiyanidin ve izosiyanidin olmak üzere 6 başlık altında türleri bulunmaktadır. Flavonoidler hakkında yapılan in vitro çalışmalarda çeşitli biyolojik ve farmakolojik aktiviteler gösterdiği bulunmuştur. Bunlara örnek verecek olursak; antialerjik, antiinflamatuvar, antioksidan, antimikrobiyal (antibakteriyel, antifungal ve antiviral), antikanser ve antidiyabet gibi biyolojik aktivite çalışmaları bulunmaktadır (Cazarolli vd., 2008; Friedman, 2007; Narayan vd., 2010; Manner vd., 2013).

2. Biyolojik aktivite çalışmaları

1970li yıllarda *D. scoparium* yosununun kimyasal yapısıyla ilgili çalışmaların sayısında oldukça artış olduğu görülmektedir. Bunların birçoğu, bu karayosunu türünün yapısında bulunan biyolojik aktivite için oldukça önemli birleşikler olan flavanoid sınıfı bileşiklerin bu yosun türünün yapısında teşhis edilmesiyle ilgilidir (Österdahl, 1978a; Österdahl, 1978b; Österdahl, 1983; Voight, 1993). Bu çalışmalardan bir kaçında *D. scoparium* yapısında bir flavon yapılı bileşik olan 5',8''-biluteolinin bulunduğu, yine bir flavanoid bileşiği olan apigeninin türev bileşiği apigenin-7-triglikozit bileşiği tespit edilmiştir (Linderberg vd., 1974; Nielsson vd., 1973).

Literatüre bakıldığında bu karayosununun diklorometan çözücüsüyle elde edilen ekstraktan dikranin olarak isimlendirilen IUPAC ismi *Z,Z,Z*-octadec-6-in-9,12,15-trienoik asit olan bir bileşiğin izolasyonunun yapıldığı ve bu bileşiğin antimikrobiyal ve 15-lipoksigenaz enzim aktivitesinin bulunduğu bir çalışma mevcuttur (Borel vd., 1993).



Şekil 2. Karayosunlarında bulunan bazı flavanoid bileşikleri

D. scoparium ait literatürde birçok fotokimyasal ve çeşitli biyolojik aktivite çalışmaları mevcut olup su, metanol, aseton, kloroform, etanol ve etil asetat gibi çeşitli organik çözücülerle hazırlanan ekstraktlarının antimikrobiyal, antioksidan antiproliferatif aktivite, toplam flavanoid ve fenolik madde, steroid, glikozit, kumarin, tanen, saponin, triterpenoit ve vitamin içeriği, bal arıları üzerinde bakteriyel hastalıklara karşı antimikrobiyal ve sitotoksik aktivite çalışması gibi birçok analiz ve tayin çalışmaları bulunmaktadır (Aydın, 2020; Karaoğlu vd., 2022; Savaroğlu vd., 2018; Abay vd., 2015; Veljic vd., 2008; Semerjyan vd., 2020).

D. scoparium Hedw. türünde içinde olduğu çeşitli karayosunu örneklerinde toplam fenolik içeriklerin çalışıldığı ve antioksidan aktivite çalışması sonucunda yüksek değerlerin bulunduğu çalışma da mevcuttur (Öztürk vd., 2022).

D. scoparium, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* ve *Sarcinalutea* gibi gram pozitif bakteriler üzerinde antimikrobiyal etkiler gösterdiği gram negatif *E. coli*'ye karşı aktivitenin bulunmadığı çalışma da literatürde görölmektedir (Nikolajeva vd., 2012).

3. Sonuç

D. scoparium hakkındaki çalışmalara ve sonuçlarına bakıldığında özellikle antioksidan çalışmaları üzerinde yoğunluk olduğu ve buna bağlantılı olarak toplam fenolik ve flavanoid içeriği, antimikrobiyal, antibakteriyel, sitotoksik aktivite çalışmaları, vitamin, sterol ve yağ asidi içerikleri gibi birçok kimyasal ve biyolojik araştırmaların yapıldığı görölmektedir (Demirbağ, 2019). Bu çalışmaları ortak noktası olarak farklı çözücü sistemleri (su, aseton, metanol, etanol, kloroform, dietileter, etil asetat) kullanılarak hazırlanan ekstraktların oldukça spesifik bakteriler üzerinde spesifik aktivite göstermeleri ve bu etkiyi göstermelerini sağlayan flavonoid ve fenolik bileşiminin analiz çalışmalarıyla detaylandırılmasıdır.

Tablo 1. *D. scoparium* karayosununda bulunan fenolik, lipid, vitamin türleri

Numara	Bileşik	Miktar	Kaynaklar
	Fenolik asit bileşikler		
1	Protokateşuik asit (metanol ekst)	3.75(mg/100g)	Savaoğlu vd., 2018
2	p-hidroksibenzoik asit(metanol ekst)	3.87(mg/100g)	Savaoğlu vd., 2018
3	o-kumarik asit(metanol ekst)	4.06(mg/100g)	Savaoğlu vd., 2018
4	tr-sinnamik asit(metanol ekst)	3.79(mg/100g)	Savaoğlu vd., 2018
5	Protokateşuik asit(etilasetat ekst)	26.96(mg/100g)	Savaoğlu vd., 2018
6	p-hidroksibenzoik asit(etilasetat ekst)	12.30(mg/100g)	Savaoğlu vd., 2018
7	Vanilik asit (etilasetat ekst)	1.20(mg/100g)	Savaoğlu vd., 2018
8	p-kumarik asit(etilasetat ekst)	1.91(mg/100g)	Savaoğlu vd., 2018
9	o-kumarik asit(etilasetat ekst)	13.33(mg/100g)	Savaoğlu vd., 2018
10	tr-sinnamik asit(metanol ekst)	3.31(mg/100g)	Savaoğlu vd., 2018
11	Vanilik asit	21.93 (µg/g)	Demirbağ, M. 2019
12	Sinnamik asit	0.23 (µg/g)	Demirbağ, M. 2019
13	Gallik asit	63.1 (µg/g)	Demirbağ, M. 2019
	Flavanoidler	(µg/g)	
14	Rutin	1.5	Demirbağ, M. 2019
15	Mirsetin	0.1	Demirbağ, M. 2019
16	Morin	0.03	Demirbağ, M. 2019
17	Kuersetin	0.03	Demirbağ, M. 2019
18	Naringin	0.1	Demirbağ, M. 2019
19	Naringenin	0.03	Demirbağ, M. 2019
20	Dikranin	-	Boel vd., 1993
21	Apigenin-7-triglikoside	-	Nielsson vd., 1973
22	Diosmetin-O-triglikoside	-	Österdahl 1978a
23	Luteolin		Lindberg vd.,1974
	Doymuş yağ asitleri	(µg/g)	
24	Miristik asit	0.35	Aydın, 2020
25	Palmitik asit	5.62	Aydın, 2020

26	Stearik asit	1.75	Aydın, 2020
	Doymamış yağ asitleri		
27	Linoleik asit	2.21	Aydın, 2020
28	α -Linolenik asit (18:6 n6)	0.25	Aydın, 2020
29	α -Linolenik asit (18:6 n3)	3.61	Aydın, 2020
30	Eikosatrienoik asit	2.29	Aydın, 2020
31	Eikoapentanoik asit	0.35	Aydın, 2020
	Fitosterol bileşikler	(μ g/g)	
32	Ergosterol	0.02; 30.9	Aydın, 2020; Demirbağ, M. 2019
33	Stigmasterol	7.88; 40.75	Aydın, 2020; Demirbağ, M. 2019
34	Betasterol	1.34 ; 33.7	Aydın, 2020; Demirbağ, M. 2019
	Triterpenler	(μ g/g)	
35	stigmast-2-en	8.0	Karaoğlu vd., 2022
36	stigmasta-5,7,22-trien-3-ol	19.3	Karaoğlu vd., 2022
37	Poriferasterol	9.4	Karaoğlu vd., 2022
	Vitaminler		
38	D2	2.94	Aydın, 2020
39	D3	0.30; 0.12	Aydın, 2020; Demirbağ, M. 2019
40	R-tokoferol	0.47; 0.8	Aydın, 2020; Demirbağ, M. 2019
41	Retinol	0.02	Aydın, 2020

Bu tablodaki bileşik sınıflarının tür tayin ve miktar çalışmalarının yanı sıra, toplam fenolik ve toplam flavonoid bileşiklerin tayin çalışmaları da bulunmaktadır. Karaoğlu vd., (2022) tarafından yapılan çalışmada, *D. scoparium*un metanol ekstraktında toplam flavonoid 289.43 μ g/mL, toplam fenolik miktarını ise 133.98 mg/g olarak bulmuşlardır. Savaroğlu ve ark., (2018) *D. scoparium*'un etil asetat ve metanol ekstraktlarının toplam fenolik bileşikleri oranı 105.21 mg/g ve 81.90 mg/g olarak bulmuşlardır. Gaurav ve ark., (2017) yılında yaptıkları *D. scoparium*'un da olduğu karayosunlarının petrol eteri, kloroform, aseton, etanol ve metanol ekstraktlarının toplam fenolik bileşiklerinin bulunduğu çalışmalarında en yüksek fenolik bileşik miktarının metanol ekstraktında olduğunu ve bu ekstraktın antioksidan aktivitesinin de en iyi sonuca sahip olduklarını bulmuşlardır (Gaurav vd., 2018). Mitra ve ark., *D. scoparium*'un su, metanol, etanol, kloroform, dietil eter ve hekzan ekstratlarının antioksidan ve fotokimyasal

analiz çalışmasında içerik olarak steroid, terpenoid, kumarin, fenolik, flavanoid, tanen ve saponin tavin sonucunda en zengin ekstraktların su (steroid), metanol (steroid, flavanoid), etanol (flavanoid), kloroform (terpenoid) açısından oldukça zengin olduklarını bulmuşlardır (Mitra vd., 2019).

Damar ve mukozal yapıyı küçültücü etkisin bulunduğundan dolayı üst solunum yolu hastalıklarından olan bademcik, ve farenjit, bazı deri hastalıklarında ve basur tedavisinde kullanılan ilaçların yapımına giren tanen bileşiği bu çalışmada *D. scoparium*'un su, metanol ve etanol ekstraktlarında tespit edilmiştir.

Bunun yanı sıra, *D. scoparium*'un fotokimyasal analizi sonucunda bulunan fitosterol bileşik sınıfı da oldukça önemlidir. Fitosteroller kabuklu yemişler, meyveler ve sıvı (bitkisel) yağların bütün çeşitlerinde yüksek oranda bulunan yapısal olarak kolesterola benzeyen triterpen bileşiklerdir. İnsan sağlığına etkileri, antiinflamatuvar, antikanser, ve kandaki kolesterol ve lipid seviyesini azaltmak gibi birçok faydası bulunmaktadır. Son yıllarda oldukça hızla artan koroner kalp rahatsızlıklarının temel nedeni olan kolesterolün, vücuttaki emilimini azaltan fitosterol bileşikler kalp hastalıklarının önlenmesi ve tedavisinde oldukça önemli bileşiklerdir.

Canlılar doymamış ve yapısında tek çift bağ bulunan doymuş yağ asitlerini sentezini kendileri yapabilirken, 2 ve üstünde çift bağ bulunan yağ asitlerini besinler yoluyla almaları gerekir. Esansiyel yağ asitleri olarak bilinen bu yağ asitleri eikozanoid bileşiklerinin de öncüsüdür. Hücre işlevlerinin en güçlü düzenleyicilerinden biri olan eikozanoid bileşikleri üreme (hormon yapısı), sindirim (enzim yapısı) ve bağışıklık sisteminde (antiinflamatuvar) oldukça faydalı bileşik sınıfıdır. *D. scoparium* ekstraktının analiz çalışmalarında Tablol'de görüldüğü gibi 2 ve 3 çift bağlı linoleik ve linolenik asit; eikozanoid asitlerden de bulunduğu görülmektedir.

Antimikrobiyal araştırma sonuçlarına göre Veljic ve ark., (2008) %80 metanolla hazırladıkları ekstraktın *Staphylococcus epidermidis* ATCC12228 Gram pozitif üzerinde 29,3 mm zon çapıyla iyi bir antimikrobiyal etki gösterdiği, yine gram pozitif bakteri olan *B. cereus* ATCC 10707 üzerinde antibakteriyel etki gösterdiğini bulmuşlardır. Benzer çalışma Nikolajeva ve ark. tarafından yapılan çalışmada da bulunmuş olup gram negative gram negative bakteri olan *E. coli* üzerinde antimikrobiyal etki bulamamışlardır. Bu çalışmaların sonuçlarına bakıldığında *D. scoparium*'un metanol ekstraktının Gram pozitif bakteriler üzerinde daha etkili olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Deri ve yumuşak doku infeksiyonları Gram-pozitif bakterilerden dolayı oldukça sık görülen hastalıklar arasında büyük bir yer tutmaktadır. Bu tür hastalıkların tedavisinde destek ürünler olarak kullanılan

kremler de bitki ekstraktlarının olması daha az yan etkiler sağlayabilir. Bu amaçla *D. scoparium* ekstratlarının kullanılmasının çalışılması fayda sağlayacaktır.

4. neriler

Yapılan alışmalar ve sonuçları ışığında *D. scoparium* karayosunun içerdiği flavanoid ve fenolik bileşiklerin varlığı sebebiyle geniş biyolojik aktivite yelpazesine sahip olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu karayosunu ile ilgili daha ileri çalışmalar yapılması gerekmektedir. Elde edilecek sonuçlar doğrultusunda karayosunlarının içerisindeki insanlar için zehir etkisi yapabilecek maddelerden ayrıştırılarak potansiyel tktilebilir gıda formuna dönüşümü veya biyolojik aktif maddelerin hammadde kaynağı olarak kullanılabilir duruma geçişi sağlanabilir. Bu amaçla canlı organizmalar üzerinde denek hayvanları üzerinde çalışmalar artırılarak etkilerinin araştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Aydın, S. (2020). The free radical scavenging activities of biochemical compounds of *Dicranum scoparium* and *Porella platyphylla*. *Anatolian Bryology*, 6(1): 19-26.
2. Altuner, E. M., Canli, K. and Akat, I. (2014). Antimicrobial Screening of *Calliergonella cuspidata*, *Dicranum polysetum* and *Hypnum cupressiforme*. *Journal of Pure And Applied Microbiology*, 8(1):539-545.
3. Asakawa, Y., Ludwiczuk, A., Nagashima, F. (2013). Phytochemical and biological studies of bryophytes. *Phytochemistry*, 91:52–80.
4. Abay, G., Erata, H., Batan, N., Özdemir, T. (2021). Two new records for the bryophyte fora of Turkey and Southwest Asia. *Plant Biosyst.*, 156(4):875-881.
5. Abay, G., Altun, M., Koldas, S., Tufekci, A. R., Demirtaş, I. (2015). Determination of antiproliferative activities of volatile contents and HPLC profiles of *Dicranum scoparium* (Dicranaceae, Bryophyta). *Comb. Chem. High Throughput Screen.* 18:453-463.
6. Bandyopadhyaya, A. & Dey, A. (2022). The ethno-medicinal and pharmaceutical attributes of Bryophytes: A review. *Phytomedicine Plus*, 2(2):100255.
7. Basile, A., Giordano, S., López-Sáez, J.A., Cobianchi, R.C. (1999). Antibacterial activity of pure flavonoids isolated from mosses. *Phytochemistry*, 52:1479–1482.
8. Batan, N., Vilnet, A., Abay, G., Erata, H., Özdemir, T. (2022). The first record of *Scapania cuspiduligera* (Marchantiophyta: Scapaniaceae) in Turkish and Southwest Asia liverwort fora supported from molecular data. *Nova Hedwigia*, 114(3-4):365–374.
9. Borel, C., Welti, D. H., Fernandez, I., Colmenares, M. (1993). ‘Dicranin, an antimicrobial and 15-lipoxygenase inhibitor from the moss *Dicranum scoparium*. *J. Nat. Prod.*, 56:1071-1077.
10. Cazarolli, L.H., Zanatta, L., Alberton, E.H., Figueiredo, M.S., Folador, P., Damazio, R.G., Pizzolatti, M.G., Silva, F. R. (2008). Flavonoids: Prospective Drug Candidates. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 8(13):1429-1440.
11. Demirbağ, M. (2019). *Dicranum Hedw. (Bryophyta)’a Ait Bazı Türlerin Biyokimyasal Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.
12. Erdağ, A. & Kürschner H. (2017). A reference list of Turkish bryophytes. The state of knowledge from 1829 until 2017. *Anatolian Bryol.*, 3(2):81-102.
13. Friedman, M. (2007). Overview of antibacterial, antitoxin, antiviral, and antifungal activities of tea flavonoids and teas. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(1):116-134.

14. Gaurav, B., Rathore, K. S., Shivom, S. (2018). Phytochemical screening and total phenolic content in the extract of bryophyte *Plagiochasma appendiculatum* and *Dicranum scoparium*, *Environment Conservation Journal*, 19(1&2): 175–181.
15. Geiger, H., Voigt, A., Zinsmeister, H. D., López-Sáez, J. A., Pérez-Alonso, M. J., Velasco-Negueruela, A. (2014). The Biflavones of *Dicranum scoparium* (Dicranaceae). *Zeitschrift für Naturforschung C*, 952.
16. Gürsu, G., Şimşek, Ö. & Canlı, K. (2010). Antitümoral Etki Açısından Bryofitler. Batı Akdeniz Doğa Bilimleri Sempozyumu. 4-6 Kasım 2010 Burdur, poster sunum s121.
17. Karaoğlu, Ş. A., Yaylı, N., Erik, İ., Korkmaz, B., Akpınar, R., Bozdeveci, A., Suyabatmaz, Ş., Batan, N., Yeşilyurt, A., Kaya, S., Nisbet, C., Güler, A. (2022). Biological Activity and Phytochemical Analysis of *Dicranum scoparium* against the Bacterial Disease for Honey Bee. *Chem.Biodiversity*, 19, e20210088.
18. Klavina, L., Springe, G., Nikolajeva, V., Martsinkevich, I., Nakurte, I., Dzabijeva, D., Steinberga, I. (2015). Chemical composition analysis, antimicrobial activity and cytotoxicity screening of moss extracts (Moss Phytochemistry). *Molecules*, 20: 17221–17243.
19. Lang, A. & Stech, M. (2014). What's in a Name? Disentangling the *Dicranum scoparium* Species Complex (Dicranaceae, Bryophyta). *Systematic Botany*, 39(2):369-379.
20. Lindberg, G., Österdahl B. G. & Nielsson, E. (1974). Chemical studies on bryophytes 16. 5',8"-biluteolin, a new biflavone from *Dicranum scoparium*. *Chemica Scripta*, 5: 140-144.
21. Manner, S., Skogman, M., Goeres, D., Vuorela, P., Fallarero, A. (2013). Systematic exploration of natural and synthetic flavonoids for the inhibition of *Staphylococcus aureus* biofilms. *International Journal of Molecular Sciences*, 14 (10):19434-19451
22. Mishra, R., Vijay, P., Ramesh, C. (2014). Potential of Bryophytes as Therapeutics. *Int. Journal of Pharm. Sci. and Research*, 5(9):3584-3593.
23. Mitra, S., Manna, A. & Rai, R. (2019). Phytochemical screening and in-vitro antioxidant potential of two ethnomedicinally important mosses of Dicranaceae from Darjeeling hills. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1): 649-654.
24. Narayan, R., Kartik, V., Manoj, P., Singh, P. S., Alka, G.. (2010). Antibacterial activities of ethanolic extracts of plants used in folk medicine, *IJRAP*, 1:529–535.
25. Nielsson, E., Lindberg, G. & Österdahl, B. G. (1973). Chemical studies on bryophytes 15. A new branched apigenin-7-triglycoside from *Dicranum scoparium*. *Chemica Scripta*, 4: 66-68.

26. Nikolajeva, V., Liepina, L., Petrina, Z., Krumina, G., Grube, M. and Muiznieks, I. (2012). Antibacterial activity of extracts of some bryophytes. *Advance in Microbiology*, 2: 345- 353.
27. Onbasli, D. & Yuvali, G. (2021). In vitro medicinal potentials of *Bryum capillare*, a moss sample, from Turkey. *Saudi J. Biol. Sci.*, 28(1):478–83. doi:10.1016/j.sjbs.2020.10.031.
28. Österdahl, B.G. (1978a). Chemical studies on bryophytes. 20. A new branched flavonoid 0- triglycoside from *Dicranum scoparium*. *Acta Chem. Scand.*, B32: 714- 716.
29. Österdahl, B.G. (1978b). Chemical studies on bryophytes. 20. A new branched flavonoid 0-triglycoside from *Dicranum scoparium*. *Acta Chem. Scand.*, B32: 714- 716.
30. Österdahl, B.G. (1983). Chemical studies on bryophytes. ¹³C-NMR Analysis of a biflavone from *Dicranum scoparium*. *Acta Chem. Scand.*, B37: 69- 78.
31. Öztürk, Ş., Hazer, Y., Kaşkatepe, B., Ören, M. (2022). Determination of Total Phenol Contents, Antibacterial and Antioxidant Activity of Some Mosses Species. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 12(1):86-92.
32. Öztürk, O. (2014). *Turnasuyu Vadisi (Ordu) Yapraklı Karayosunu (Musci) Florası*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
33. Savaroğlu, F., F. İşçen, C., Öztopcu, Vatan, A. P., Kabadere, S., İlhan, S., Uyar, R. (2018). Screening of antimicrobial, cytotoxic effects and phenolic compounds of the moss *Dicranum scoparium*. *BioDiCon.*, 11:87–9.
34. Semerjyan, I., Semerjyan, G., Semerjyan, H., Trchounian, A. (2020). Antibacterial Properties and Flavonoids Content of Some Mosses Common in Armenia. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 16:31-42.
35. Singh, S. & Srivastava, K. (2013). It has been suggested that s as Green Brain: unique and indispensable small creature. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, 23(2):28–35.
36. Veljic, M., Tarbuk, M., Marin, P. D., Ciric, A., Sokovic, M. & Marin, M. (2008). Antimicrobial Activity of Methanol Extracts of Mosses from Serbia. *Pharmaceutical Biology*, 46(12): 871-875.
37. Yayıntaş, O. T., Yılmaz, S., Sökmen, M. (2019). Determination of antioxidant, antimicrobial and antitumor activity of bryophytes from Mount Ida (Canakkale, Turkey). *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 18(2):395–401
38. Yücel, T. B. (2020). Determination of Volatile Components Extracted via Hydro and Microwave-Assisted Distillation of *Thamnobryum alopecurum* (Hedw.) Gangulee Grown in Turkey and Comparison of Their Anti-

microbial Activities. *JEOP*, 23(6): 1206 – 1217.

39. Yücel, T. B. (2021). Chemical composition and antimicrobial and antioxidant activities of essential oils of *Polytrichum commune* (Hedw.) and *Antrichia curtispindula* (Hedw.) Brid. grown in Turkey. *International Journal of Secondary Metabolite*, 8(3):272-282.
40. Voigt, A. (1993). Biflavonoide und strukturverwandte Verbindungen aus *Dicnemon calycinum*, *Dicranum scoparium* und *Bartramia stricta*. Diplomarbeit, Saarbriicken
41. Waage, S. K. & Hedin, P. A. (1995). Quercetin 3-O-galactosyl (1 4 6) glucosyde, a compound from narrow leaf vetch with anti-bacterial activity. *Phytochemistry*, 24:243-245.
42. Wasley, J., Robinson, S. A., Lovelock, C. E., Popp, M. (2006). Some like wet biological characteristics underpinning tolerance of extreme water stress events in Antarctic bryophytes. *Funct. Plant Biol.*, 33: 443-455.
43. Zinsmeister, H. D., Becker, H. & Eicher, T. (1991). Bryophytes, a Source of Biologically Active, Naturally Occurring Material? *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*; 30(2):130-47.

“

Bölüm 2

ANTİFRİZ PROTEİNLERİ

*Seda VURAL AYDIN¹, Duygu TANRIKULU²,
Muhitdin YILMAZ³*

1 Dr. Öğr., Üyesi Kafkas Üniversitesi, Kağızman Meslek Yüksekokulu, Kars, Turkey <https://orcid.org/0000-0002-4546-5827>, sedavural76@hotmail.com

2 Dr. Öğr. Üyesi, Kafkas Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kars, Turkey <https://orcid.org/0000-0001-7795-8637>

3 Prof. Dr., Sinop Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Sinop, Turkey <https://orcid.org/0000-0002-1733-9719>

”

GİRİŞ

Birçok organizma, doğal ortamlarında meydana gelen değişikliklere yanıt olarak yaşamlarını sürdürmelerini sağlayan başarılı adaptasyonlar göstermektedir. Adaptasyonlar, canlıların değişen koşullarda yaşamlarını sürdürmelerinin yanı sıra göç, üreme ve beslenme davranışlarını da kolaylaştırmaktadır (Bektaş ve Altıntaş, 2007; Aşçı vd., 2011.; Yoldaş ve Erişmiş, 2021). Örneğin, dondurucu koşullarda organizmalar donma stresine, oksijen eksikliğine ve dehidrasyona maruz kaldıklarında, bu olumsuz etkilerden korunma antifriz proteinleri ve kriyoprotektanlar sayesinde sağlanabilmektedir (Yoldaş ve Erişmiş, 2021).

Antifriz proteinleri buz kristalleri üzerindeki çarpıcı etkileriyle birlikte benzersiz özelliklere sahiptir. Bu proteinler akademik literatürde yıllardır yer almalarıyla birlikte donmuş gıdalar ve kriyoprezervasyon (dondurarak saklama) gibi teknik konularda sahip oldukları potansiyel uygulamalarla popüler duruma gelmişlerdir (Clarke vd., 2002). Antifriz proteinleri (AFP), balıklar, böcekler, bitkiler ve bakterileri kapsayan birçok farklı organizmayı 1°C'nin altındaki sıcaklıklarda donmaya karşı korumakta ve bir inhibisyon mekanizması yoluyla büyümelerini düzenlemektedir (Clarke vd., 2002; Raymond ve DeVries, 1977). Buz kristallerine doğrudan bağlanma özellikleri antifriz proteinlerin ortak noktası olsa da onlar yapısal olarak farklı bir protein grubunda yer almaktadır (Clarke vd., 2002).

Soğuğa dayanıklı canlılarda temel amaç, sıfırın altındaki sıcaklıklarda vücut sıvılarının sıvı halde kalmasına yardımcı olan belirli yapıda proteinleri üretmektir. Genel olarak antifriz proteinleri AFP'ler olarak adlandırılırlar, ancak antifriz glikoproteinler, antifriz polipeptidleri gibi diğer terimler de bu antifriz proteinlerin yapısal özelliklerini belirtmek için kullanılmaktadır (Raymond ve DeVries, 1977).

Kutuplardaki sularda yaşayan deniz teleostları, deniz suyu ile aynı yaklaşık $\pm 1,9$ °C'lik bir vücut ısısına sahiptir. Ancak, vücut sıvıları deniz suyuna karşı hipoozmotiktir ve yaklaşık $\pm 0,7$ °C' lik bir erime noktasına sahiptir. Böylece kutupsal teleostlar 1°C'den fazla bir soğumaya maruz kalabilmektedir. Bu durumda balıkların bir şekilde ölümcül bir donma yaşayacağı ön görülebilmektedir. Kutuplarda yaşayan balıklarda, vücut sıvılarında meydana gelen soğuma sonucu buz miktarının artışı ile meydana gelmesi muhtemel bir donma, antifriz proteinleri sayesinde önlenmektedir. Bu benzersiz özellik sayesinde kutup balıkları, hücre zarı hasarı ile bazı zararlı fiziksel ve kimyasal değişikliklerden korunmaktadır (Kumar vd., 2014).

Günümüzde antifriz proteinler pek çok önemli alanda kullanılmaya başlanmıştır ve gün geçtikçe bu proteinler daha da önem kazanmaktadır.

Bu derlemede, antifriz proteinlerin bazı özellikleri ile ilgili bilgi verilmesi ve tanıtılması amaçlanmıştır.

1. ANTİFRİZ PROTEİNLERİN KEŞFİ

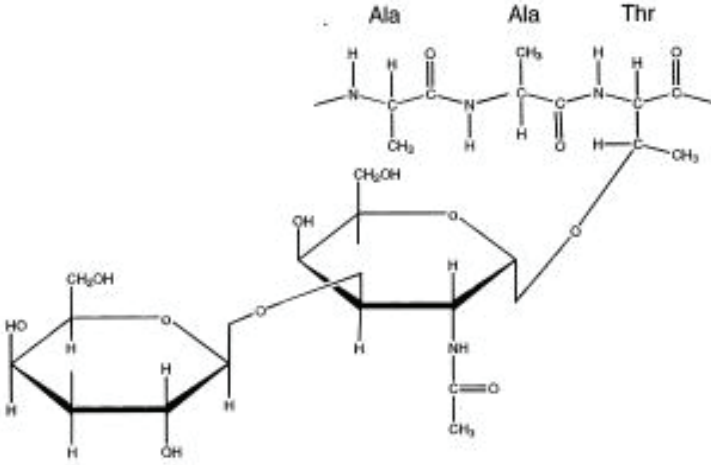
Canlı organizmalardaki termal histerezis fenomeni, ilk kez 1964 yılında, yaygın yemek kurdu olan *Tenebrio molitor* larvasına ait bir hemolenfte, suyun geri emilimi üzerine bir çalışma sırasında Ramsay adlı bir araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Araştırmacı, antifriz etkisiyle ilgili olarak ön perinefrik boşluktan gelen sıvıda görünen buz kristallerinin, sıcaklığın düşmesine rağmen boyutlarında artış olmadığından ve buz kristallerinin dış yüzeylerinin çentikli olduğundan bahsetmektedir (Ramsay, 1964; Ramlov ve Friis, 2020). 1968 yılında Grimstone ve arkadaşları *T. molitor*'un santrifüjlenmiş homojenatlarında bu bilinmeyen maddenin bir protein olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca kromatografik çalışmalar sonucunda 10 kDa-12 kDa aralığında moleküler ağırlığa sahip bir molekülün sorumlu olduğunu bulmuşlardır (Grimstone vd., 1968; Ramlov, Friis 2020). Antifriz proteinler ve glikoproteinler, 1969 yılında De Vries tarafından Antartika teleost balıklarından Notothenioid'lerde bulunmuş ve balıklarda vücut sıvılarının donmasını engelleyen ajanlar olarak tanımlanmıştır (Crevel vd., 2002; Ewart vd., 1999; Bektaş ve Altıntaş, 2007). Antarktika sularında oluşan buz, burada yaşayan balıkların solungaç ve derilerinden sızabileceği için tehlike oluşturmaktadır. Balıklar soğukkanlı canlılar olduğundan, vücutlarına buz girmediği sürece yaşadıkları ortamın ısısına adapte olabilmektedir (Bektaş ve Altıntaş, 2007). Antarktika'da yaşayan balık türlerinde, antifriz proteinlerin donma noktasını deniz suyunun sıcaklığına uyacak şekilde düşürdüğü bulunmuştur (Ewart vd., 1999). Bu balıklar, vücut sıvılarında ve hücre sitoplazmasında bulunan sekiz antifriz molekülü sayesinde donma noktasını dengelemekte ve yaşamlarını sürdürebilmektedir (Bektaş ve Altıntaş, 2007).

Sonraki yıllarda Nototheniidae, Artedidraconidae, Batydracanydae, Channichthyidae, Muraenolepididae, Liparididae, Zoarcidae ve Myctophidae ailelerine ait toplam 37 türde antifriz proteinlerin varlığı tespit edilmiştir (Bektaş ve Altıntaş, 2007).

2. ANTİFRİZ PROTEİNLERİN YAPISI VE SINIFLANDIRILMASI

Antifriz proteinleri, Şekil 1'de görüldüğü üzere, üç aminoasitlik bir peptit zinciri ile üçüncü aminoasite kovalent bağla bağlanmış bir disakkarit molekülünden oluşan birimlerin (alanin-alanin-threonin-galaktozil-N-asetilgalaktozamin) tekrarlanması sonucu meydana gelmektedir (Bektaş ve Altıntaş, 2007).

Kutuplarda yaşayan balıklarda bulunan ve pek çok çalışmaya konu olan antifriz proteinleri, yaklaşık beş farklı balık türünden izole edilerek karakterize edilmiştir. Bu proteinler antifriz protein tip I-IV ve antifriz glikoproteinleri olarak isimlendirilmiştir. İncelenen her tür, tek bir tür antifriz proteinin birkaç izoformunu içermektedir. Farklı türlerin her birinin dar bir taksonomik dağılıma sahip olduğu görülmektedir (Kristiansen ve Zachariassen, 2005).



Şekil 1. Antifriz proteinlerin genel monomerik yapısı (Bektaş ve Altıntaş, 2007)

AFP'lerin ağırlıkları, aktivitesiyle birlikte yeni bir AFP keşfedildiğinde genellikle belirlenen ilk özelliklerden biridir. Bilinen AFP'lerin ağırlıkları, buldukları farklı tür grupları arasında ve gruplandırıldıkları türler arasında çok farklılık gösterir. Genel olarak, AFP'ler küçük (3-30 kDa) monomerik proteinlerdir (Friis ve Ramløv, 2020).

Balıklarda, böceklerde, yosunlarda ve bakterilerde tanımlanan çeşitli antifriz proteinler, yapılarında heliks, globüler ve barrel dizilimler gösteren ancak genel bir moleküler yapıya sahip olmayan moleküllerdir (Aşçı vd., 2011; Devries vd.,1970).

Balıklarda bulunan antifriz glikoproteinler (AFGP), kan serumundaki proteinlerin fraksiyonlarıdır ve genel olarak molekül ağırlıkları 2.6-3.3 kDa değişim göstermektedir (Harding vd., 1999; Yangılar ve Yıldız, 2016). AFGP'ler ya buz kristallerinin oluşumunu önleyen termal histerezis proteinlerini (THP) ya da buz kristallerinin şekil ve büyümesi üzerine adsorbsiyon-inhibisyon mekanizması ile etki eden buz yapısındaki proteinleri (ISP) içermektedir (Yangılar ve Yıldız, 2016).

Yapılan çalışmalarda, çeşitli antifriz peptidleri (AFP'ler) izole edil-

miş ve kimyasal yapılarına göre genel olarak altı ana gruba ayrılmıştır. Balıklardan izole edilen antifriz glikoproteinler (AFPG), dört tip antifriz proteini (AFP I – IV), bitki, böcek, mantar ve bakterilerde bulunan AFP'ler (Amir vd., 2004; Gün vd., 2020).

2.1. Tip I Antifriz Protein

Tip I AFP, *Platichthys flesus* (pisi balığı)'ta bulunur ve molekül ağırlığı 3.3-4.5 kDa aralığındadır. Bu molekülün birincil yapısı 37 aminoaside sahiptir ve tekrarlayan 11 aminoasit biriminden oluşan kararlı bir sarmal yapıdadır. İkincil yapısı ise basit, uzun bir amfipatik alfa sarmal yapıdan meydana gelmektedir (Davies ve Sykes 1997; Harding vd., 1999; Yangılar ve Yıldız, 2016; Kim vd., 2017).

Bu proteinlerin buza tutunmasında hidrojen bağlarının, buza bağlanırken de sıcaklıkla ilgili olarak Van der Waals etkileşimlerinin etkisinin olduğu dşnlmektedir (Bektaş ve Altıntaş, 2007).

2.2. Tip II Antifriz Protein

Sardina pilchardus (sardalya), *Macrozoarces americanus* (kaya balığı) ve *Anarhichas lupus* (kurt balığı) türlerinde bulunan Tip II AFP'ler, 11-24 kDa aralığında bir molekül ağırlığına sahiptir (Yangılar ve Yıldız, 2016; Kim vd., 2017). Bu tip aminoasitler globüler yapılu olup, alanin ve sistein bakımından zengin proteinlerdir. (Bektaş ve Altıntaş, 2007; Barret, 2001). Tip II AFP'ler, disülfid bağları oluşturan spesifik sisteinlere sahip iki α -heliks ve dokuz β - plaka içermektedir. Bu disülfid bağlarının, tip II AFP'lerin yapısal stabilitesini artırdığı bilinmektedir (Kim vd., 2017).

2.3. Tip III Antifriz Protein

Tip III AFP'lerin molekül ağırlıkları 6.5 kDa'dır ve *Anarhichas lupus* (kurt balığı)'ta bulunmaktadır. Birincil yapısı Tip I antifriz benzerken ikincil yapısı β -sandviç modeldedir (Yangılar ve Yıldız, 2016).

Tip III AFP'ler, kutup veya yüksek ılıman denizlerde yaşayan bazı balıkların kanında mevsimsel olarak yüksek konsantrasyonlarda bulunan çok küçük (~65 amino asit uzunluğunda) proteinlerdir. Tip III AFP'ler, kısa β -iplikler içeren ve yüzeylerinde düz bir buz bağlayıcı yama sergileyen küresel bir kat gösterir. Bu proteinler, bakteriden insana birçok organizmada meydana gelen sialik asit sentaz enziminin (SAS) C-terminal alanı ile dikkate değer bir diziyeye ve yapısal benzerliğe sahiptir (García-Arribas vd., 2007). Tip III AFP'ler hem yapısal hem de işlevsel olarak kapsamlı bir Şekilde incelenmiştir (Madura vd., 1996; Antson vd., 2001; García-Arribas vd., 2007). Bununla birlikte, doğal tip III AFP'lerin potansiyel biyoteknolojik uygulamaları düşük denatürasyon sıcaklıkları nedeniyle engellenebilir (García-Arribas vd., 2007).

2.4. Tip IV Antifriz Protein

Myoxocephalus octodecimspinosus (uzun boynuzlu iskorpit)'ta bulunan Tip IV AFP, alfa sarmal yapılı, glutamat ve glutamin aminoasitlerince zengin bir glikoproteindir. Molekül ağırlığı 12 kDa'dır (Deng vd.,1997; Crevel vd., 2002; Yangılar ve Yıldız, 2016). Bu proteinin yapısı, antiparalel olarak düzenlenmiş çok sayıda α -sarmal ve 4 adet amfipatik sarmaldan oluşmaktadır. Sarmalın hidrofobik uçları içe, polar uçları ise suya yönelik biçimde konumlanmıştır (Gün vd., 2020).

2.5. Antifrizglikoproteinleri (AFGP)

İşlevsel olarak diğer antifriz proteinlerine benzese de yapısal olarak farklılık gösteren antifriz glikoproteinleri Morina (*Gadus morhua*) ve gümüş balığı (*Pleuragramma antarctica*) gibi Antarktika'da yaşayan balıklarda bulunmuştur (Griffith ve Ewart, 1995; Gün vd., 2020).

Tipik bir AFGP, treonin tortusunun ikincil hidroksi grubunun disakarit β -D galaktosil-(1,3)- α -D-N-asetilgalaktozamin ile glikosile edildiği tekrar eden bir tripeptit ünitesinden (Ala-Ala-Thr) oluşmaktadır (Ben, 2001; Gün vd., 2020). Sekiz farklı AFGP alt tipi mevcuttur. Bunlardan 20-33 kDa'lık glikoproteinler AFGP'ler 1-4 olarak adlandırılır ve 20 kDa'dan az olanlar AFGP'ler 5-8'i oluşturmaktadır (Ben, 2001).

AFGP'lerde, hidrofilik karbonhidrat yapıları molekülün bir tarafına alanin, metil grupları ise molekülün diğer tarafına amfifilik biçimde yerleşmiş durumdadır. Bu glikoproteinlerin buz yüzeyine sıkı bir şekilde bağlanmasında bu özelliğin etkili olabileceği düşünülmektedir (Gün vd., 2020). AFGP'nin buzun büyümesini engellemeye ek olarak, hücreleri hipertermik hasardan koruduğu gösterilmiştir (Ben, 2001).

2.6. Bitki Antifriz Proteini

Bitki antifriz proteinleri diğer AFP türlerine kıyasla zayıf bir termal histerezis aktivitesi gösterirler. Bunun yanında bitki AFP'leri tekrar kristal oluşumunu önlemektedir. 8 halkadan oluşan 14-15 aminoasitli bir yapıya sahiptir (Bektaş ve Altıntaş, 2007).

Deschampsia antarctica (Antarktika çimi) bitkisinde antifriz proteinlerin buz kristallerini engelleme aktivitesi sayesinde, bitkinin donmayarak yaşamını sürdürmesi sağlanmaktadır. Bu özellik strese karşı toleransı sağlaması açısından önemli bir genetik kaynaktır (Kırkinci vd., 2021). Antarktika çiminde gözlenen bu özelliklerin, gen aktarımı yoluyla tarımsal ürünlerin stres toleransını ve adaptasyon güçlerini arttıracak bir kaynak olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir (Kırkinci vd., 2021).

Sıfırın altındaki sıcaklıklarda, kış bitkilerinde, soğuğa adaptasyon sürecinde antifriz protein miktarı artmaktadır (Doğru, 2019). Bitki an-

tifriz proteinleri ayrıca patogenez ile ilişkili ve antifungal etkiye sahip olabilmekte, bitkilerin patojenlere karşı korunmasında rol oynamaktadır (Aşçı vd., 2011).

2.7. Böcek Antifriz Proteini

Böcek antifriz proteinleri, yüksek bir termal histerezis aktivitesine sahip olduğundan Hiperaktif Antifriz Protein olarak da isimlendirilmekte ve tip V antifriz protein olarak da sınıflandırılmaktadır (Duman ve Seriani, 2002; Bektaş ve Altıntaş, 2007). Tenebrio ve Dendroides cinslerinde bulunan antifriz proteinlerin 8.3-12.5 kDa aralığında bir molekül ağırlığına sahip olduğu ve aminoasit dizisinde her altıda bir sistin bulunduğu bildirilmektedir (Bektaş ve Altıntaş, 2007).

Böcek, akar, örümcek gibi karasal eklembacaklıların çoğunun AFP oluşturduğu bilinmektedir. Bu omurgasız canlılar kış aylarında oluşturdukları AFP yardımıyla vücut sıvılarını donmaya karşı korumaktadır. Böceklerde mevcut AFP'ler, β -sarmal yapıda olup 12-40 kDa arasında değişen molekül ağırlığına sahiptir. Bazı böceklerdeki AFP'ler sistein amino asidi yönünden, bazıları ise serin veya treonin amino asidi yönünden zengindir (Jin-Yao ve ark., 2005). Böceklerdeki AFP'ler, bazı özellikleri açısından balıklardaki AFP'lerden farklılık göstermektedir (Üstün ve Turhan, 2015). Bu proteinleri balıklardaki AFP'lerden farklı kılan benzersiz özellik, balık AFP'lerinden 10-100 kat daha aktif olmalarıdır. Bu özellik sayesinde omurgasız canlılar daha soğuk bölgelerde bile canlılıklarını koruyabilmektedir. Diğer taraftan, balıklardaki AFP'lerin aksine, bitki AFP'leri farklı buz kristallerinin birden fazla yüze özellikle de hem prizma hem de bazal yüzlere bağlanabilirler (Ramlov ve Johnsen 2014). İmmunolojik çapraz-reaktiviteleri açısından Tip II balık antifriz proteinlerine benzerlik gösterirler (Griffith ve Ewarth, 1995).

2.8. Fungal Antifriz Proteinleri

Soğuğa adapte olmuş mantarlarla ilgili mevcut bilgiler aşırı soğuk ekosistemlerde bile metabolik olarak aktif birkaç mantar türü olduğunu göstermiştir. Bu yoğun koşullar altında hayatta kalabilmek için mantar türleri, farklı ekolojik roller üstlenmeyi amaçlayan çeşitli yaşam stratejileri ve işlevleri geliştirmiştir (Ghalamara vd., 2022). Pek çok psikrofilik ve Basidiomycetes psikrofilik maya türü taranmış ve donma önleyici aktivite-leri olduğu doğrulanmıştır (Kim vd., 2017; Ghalamara vd., 2022).

Antarctomyces psychrotrophicus'tan izole edilen antifriz proteininin yaklaşık 28 kDa molekül ağırlığına olduğu ve bu antifriz proteininin balık antifriz proteinlerine benzer bir termal histerezis aktivitesine sahip olduğu bildirilmiştir (Xiao vd., 2010; Gün vd., 2020).

Yalnızca iki mantar (enoki ve şitaki), bir kar küfü mantarı (*Typhula ishikariensis*) ve iki maya türü (*Glaciozyma antarctica* ve *Glaciozyma* sp. AY30), genetik ve antifriz özellikleriyle karakterize edilmiştir (Lee vd., 2010; Raymond vd., 2009; Singh vd., 2014; Xiao vd., 2010).

2.9. Bakteri Antifriz Proteinleri

Soğuğa adapte olmuş bakteriler, donma hasarını önlemek için çeşitli biyokimyasal adaptasyonlardan geçer. AFP'lerin üretimi bu adaptasyon stratejilerinden biridir (Ghalamara vd., 2022).

Micrococcus cryophilus, *Rhodococcus eritropolis* ve toprak bakterisi *Pseudomonas putida* bakteri türlerinde antifriz proteinlerin varlığı belirlenmiştir. Bakterilerde bulunan antifriz proteinlerin buz bağlama yeteneği açısından önemli olan intramoleküler disülfid köprülerine sahip olduğu görülmüştür (Gün vd., 2020).

3. ANTİFRİZ PROTEİNLERİN ETKİ MEKANİZMASI

Antifriz proteinleri (AFP), in vitro olarak üç karakteristik fonksiyona sahiptir. İlk olarak, AFP'ler bir buz kristalinin yüzeyine bağlandıklarında, kristalin daha fazla büyümesini inhibe ederler. Bu inhibisyon, en güçlü AFP'ler için sıcaklık donma noktasının 10 °C altına düşürülse bile meydana gelir. Bu nedenle AFP'ler, soğuk bölgelerde yaşayan ve donmadan korunan organizmalar için önemli bir adaptasyondur (Ramlov ve Friis, 2020).

AFP içeren bir çözeltide, AFP'nin buza bağlanması sonucu altıgen şeklinde buz kristalleri gelişir. Böylece buzun gelişimi engellenmektedir. İkincisi, AFP'ler koligatif olmayan bir şekilde, erime sıcaklığının denge donma noktasına yakın kalması ile çözeltinin donma sıcaklığını düşürürler. (Yang vd., 1998; Gün vd., 2020). Denge donma noktası ile çözeltideki küçük bir buz kristalinin büyümeye başladığı sıcaklık arasındaki termal fark "termal histerezis" olarak tanımlanmaktadır (Ramlov ve Friis, 2020). Üçüncüsü ise AFP'ler buzun yeniden kristalleşmesini engeller (Yang vd., 1998; Gün vd., 2020). Yeniden kristalleşme, termodinamik kuvvetler nedeniyle çözelti tek bir büyük buz kristali içerene kadar, küçük buz kristallerinin kaybolması ve büyük kristallerin oluşması ile gerçekleşen bir süreçtir. Organizmalarda buzun yeniden kristalleşmesi ile büyük buz kristalleri hücre ve dokularda dönüşü olmayan hasarlara neden olabilir (Aşçı vd., 2011; Ramlov, Friis, 2020). Bu nedenle AFP'ler, donmaya toleranslı birçok türün yaşamını devam ettirebilmesi açısından önemli bir yere sahiptir (Ramlov ve Friis, 2020). Bu fonksiyonların, çok farklı protein boyutlarına, amino asit dizilerine ve üçüncül yapılarına rağmen tüm AFP'lerde benzer ölçüde görülmesi dikkat çekmektedir (Yang vd., 1998).

Antifriz proteinler yapısal olarak farklılıklar göstermelerine rağmen, ge-

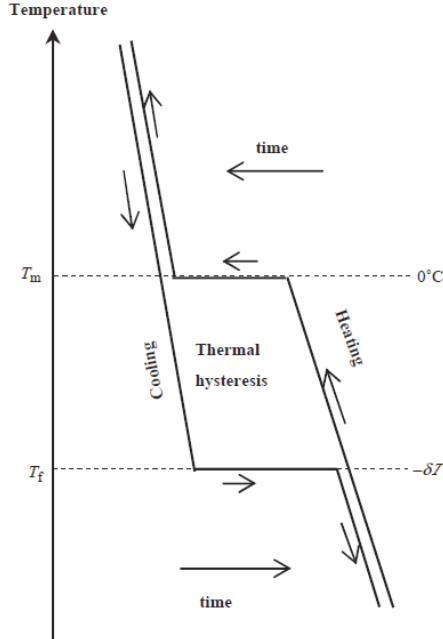
nellikle buz kristallerine bağlanarak kristal büyümesini önlemekte böylece vücut sıvılarının donma noktasını düşürmektedir (García-Arribas vd., 2007).

4. BUZ KRİSTALLERİ VE ANTİFRİZ PROTEİNLER ARASINDAKİ ETKİLEŞİM

4.1. Termal Histerezis

Su sıcaklığı T_m (Erime sıcaklığı) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye düştüğünde suda buz kristalleri görünür, ancak T_m ve T_f (Donma sıcaklığı) arasındaki sıcaklık aralığında aşırı soğutulmuş suda büyüemezler. Sıcaklık donma noktasının altına düştüğünde buz kristallerinde büyüme gözlenir. Bunun yanında, buz kristalleri sıcaklıkları erime noktasına ulaşıncaya kadar eriyemezler (Furukawa vd., 2005). Yani buz kristalleri histerezis çemberinde ne büyüme ne de erime gösterebilmektedir. Donma ve erime sıcaklıkları arasındaki bu fark termal histerezis'tir (Şekil 2) (Furukawa vd., 2005; Gruneberg vd., 2021).

Termal histerezis genellikle sıcaklık kontrollü bir blok üzerinde bir mikroskopik buz kristalinin büyüme davranışının gözlenmesiyle ölçülmektedir (Gruneberg vd., 2021). Termal histerezis sıcaklık aralığında mikroskopik buz oluşumu görülse de buz kristallerinin makroskopik boyutlara ulaşması engellenmektedir. Yani buz kristallerinin büyümesi tamamen durdurulmaktadır (Budke ve Koop, 2020).

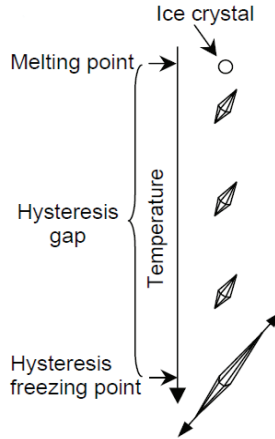


Şekil 2. Antifriz proteinleri içeren aşırı soğutulmuş suda buz kristali büyümesi için donma sıcaklığı düşüşü ve histerezisin gösterimi (Furukawa vd., 2005).

Antifriz protein çözeltilerinde, %0,1'den yüksek konsantrasyonlarda, buz kristallerinin oluşumlarının başladığı donma noktasında düşüş, erime noktasında ise neredeyse bir değişiklik olmadığı ifade edilmektedir. Bu olay kolligatif sistemlerden 500 kat daha etkili olan, termal histerezis olarak ifade edilmektedir. Donma noktası ile erime noktası arasında meydana gelen histerezis sebebiyle bu olay kolligatif değildir. (Aşçı vd., 2011, Barret, 2001). Kolligatif özellikte olan mekanizmalarda donma noktası ile erime noktası arasında fark bulunmamaktadır (Barret, 2001).

Adsorpsiyon-inhibisyon ile donma noktası düşmesi, balık antifriz proteinlerinin en iyi bilinen özelliğidir. Termal histerezis, erime sıcaklığını etkilemeden, çözeltinin donma sıcaklığının düşürülmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun sebebi, AFP'lerin donma noktası depresyonunda ideal çözünen maddelere kıyasla 200-300 kat daha etkili olmasıdır. Böylece aşırı soğutulan durum belirli bir sıcaklık aralığında stabilize edilmektedir. Termal histerezis ölçümleri rutin olarak AFP varlığını test etmek için kullanılmaktadır (Griffith ve Ewart, 1995).

Termal histerezis olgusu, adsorpsiyon önleme mekanizması olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna göre, antifriz proteinleri geri dönüşümsüz bir şekilde buzun yüzeyine adsorbe olmaktadır ve bu sayede buzun adsorbe edilen antifriz proteinleri arasında büyümesi sınırlanmaktadır. Buz büyümesi inhibisyonunun sıcaklık aralığı histerezis aralığı, erime noktası ile histeresiz donma noktası arasındaki nicel fark histerezis aktivitesi olarak adlandırılmaktadır (Kristiansen ve Zachariassen, 2005).



Şekil 3. Polar balıklardan alınan vücut sıvısının seyreltilmiş örneklerinde ifade edildiği şekliyle termal histerezis olgusunun gösterimi (Kristiansen ve Zachariassen, 2005).

4.2. Buz Rekrystalizasyonunun İnhibisyonu

Buz fazında küçük buz kristallerinin kaybolması ile büyük buz kristallerinin oluştuğu süreç rekrystalizasyon olarak tanımlanmaktadır (Aşçı vd., 2011). AFP'lerin önemli bir diğer özelliği, rekrystalizasyon sürecini engellemesidir. AFP'ler, küçük buz kristallerinin özel yüzeylerine tutunarak buzun rekrystalizasyonunu inhibe etmektedir (Anonymous, 2009).

Buzun yeniden kristalleşmesi, halihazırda donmuş bir malzeme içindeki buz kristali boyutundaki artış olarak gözlemlenen bir olgudur. Buz kristali büyümesini durdurabilen antifriz proteinlerinin mili molar altı konsantrasyonlarda bile bu fenomeni engellediği bilinmektedir (Rahman vd., 2019).

Buz rekrystalizasyon mekanizması, serbest su moleküllerinin buz kristalleri arasında difüzyonunun önemli bir rol oynadığı Ostwald olgunlaşması ile ilgilidir (Ghalamara vd., 2022). Antifriz proteinler buz yüzeyine adsorbe edilir ve su difüzyonunu kısıtlayarak buzun yeniden kristalleşmesini engelleyebilir (Ishibe vd., 2019). AFP'ler buz kristallerinin yüzeyine adsorbe olduğunda buz kristallerinin yüzeyinde bir bozucu görevi görmektedir. Sonuç olarak, AFP'ler tane sınırı göçünü tamamen engelleyen buz taneleri üzerindeki su moleküllerinin bağlanmasına ve bağlantısının kesilmesine müdahale eder (Ghalamara vd., 2022). Rekrystalizasyon aktivitesi nedeniyle bir numuneye AFP eklendiğinde üretilen buz kristalleri çok küçüktür. Öte yandan, bu küçük buz kristalleri, iki buz kristalinin kavisli bölümleri birbirine çok yaklaşırsa büyük kümeler oluşturmak ve kaynaşmak için birleşebilir. Kavisli buz büyüdükçe sistem daha az kararlı hale geldiğinden, buz kristalleri sonunda sistemi stabilize etmek için bir aç yapısı oluşturabilir (Kaleda vd., 2018).

100 µg/L gibi çok düşük konsantrasyonlarda antifriz proteinler, rekrystalizasyon inhibisyonu için yeterliyen aynı konsantrasyonlar termal histerezis oluşması için yeterli olmamaktadır. Antifriz glikoproteinlerinin, Tip I antifriz proteinlerinin, böcek ve bitki antifriz proteinlerinin rekrystalizasyon inhibisyonunda etkin olduğu, ancak böcek antifriz proteinlerinin diğerlerinden daha fazla aktivite gösterdiği bildirilmektedir (Griffith ve Ewart, 1995; Aşçı vd., 2011).

Güçlü IRI aktif bileşiklerinin geliştirilmesinin önündeki en büyük engellerden biri, güvenilir, yüksek verimli IRI niceleme yönteminin olmamasıdır (Ghalamara vd., 2022).

4.3. Buz Nükleatörleri ile Etkileşim

0 °C'nin altında meyvelerin ve bitkilerin yüzeyinde bazı bakteriler buz oluşumunu sağlayan proteinler gibi güçlü buz nükleasyonu sağlayan ajanlar kullanır. Böylece buz oluşumu bitkinin yaralanmasına ve bakterilerin besin maddelerine ulaşmasını sağlar (Hassas-Roudsari ve Goff,

2012).

Nükleasyon oluşumunu sağlayan proteinler, kristal buz yüzey yapısını taklit ederek buz kristal çekirdeği gibi davranırlar ve sıfırın hemen altındaki sıcaklıklarda buz oluşumunu sağlarlar (Yıldırım, 2008). Buz nükleasyonunu sağlayan proteinler Tip I, Tip II ve Tip III olmak üzere üç tipe ayrılmaktadır. Tip I, -5 °C'de veya üzerinde su nükleasyonu yapan buz nükleatör proteinleridir. Tip II, -5 °C ile -7 °C arasındaki sıcaklıklarda nükleasyon aktivitesine sahip buz nükleatör proteinleridir. Tip III ise -7 °C'nin altında buz nükleasyonu yapan proteinlerdir (Hassas-Roudsari ve Goff, 2012).

Bazı AFGP'lerin bakterilerde bulunan buz nükleatör proteinlerine bağlandığı ve bu bağlanmanın hem nükleasyon aktivitesini inaktive ettiği hem de antifriz etkisini arttırdığı görülmüştür (Hassas-Roudsari ve Goff, 2012).

5. ANTİFRİZ PROTEİNLERİN KULLANIM ALANLARI

Buz kristallerinin gelişimini kontrol etme yeteneği, antifriz proteinlerin tıp, gıda, tarım ve ticari alanlarda tercih edilmesini ve kullanımını sağlamıştır (Aşçı vd., 2011). Buz rekristalizasyonu gıdaların dondurulması ve muhafazasında istenmeyen bir durum olduğundan, buz rekristalizasyon inhibisyonu yapabilmeleri ve çözeltilerde donma sıcaklığını düşürmeleri antifriz proteinlerin çeşitli alanlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Feeney ve Yeh, 1998; Griffith ve Ewart, 1995; Li ve Sun, 2002; Aşçı vd., 2011). AFP'ler genel olarak küçük boyutları ve nispeten basit yapılarından dolayı, soğuğa adapte edilen proteinlerin konformasyonel stabilitesi ile ilgili daha fazla bilgi edinmek için uygun olabilmektedir (García-Arribas vd., 2007).

Günümüzde doğal gıdaların tüketici sağlığı için önem kazanmasıyla hem ekonomik hem de fonksiyonel kaynaklara sahip olmak önem kazanmaktadır. Antifriz proteinlerin dondurulmuş gıdaların raf ömrünün uzatılması, kışlık ürünlerin muhafaza edilmesi, sıcak su balıklarının soğuk sularda üretilmesinin sağlanması ve kriyoterapide kullanılması ile bu proteinlere olan ilgi artmaktadır (Aşçı vd., 2011).

Antifriz glikoproteinler, organların kriyoproteksiyonunda kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada AFP'ler kullanılarak 6 saat boyunca 1,1 ila 1,3 °C'de korunan kalplerin donmadığını ve hayatta kaldığını, miyosit ve mitokondriyal yapının sağlam olduğu belirtilmiştir (Amir vd., 2003). Bir başka çalışmada, sıcaklığın düşürülmesinin bir memeli (sıçan) kalbinin koruma süresini artırıp artırmayacağını ve AFP'ler kullanılarak uzun süreli sıfır derece altı korumanın, 4 °C'de standart teknikler kullanılarak korunan kalplere kıyasla kalplerin canlılığı üzerinde iyileştirici etkisi olup

olmadığı değerlendirilmiş ve sonuç olarak AFP'lerin kalbi donmaktan koruduğu ve uzun süreli sıfır derecenin altında kalan organların canlılığını sürdürdüğü ifade edilmiştir (Amir vd., 2004).

Tip III antifriz proteininin transferi edilmesi, kültür balıklarında soğuğa karşı toleransın artışı yönünde başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Antifriz proteini aktarılan balıkların hızlı büyüdüğü ve hastalıklara daha dirençli olduğu gözlenmiştir (Akhan ve Canyon, 2008).

AFP'lerin donmuş gıdanın kalitesini ve raf ömrünü iyileştirmek için katkı maddesi olarak, organ ve hücre kriyoprezervasyonu için kriyoprotektif maddeler olarak, kanser kriyocerrahisinde kimyasal yardımcı maddeler olarak ve soğuğa karşı toleranslı transgenik bitki ve hayvanların geliştirilmesinde kullanımları dahil olmak üzere birçok potansiyel uygulaması vardır. Bu uygulamaların çoğu için AFP'nin uzun süreler boyunca aktif kalması zorunlu olacaktır. Yiyecek işleme gibi bazı kullanımlar için eklenen herhangi bir AFP'nin de ısıtma işlemi (pastörizasyon) dayanması gerekebilir. Ancak farklı AFP'lerin denatürasyon sıcaklığı düşük görünmektedir. Bu durum istenmeyen bozunmayı kolaylaştırarak, depolama sırasında (bazı durumlarda çok düşük sıcaklıklarda bile) inaktivasyona ve pastörizasyon gibi nihai ısıtma işlemi neden olabilir. Artırılmış stabiliteye sahip tasarlanmış AFP'ler, bazı endüstriyel ve biyomedikal amaçlar için doğal AFP'lerden daha tercih edilebilirdir (García-Arribas vd., 2007).

AFP'lerin donma sıcaklığını düşürme, donma-çözülme sırasında yeniden kristalleşmeyi önleme ve buz çekirdeklerinin etkilerini nötralize etme yeteneği, dondurarak depolama sırasında doğal buz modülatörleri olarak kullanılmaya potansiyelini ortaya koymaktadır. Böylece hücre hasarını azaltarak besin dokusunu koruyabilirler ve damla kaybını azaltarak besin kaybını minimuma indirebilirler. AFP'ler, insan beslenmesinin bir parçası olarak tüketilen birçok gıdada bulunur. Potansiyel uygulamalarından biri, depolama ve nakliye sırasında sıcaklık dalgalanmaları durumunda düşük kaliteli dokulara neden olan yeniden kristalleşmenin önlenmesidir (Ustun ve Turhan, 2020).

Gıda ürünlerine düşük konsantrasyonlarda AFP eklemek buzun yeniden kristalleşmesinin inhibisyonunu destekleyebilmektedir. Bu da gıda kalitesini ve besin değerini iyileştirebilmektedir. AFP'lerin daha yüksek konsantrasyonu, buz kristali büyümesinin inhibisyonunu artıracak ve böylece çilek gibi kolay bozulan gıdaların düşük sıcaklıklarda ve kalite kaybı riski azaltılarak saklanması kolaylaştıracaktır (Ghalamara vd., 2022). Dondurulma işlemleri sırasında dondurulmuş gıdalarda oluşabilecek hasarların azaltılmasında antifriz proteinlerin katkısı önemlidir. Et, balık, dondurulmuş süt ürünleri gibi gıda maddeleri üzerinde yapılan çalışmalar, antifriz proteinlerin depolama sürecinde büyük kristallerin olu-

şumunu önlemeleri nedeniyle önem kazanmaktadır (Gün vd., 2020; Ustun ve Turhan, 2020). Dondurulmuş sebzelelerin çözünme esnasında oluşan hasarları önlemek amacıyla un kurdu olarak bilinen *Tenebrio molitor*'dan elde edilen antifriz proteininin salatalık, havuç, kabak ve soğan bitkilerinde kullanımı ile buz kristali oluşumunun engellendiği ve kalitenin arttığı görülmüştür (Song vd., 2019). *Lolium perenne*'den elde edilen antifriz proteini domates üzerinde test edilmiştir. Test sonucunda transgenik domates bitkilerinin soğutma koşullarında sağlıklı kaldığını ve dolayısıyla ürün verimliliğinde artış olduğu ortaya konmuştur (Balamurugan vd., 2018).

Soğuğa adapte olan bazı fungus ve bakteri türlerinden (özellikle Gammaproteobakteriler) elde edilen antifriz proteinler, hücre ve dokuların dondurularak saklanması, dondurulmuş besin maddelerinin doku ve lezzetinin korunmasında kullanılabilmektedir (Kırkinci vd., 2021).

Yine katkı maddesi olarak antifriz proteinlerin ilave edilmesiyle dondurulmuş hamur üretim teknolojisinde ortaya çıkan, hamurun yapısının ve dokusunun bozulması gibi kalite problemleri en aza indirgenebilmektedir. Antifriz proteinler, donma sıcaklığını düşürme, rekristalizasyonu önleme gibi özelliklerinin yanında donma halinde bile Ostwald olgunlaşmasını engellemektedir (Zhang vd., 2007). Dondurulmuş hamurun fermentasyon kapasitesini incelemek için konsantre havuç antifriz proteini kullanıldığında, buz kristali oluşumunun önlediği, fermentasyon kapasitesinin daha güçlü olduğu, CO₂ tutulumunun arttığı ve mayanın ölüm oranının düştüğü görülmüştür. Bunlara ek olarak antifriz eklenen hamurlardan elde edilen ekmeklerin kalite açısından diğer gruplar ile benzerlik gösterdiği ifade edilmiştir (Zhang vd., 2007; Zhang vd., 2008).

Dondurulmuş et teknolojisinde, et ürünlerinin erime esnasında hücre içi büyük buz kristalinin oluşumu damlama yoluyla besin kaybına neden olabilmektedir. Antarktik morina balığından izole edilen antifriz glikoproteini enjeksiyon yoluyla kuzulara aktarıldığında, et örneklerinde buz kristallerinin kontrole kıyasla daha küçük olduğu ve damlamanın azaldığı belirtilmektedir (Li ve Sun, 2002).

Gıda güvenlik çalışmalarının yapılması koşuluyla gıdalara antifriz proteini ilavesinde herhangi bir sakınca bulunmamaktadır. Ancak, antifriz proteinler besin maddelerine uygulandığında bazı ekonomik ve güvenlik faktörlerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Örneğin her bir litre balık plazmasından 2 g antifriz proteini elde edilmekte ve bu yöntem oldukça maliyetli olmaktadır. Dondurma üretiminin tamamında kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan antifriz proteinine sahip balıklardan ise ortalama 150000 ton kullanılması gerekmektedir. Bu durum ciddi ekonomik sorunlara yol açabilmektedir (Aşçı vd., 2011). Temel olarak maliyet, izolasyon ve saflaştırma, termal stabilite, kimyasal sentez ve moleküler biyolojideki

gelişmeler gibi diğer birçok faktör nedeniyle, AFP'lerin gıdalardaki kullanım potansiyeline ilişkin çalışmalar hala sınırlı sayıda üründe ve laboratuvar ölçeğindedir. Ticari kullanım ise henüz söz konusu değildir (Ustun ve Turhan, 2020).

SONUÇ

Antifriz proteinlerin elde edilmesinin zor olması ve üretim maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle henüz ticari kullanımı bulunmamaktadır. Ancak antifriz proteinlerin kullanımı ile dondurulmuş ürünlerin raf ömrünün uzamasına, sert kış şartlarında tarımsal ürünlerin donmasının önlenbilmesine, kriyoterapi ve doku transplantasyonu gibi tıp alanında kullanılan yöntemlerin gelişimine olanak sağlanmaktadır. Bu nedenle antifriz proteinlerin üretim maliyetini düşürecek yeni yöntemler geliştirilmesi ve bu yöntemlerin gıda endüstrisi ile tıbbi çalışmalarda yer alması önemlidir.

KAYNAKÇA

1. Akhan, S., Canyurt, M. A. (2008), Transgenic Fish: Benefits and Risks, *Journal of Fisheries Sciences*, 2(3), 284-292.
2. Anonymous, (2022), Antifreeze protein, http://en.wikipedia.org/wiki/Antifreeze_protein
3. Antson, A.A., Smith, D.J., Roper, D.I., Lewis, S., Caves, L.S.D., Verma, C.S., Buckley, S.L., Lillford, P.J., Hubbard, R.E. (2001), Understanding the Mechanism of Ice Binding by Type III Antifreeze Proteins, *Journal of Molecular Biology*, 305, 875-889.
4. Amir, G., Rubinsky, B., Kassif, Y., Horowitz, L., Smolinsky, A. K., Lavee, J. (2003), Preservation of Myocyte Structure and Mitochondrial Integrity in Subzero Cryopreservation of Mammalian Hearts for Transplantation Using Antifreeze Proteins—An electron Microscopy Study, *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*, 24(2), 292-297.
5. Amir, G., Horowitz, L., Rubinsky, B., Yousif, B. S., Lavee, J., Smolinsky, A. K. (2004), Subzero Nonfreezing Cryopreservation of Rat Hearts Using Antifreeze Protein I and Antifreeze Protein III, *Cryobiology*, 48(3), 273-282.
6. Aşçı, A., Göçer, E.M.Ç., Küçükçetin, A. (2011), Antifiriz Proteinler ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı”, *Academic Food Journal*, 9(6), 46-51.
7. Balamurugan S, Ann JS, Varghese IP, Murugan SB, Harish MC, Kumar SR., Sathishkumar R. (2018), Heterologous Expression of *Lolium perenne* Antifreeze Protein Confers Chilling Tolerance in Tomato, *Journal of Integrative Agriculture*, 17 (5), 1128–1136.
8. Barrett, J. (2001), Thermal Hysteresis Proteins, *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 33, 105-117.
9. Bektaş, G.I., Altıntaş, A. (2007), Antifiriz Proteinler, *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 18, 27 – 32.
10. Ben, R. N. (2001), Antifreeze Glycoproteins—Preventing the Growth of Ice, *ChemBioChem*, 2(3), 161-166.
11. Budke, C., Koop, T. (2020), Inhibition of Recrystallization. *Antifreeze Proteins Volume 2* (pp. 159-184), Springer, Cham.
12. Clarke, C. J., Buckley, S. L., Lindner, N. (2002), Ice Structuring Proteins—A New Name for Antifreeze Proteins, *Cryoletters*, 23(2), 89-92.
13. Crevel, R.W.R., Fedyk, J.K., Spurgeon, M.J. (2002), Antifreeze Proteins: Characteristics, Occurrence and Human Exposure, *Food and Chemical Toxicology*, 40, 899–903.
14. Davies, P.L., Sykes, B.D. (1997), Antifreeze Proteins, *Current Opinion in Structural Biology*, 7, 828-834.

15. Deng, G., Andrews, D. W., Laursen, R. A. (1997), Amino acid Sequence of a New Type of Antifreeze Protein, from The Longhorn Sculpin *Myoxocephalus octodecimspinosus*, *FEBS Letters*, 402(1), 17-20.
16. DeVries, A. L., Komatsu, S. K., Feeney, R. E. (1970), Chemical and Physical Properties of Freezing Point-depressing Glycoproteins from Antarctic Fishes, *Journal of Biological Chemistry*, 245(11), 2901-2908.
17. Doğru, A. (2019), Bitkilerde Düşük Sıcaklık Stresi ve Soğuğa Uyum, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 45-52.
18. Duman, J. G., Serianni, A. S. (2002), The Role of Endogenous Antifreeze Protein Enhancers in the Hemolymph Thermal Hysteresis Activity of the Beetle *Dendroides canadensis*, *Journal Of Insect Physiology*, 48(1), 103-111.
19. Ewart, K. V., Lin, Q., Hew, C. L. (1999), Structure, Function and Evolution of Antifreeze Proteins, *Cellular and Molecular Life Sciences*, 55(2), 271-283.
20. Feeney, R. E., Yeh, Y. (1998), Antifreeze Proteins: Current Status and Possible Food Uses, *Trends in Food Science & Technology*, 9(3), 102-106.
21. Friis, D. S., Ramløv, H. (2020), Physicochemical Properties of Antifreeze Proteins. Hans Ramløv and Dennis Steven Friis, *Antifreeze Proteins Volume 2* (pp. 43-67), Springer, Cham.
22. Furukawa, Y., Inohara, N., Yokoyama, E. (2005), Growth Patterns and Interfacial Kinetic Supercooling at Ice/Water Interfaces at which Anti-freeze Glycoprotein Molecules are Adsorbed, *Journal of Crystal Growth*, 275(1-2), 167-174.
23. García-Arribas, O., Mateo, R., Tomczak, M. M., Davies, P. L., Mateu, M. G. (2007), Thermodynamic Stability of a Cold-adapted Protein, Type III Antifreeze Protein, and Energetic Contribution of Salt Bridges, *Protein Science*, 16(2), 227-238.
24. Ghalamara, S., Silva, S., Brazinha, C., Pintado, M. (2022), Structural Diversity of Marine anti-freezing Proteins, Properties and Potential Applications: A Review, *Bioresources and Bioprocessing*, 9(1), 1-24.
25. Griffith, M., Ewart, K.V. (1995), Antifreeze Proteins and Their Potential Use in Frozen Foods, *Biotechnology Advances*, 13(3), 375-402.
26. Grimstone, A. V., Mullinger, A. M., Ramsay, J. A. (1968). Further Studies on the Rectal Complex of Mealworm *Tenebrio molitor*, L. (Coleoptera, Tenebrionidae), *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 253(788), 343-382.
27. Gruneberg, A. K., Graham, L. A., Eves, R., Agrawal, P., Oleschuk, R. D., Davies, P. L. (2021), Ice Recrystallization Inhibition Activity Varies with Ice-binding Protein Type and Does not Correlate with Thermal Hystere-

- sis, *Cryobiology*, 99, 28-39.
28. Gün, İ., Albayrak, A., Gürsel, A. (2020), Antifreeze Proteins: An Inovative Agent for The Prevention of Foods, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(7), 1433-1439.
 29. Harding, M. M., Ward, L. G., Haymet, A. D. J. (1999), Type I ‘Antifreeze’ Proteins: Structure–activity Studies and Mechanisms of Ice Growth Inhibition, *European Journal of Biochemistry*, 264(3), 653-665.
 30. Hassas-Roudsari, M., Goff, H. D. (2012), Ice Structuring Proteins from Plants: Mechanism of Action and Food Application, *Food Research International*, 46(1), 425-436.
 31. Ishibe, T., Congdon, T., Stubbs, C., Hasan, M., Sosso, G. C., Gibson, M. I. (2019), Enhancement of Macromolecular Ice Recrystallization Inhibition Activity by Exploiting Depletion Forces, *ACS Macro Letters*, 8(8), 1063-1067.
 32. Kaleda, A., Tsanev, R., Klesment, T., Vilu, R., Laos, K. (2018), Ice Cream Structure Modification by Ice-Binding Proteins, *Food Chemistry*, 246, 164-171.
 33. Kırkinci, S. F., Maraklı, S., Aksoy, H. M., Özçimen, D., Yılmaz, K. A. Y. A. (2021), Antarktika: Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji Araştırmalarının Gözden Geçirilmesi, *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(1), 158-177.
 34. Kim, H. J., Lee, J. H., Hur, Y. B., Lee, C. W., Park, S. H., Koo, B. W. (2017), Marine Antifreeze Proteins: Structure, Function, and Application to Cryopreservation as A Potential Cryoprotectant, *Marine Drugs*, 15(2), 27.
 35. Kristiansen, E., Zachariassen, K.E. (2005), The Mechanism by Which Fish Antifreeze Proteins Cause Thermal Hysteresis, *Cryobiology*, 51, 262-280.
 36. Kumar, V., Roy, S., Barman, D. (2014), Role of Antifreezing Proteins in Fishes, *International Journal of Science and Research*, 3(8), 1215-1221.
 37. Küçük, S. (2019), Bazı Balık Türlerinde Yapılmış Transgenik Çalışmalar, *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1), 123-127.
 38. Lee, J. K., Park, K. S., Park, S., Park, H., Song, Y. H., Kang, S. H., Kim, H. J. (2010), An Extracellular Ice-Binding Glycoprotein from An Arctic Psychrophilic Yeast, *Cryobiology*, 60(2), 222-228.
 39. Li, B., Sun, D. W. (2002), Novel Methods for Rapid Freezing and Thawing of Foods—A Review, *Journal of Food Engineering*, 54(3), 175-182.
 40. Madura, J. D., Taylor, M. S., Wierzbicki, A., Harrington, J. P., Sikes, C. S., Sönnichsen, F. (1996), The Dynamics and Binding of a Type III Antifreeze Protein in Water and on Ice, *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 388, 65-77.

41. Rahman, A. T., Arai, T., Yamauchi, A., Miura, A., Kondo, H., Ohyama, Y., Tsuda, S. (2019), Ice Recrystallization is Strongly Inhibited when Antifreeze Proteins Bind to Multiple Ice Planes. *Scientific reports*, 9(1), 1-9.
42. Ramløv, H., & Friis, D. S. (2020), Contents of Volume 1—Antifreeze Proteins: Environment, Systematics, and Evolution, *Antifreeze Proteins Volume 1* (pp. 7-9), Springer, Cham.
43. Ramsay, J. A. (1964), The Rectal Complex of the Mealworm *Tenebrio molitor*, L. (Coleoptera, Tenebrionidae), *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 248(748), 279-314.
44. Raymond, J. A., DeVries, A. L. (1977), Adsorption Inhibition as a Mechanism of Freezing Resistance in Polar Fishes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74(6), 2589-2593.
45. Raymond, J. A., Janech, M. G., Fritsen, C. H. (2009), Novel Ice-Binding Proteins From A Psychrophilic Antarctic Alga (Chlamydomonadaceae, Chlorophyceae), *Journal of Phycology*, 45(1), 130-136.
46. Singh, P., Hanada, Y., Singh, S. M., Tsuda, S. (2014), Antifreeze Protein Activity in Arctic Cryoconite Bacteria, *FEMS Microbiology Letters*, 351(1), 14-22.
47. Song, D. H., Kim, M., Jin, E. S., Sim, D. W., Won, H. S., Kim, E. K., Jang, S., Choi, Y. S., Chung, K. H., An, J. E. (2019), Cryoprotective Effect of an Antifreeze Protein Purified from *Tenebrio molitor* Larvae on Vegetables, *Food Colloids*, 94, 585-591.
48. Ustun, N. S., Turhan, S. (2020), Antifreeze Proteins in Foods. *Antifreeze Proteins Volume 2* (pp. 231-260), Springer, Cham.
49. Xiao, N., Hanada, Y., Seki, H., Kondo, H., Tsuda, S., Hoshino, T. (2014), Annealing Condition Influences Thermal Hysteresis of Fungal Type Ice-Binding Proteins, *Cryobiology*, 68(1), 159-161.
50. Yang, D. S., Hon, W. C., Bubanko, S., Xue, Y., Seetharaman, J., Hew, C. L., Sicheri, F. (1998), Identification of The Ice-binding Surface on A Type III Antifreeze Protein with A “Flatness Function” Algorithm, *Biophysical Journal*, 74(5), 2142-2151.
51. Yangılar, F., Yıldız, P. O. (2016), Gıda Endüstrisinde Antifriz Proteinlerin Önemi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 32(1), 81-87.
52. Yıldırım, C. (2008), *Model Sistemlerde Antifriz Protein Kullanımının Yeniden Kristallenmeye ve Bazı Isısal Özelliklere Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
53. Yoldaş, T., Erişmiş, U. C. (2021), Response of Anatolian Mountain Frogs (*Rana macrocnemis* and *Rana holtzi*) to Freezing, Anoxia, and Dehydration: Glucose as a Cryoprotectant, *Cryobiology*, 98, 96-102.
54. Zhang, C., Zhang, H., Wang, L. (2007), Effect of Carrot (*Daucus carota*)

Antifreeze Proteins on the Fermentation Capacity of Frozen Dough, *Food Research International*, 40(6), 763-769.

55. Zhang, C., Zhang, H., Wang, L., Guo, X. (2008), Effect of Carrot (*Daucus carota*) Antifreeze Proteins on Texture Properties of Frozen Dough and Volatile Compounds of Crumb, *LWT-Food Science and Technology*, 41(6), 1029-1036.

“

Bölüm 3

ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZİ¹

Hülya Saygı²

1 “İzmir körfezindeki kirliliğin istatistiksel bir modelle incelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezinin Bir bölümünden oluşmaktadır.

2 Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Türkiye, hulyasaygi70@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3408-6709>

”

GİRİŞ

Çeşitli bilim dallarında verilerin toplanması, anlamlı bir biçimde özetlenmesi bunun yanı sıra açık, anlaşılır ve doğru bir biçimde yorumlanması büyük önem taşımaktadır. Veriler kalitatif veya kantitatif olabilmektedir. Özellikle ölçülebilen (kantitatif) veriler araştırmacılar açısından daha net yorumlara olanak sağlaması ve istatistik analize uygun olmaları açısından önem taşımaktadır. Sınırlı miktarda bilgidен sonuç çıkarmak ve bu sonuca göre karar vermek gerektiğinde istatistik yöntemlerin kullanılabilmesi bilimsel alanda ilerleme olanağı yaratmıştır.

Hemen her bilim dalında araştırmacılar, eldeki verileri kullanıp sistemlerin çalışma kurallarını saptayarak, sistemi açıklamaya yarayacak soyut yapılara yönelmektedirler. Bu türdeki soyutlama genellikle “model” sözcüğü ile tanımlanır. Bu anlamda model; “Bir olayla ilgili bilgi ya da düşüncelerin belirlenen kurallara bağlı olarak şekillendirilmesidir” denilebilir (Şenel vd., 2009). Yani model, düşüncelerin matematiksel bir sistemle biçimsel ifadesidir. Modelden eldeki verilere dayanarak bulunacak sonuçlar, ilgili varsayımların mantıksal sonuçları ile karşılaştırılabilir. Bu şekilde gerçekle ilgili daha çok bilgi edinilerek gerçeğe yakın iyi bir yaklaşım sağlanabilir. Kuşkusuz, en iyi durumda bile, gerçek ile model arasındaki fark kaçınılmazdır.

Regresyon modellerinin temel alındığı araştırmalarda genellikle çok sayıda bağımsız değişken arasından en uygunlarının seçilmesi sorunu vardır (Başkan ve Saygı, 2002). Bunun nedeni, bağımlı değişken üzerinde etkili olduğu sanılan bazı değişkenler, modelin tahmin gücüne önemli bir etkide bulunmazlar. Bu tür bağımsız değişkenler modelden çıkarsalar bile regresyon denklemi geçerliliğinden bir şey yitirmez.

Regresyon analizindeki ilk adım bağımlı değişkeni etkilediği düşünülen bağımsız değişkenlerden, hangisi ya da hangilerinin istatistiksel açıdan önemli olduğunu bulmak, ikinci adım ise bağımlı değişkeni etkilediği belirlenen bağımsız değişkenler yardımıyla oluşturulan istatistiksel modeli kullanarak bağımlı değişken değerini tahmin etmektir (Alpar, 2013). Modeli en iyi açıklayan değişkenleri bulup, bu değişkenlerle modeli kurmaya çaba gösterilmelidir. İki ya da daha çok değişken arasında var olan ilişkinin en uygun bir şekilde hangi matematiksel modelle ifade

edilebileceğinin araştırılması, analiz sonuıların yorumlanmasında büyük önem taşımaktadır.

1. ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi ilk olarak on dokuzuncu yüzyılın sonlarında Sir Francis Galton ile geliştirilmiştir. Galton bu yolla anne-baba ve çocukların boyları arasındaki ilişkiyi açıklamaya çalışmış ve bugünkü regresyon modellerinin temelini teşkil eden ilk matematiksel tanımlamayı gerçekleştirmiştir (Zar, 2013). Değişkenler arasındaki ilişkiler biri tayin edici diğer i istatistiksel olmak üzere iki kategoride ele alınabilir. $Y=f(X)$ ile ifade edilebilen bir tayin edici ilişkide X değer i bilindiğinde, Y değer i kesin olarak elde edilebilir. İstatistiksel ilişki ise genel olarak $Y=f(X; \theta)+\epsilon$ eşitliği ile ifade edilebilir. Bu ilişkide X değer ikenine karşılık Y 'nin alacağı değer ancak ϵ hata payı ile tahmin edilebilir.

Bir bağımlı, birden çok bağımsız değer iken içeren regresyon modellerine çoklu regresyon modelleri denir. Bu tür regresyon modellerinde, genelde iki amaç vardır: Bağımlı değer ikeni etkilediği düşünülen bağımsız değer ikenlerden hangisi ya da hangilerinin bağımlı değer ikeni daha çok etkilediğini bulmak, Bağımlı değer ikeni etkilediği belirlenen bağımsız değer ikenler yardımı ile bağımlı değer iken değer ini tahmin etmek (Alpar, 2013).

Hocking (1976), Mallows (1973) tarafından verilen regresyon eşitliklerinin altı potansiyel kullanımına işaret etmektedirler. Bunlar; Bağımlı değer ikenin değer işiminin iyi bir aıklayıcısının sağlanması, Analizin bağımlı değer iken tahmini ve gelecek tahmini yapmak için kullanılması, Parametrelerin güven aralığının belirlenmesi, Parametre tahmininin sağlanması, Veri girişinin farklı düzeyleriyle bir işlemin kontrolünün sağlanması, Gerçek modelin gelişiminin sağlanmasıdır (Fox, 2015).

1.1. Genel Doğrusal Regresyon Model

$p-1$ bağımsız değer iken X_1, \dots, X_{p-1} durumu göz önüne alındığında, genel doğrusal regresyon modeli, hata terimleri ile aşağıdaki şekilde ifade edilebilir,

$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i$ $i=1, \dots, n$ Burada, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{p-1}$ parametreleri, $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{i,p-1}$ sabitleri, ε_i 'ler ise $N(0, \sigma^2)$ dağılımına uyar ($i \neq j$ için ε_i ve ε_j bağımsızdır), $p-1$ farklı bağımsız değişken vardır. Birinci dereceden olan bu modeller bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimleri içermezler. Bu model bağımsız değişkenlere ve parametrelere göre birinci derecedendir. Beklenen $E(Y)$ aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i$$

β_k ($k=0, 1, \dots, p-1$) parametresi, X_k bağımsız değişkendeki bir birimlik değişime karşı $E(Y)$ 'deki değişimi ifade eder. Eğer $p-1=1$ olursa modele basit doğrusal regresyon model denir. Y_i gözlemlerinde $E(Y_i)$ ortalaması sabit σ^2 varyansı ile normal dağılıma uyan bağımsız rasgele değişkenler olduğu varsayılır.

1.2. Niteleyici tahmin edici değişkenler

Genel doğrusal modeldeki değişkenlerin bazıları kalitatif değişkenler olabilir. Bunların sayısal değerlerle ifade edilerek modele sokulması ile modelin niteliği değişmez (Neter et. al., 1996).

Bir bağımsız değişkenin, sınıfsal olarak farklı değerleri düzey olarak adlandırılabilir. Bir değişken düzeyi kalitatif karakterdeki değişkene ait olabildiği gibi bir kantitatif karakterin sabit tutulan değerlerinede karşılık gelebilir. Örneğin, 0,5m, 2,5m, 5,0m derinliklerde yapılan ölçümler ele alındığında, bu değerler üç farklı düzeyi ifade etmektedir.

Kalitatif karakterdeki değişkenlerin düzeyleri sayısal olmadığı halde bunlar indikatör değişkenlerle ifade edilerek sayısal değerlere dönüştürülür. Örneğin, İzmir ilinde balık tüketimi ile ilgili bir çalışmada, cinsiyet (erkek ve kadın), tüketicilerin bulunduğu bölge (iç, orta, kıyı) kalitatif değişkenlerdir. Her kalitatif değişken doğrusal modeller sınıf sayısının bir eksiği sayıda değişkenle sokulur (Neter et. al., 1996).

Regresyon Modelinin Önemli Özellikleri; i. Denemede Y_i bağımlı değişkeni iki bileşenin toplamıdır. Sabit terim $\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1}$, Rasgele hata terimi ε_i 'dir. Böylece Y_i rasgele değişkendir. $E(\varepsilon_i)=0$ olduğundan; $E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + E(\varepsilon_i)$, $E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1}$ 'dır. Böylece, Y_i bağımlı değişkeni, i. Denemede X 'in düzeyi X_i olduğunda, ortalaması; $E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} +$

$\beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i, p-1}$ olan bir dağılımindan gelir. Verilen X için X 'in düzeyi Y 'nin olasılık dağılımının ortalamasıyla ilgili cevap fonksiyonu;

$$E(Y)=\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i, p-1} + \varepsilon_i \text{ 'dir.}$$

Y 'nin i . denemedeki gözlenen değeri regresyon fonksiyonunun değerinden hata terimi kadar farklıdır.

ε_i hata terimlerinin varyansının sabit ve σ^2 'ye eşit olduğu varsayılır. Böylece, Y_i bağımlı değişkenide aynı sabit varyansa sahiptir. $\sigma^2(Y_i)=\sigma^2$

Hata terimlerinin, birbirleriyle bağlantısız oldukları öngörülmektedir. Bu nedenle, hata terimleri $\varepsilon_i, \varepsilon_j$ birbirleriyle ilişkisiz olduğundan, ayrıca Y_i ve Y_j cevap değişkenleri de ilişkisizdir (Neter et al.,1996).

1.3. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizinde İzlenen Adımlar

Çoklu doğrusal regresyon analizinde izlenen adımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir. Modelde öngörülen bağımsız değişkenlerin setinin tanımlanması, Olasılık model formunun belirlenmesi. Modeldeki bağımsız değişkenlerin kalitatif ve kantitatif olarak sınıflandırılması. Kantitatif değişkenler için varsa etkileşimin ve quadratik etkilerinin ifade edilmesi, kalitatif değişkenlerin dummy (indikatör) değişkenler ile ifade edilmesi, En küçük kareler yönteminin kullanılarak model katsayılarının tahmin edilmesi, ε 'nin olasılık dağılımının belirlenmesi ve σ^2 'nin tahmin edilmesi, Varyans analizi ve çoklu belirleyici katsayısı R^2 ile modelin geçerliliğin belirlenmesi, modeldeki β parametrelerine ilişkin bireysel t testleri ile modele son şeklinin verilmesi, Son şekli verilen modelin geçerliliği altında, Y 'nin ve $E(Y)$ değerlerine ilişkin tahminlerinin yapılabilmesi (Mendenhall ve Sincich, 1996).

Parametre Tahmin Yöntemleri; En küçük kareler ve en çok olabilirlik yöntemleri parametre tahminlerinde kullanılan başlıca yöntemlerdir.

En Küçük Kareler Yöntemi; En küçük kareler yöntemi ile parametreler tahmin edilebilir. En küçük kareler yönteminin ilk ortaya çıkarılışına ilişkin tartışma vardır. Fakat birbirini etkilemeyen ilk bulgu Carl Friedric Gauss (1777-1855) ve Adrien Marie Legendre (1752-1833)'dir. Bu bilim insanlarından, Gauss 1803'ten önce, yöntemi

kullanmaya başlamıştır. Fakat, Legendre, 1805'te en küçük karelerle ilgili bir makale yayınlanmıştır (Zar, 2013). En küçük kareler yöntemi olarak adlandırılan analiz yönteminin nasıl kullanabileceği ve var olan bağımsız ilişkiler hakkında anlamlı sonuçların nasıl ifade edileceği belirtilmektedir (Draper ve Smith, 1998).

Öngörülen model; $Y = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon$ olduğunda değişkenlere ait verilerden ve en küçük kareler yönteminden yararlanmak yoluyla parametrelerin tahmin değerleri bulunabilir. Modeldeki ifade şu şekilde ifade edilebilir;

$$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1}$$

Örnek büyüklüğü n olduğunda ise bu ilişki,

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i \quad i=1, \dots, n$$

Şeklinde yazılabilir. En küçük kareler yöntemi, hata terimlerinin kareleri toplamının en küçük olmasını sağlayan tahmin değerlerini verecektir. $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{p-1}$ 'nin tahminleri $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{p-1}$ ile gösterilir.

Çoklu regresyon denklemlerindeki parametre tahminlerinde genellikle paket program kullanılır. Örneğin, SAS, SPSS, STATISTICA ve MINITAB bu tür çok kullanılan paket programlardır (Mendenhall and Sincich, 1996).

En Çok Olabilirlik Yöntemi; Genel olarak, normal hata regresyon model için, ortalaması $E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_{p-1} X_{i,p-1}$ ve varyansı $\sigma^2(Y_i) = \sigma^2$ olur. Buna göre, σ^2 ve β_i parametrelerine bağlı olarak ifade edilen Y_1, Y_2, \dots, Y_n gözlemlerinin birleşik olasılık dağılışı en çok olabilirlik fonksiyonu olarak da bilinir (Neter et al., 1996).

Uyarılar

En çok olabilirlik yöntemi ile ilgili aşağıdaki uyarılar dikkate alınmalıdır. En çok olabilirlik tahmin edicileri $\hat{\beta}_0$ ve $\hat{\beta}_1$, en küçük kareler tahmin edicileri olan b_0 ve b_1 ile aynıdır. En çok olabilirlik tahmin edicileri, en küçük kareler tahmin edicinin özelliklerine sahiptir. Herikiside yansız

ve bütün yansız doğrusal tahmin ediciler içerisinde, minimum varyansa sahipleridir.

En çok olabilirlik tahmin edicileri en çok olabilirlik fonksiyonu L 'nin $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{p-1}$ ve σ^2 parametrelerine bağlı kısmi türevlerini alıp sıfıra eşitleyerek elde edilen sistemin çözümünden bulunur. Genellikle en çok olabilirlik fonksiyonu üstel olduğundan $\text{Log}_e L$ ile çalışılır (Neter et al., 1996)

2. ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYONDA HİPOTEZ TESTLERİ

Çoklu doğrusal regresyon modellerinde parametrelerle ilgili çeşitli hipotez testleri uygulanır. Bu kesimde bu testlerden bazıları ile güven aralıklarına değinilecektir.

Regresyonun Önem Testi; X_1, X_2, \dots, X_{p-1} ve Y cevap değişkenleri arasında bir regresyon ilişkisi olup olmadığını anlamak için aşağıdaki hipotezler test edilir, $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_{p-1} = 0$ ve $H_A: \beta_k \neq 0$ ($k=1,2, \dots, p-1$) en aşağı biri sıfırdan farklıdır. H_0 'ın reddi parametrelerin en az birinin sıfırdan farklı olmasıdır. Test işlemleri, aynı basit doğrusal regresyondaki gibi kullanılır. Toplam kareler (SSTO), regresyondan kaynaklanan toplam kareler (SSR), ve artıklardan kaynaklanan toplam karelerin toplamı (SSE) şeklindedir. Buna göre; $SSTO = SSR + SSE$, (SSR, Regresyon kareler olarak adlandırılır. Eğer regresyon doğrusu yatay ise, $SSR=0$ 'dır., SSTO, toplam kareler toplamı olarak adlandırılır. Eğer bütün gözlemler aynı ise $SSTO = 0$ 'dır., $SSE = SSTO - SSR$ veya SSE , hata kareler (artıklar) toplamı olarak nitelendirilir). Eğer bütün gözlemler regresyon doğrusu üzerinde ise, $SSE = 0$ 'dır. SSTO'nun serbestlik derecesi $(n-1)$ 'dir. Burada 1 serbestlik derecesi kayıptır. Çünkü y 'nin ortalamasının tahmininde kullanılır. SSE'nin serbestlik derecesi $n-p$ 'dir. Burada p serbestlik derecesi kayıptır, çünkü modeldeki regresyon fonksiyonunu tahmin etmek için p parametre vardır. SSR'nin serbestlik derecesi $p-1$ 'dir. MSR ve MSE sırasıyla regresyon kareler ortalaması ve hata kareler ortalamasını gösterdiğinde, $MSR=SSR/(p-1)$ ve $MSE=SSE/(n-p)$ eşittir. Bunlara bağlı olarak varyans analizi sonuçları tablo 1'de verildiği gibidir.

Test istatistiği şu şekilde kullanılacaktır. $F^*=MSR/MSE$, test istatistiği olarak bilinir. I. Tip hata α 'ya bağlı karar kuralı; Eğer $F^* \leq F$ (1-

α ; p-1, n-p) sonuç H_0 , Eğer $F^* > F(1-\alpha; p-1, n-p)$ sonuç H_A 'dır. H_0 hipotezinin reddedilememesi durumunda, seçilen α yanılma düzeyi için, bağımlı değişkenle bağımsız değişkenler arasında, doğrusal bir ilişki olmadığı ya da bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişimi açıklayamadığı söylenir (Montgomery vd., 2012).

Tablo1. Çoklu Regresyonda Regresyonun Önemi İçin Varyans Analizi

Değişim Kaynağı	Toplam Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F*
Regresyon	SSR	p-1	MSR=SSR/p-1	MSR/MSE
Artıklar	SSE	n-p	MSE=SSE/(n-p)	
Toplam	SSTO	n-1		

2.1. Regresyon Katsayılarının Test Edilmesi

F istatistiğine ilişkin H_0 hipotezinin reddedilmesi durumunda, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin varlığından söz edilir. Katsayılara ilişkin “en az bir regresyon katsayısının sıfırdan farklı olduğu” yorumu yapılır. Bu durumda, hangi regresyon katsayısı ya da katsayılarının sıfırdan farklı olduğu ya da hangilerinin sıfıra eşit olduğu test edilebilir. Bu işlemlerin geçerliliği daha önceden verilen “Her bir X_i değişken kümesi için, birden çok Y değeri vardır ve Y alt kümeleri normal dağılım gösterir” şeklinde ifade edilen varsayıma dayalıdır. $H_0: \beta_i=0$, $H_A: \beta_i \neq 0$ hipotezi, $t = (b_i - \beta_i) / (s(b_i)) \sim t(n - p)$ ile test edilir. Burada $s(b_i)$, b_i 'ye ilişkin standart hatadır. H_0 hipotezi kabul edilirse, ilgili regresyon katsayısına ilişkin değişkenin modele katkısının önemli olmadığı ve istenirse modelden çıkartılabileceği ve de bu değişkeni içermeyen yeni bir modelin kurulabileceği anlaşılır. H_0 hipotezinin kabul edilmesinde ise ilgili değişkenin regresyon kareler toplamında ve dolayısıyla R^2 'de meydana getireceği artışın anlamlı olduğu söylenebilir.

2.2. Uyum Eksikliği için F testi

Çoklu doğrusal regresyonda tekrar edilen gözlemlerde X'in her değişimine karşılık gelen Y değerleri sabittir. Tablo 2'de gösterildiği gibi

Hata kareler toplamı (SSE), Arı hata kareler toplamı (SSPE) ve Uyum Eksikliği kareler toplamına (SSLF) ayrıştırılır. Buna göre; Hata=Arı Hata + Uyum Eksikliği 'dir. Arı hata kareler toplamı SSPE, her aynı değere sahip X değişkeni için tekrar gruplar olduğunda, grup ortalaması etrafında Y gözlemlerin her grubuna ait toplam karelerinin sapmaları ile hesaplanır. X değişkeninin ayrı düzeylerinin grup sayıları c ile nitelendirilir.

SSPE serbestlik derecesi n-c ve SSLF'nin serbestlik derecesi (n-p)-(n-c) = c-p'dir. Buna göre ilgili hipotez; $H_0: E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_{(p-1)} X_{(p-1)}$ ve $H_A: E(Y) \neq \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_{(p-1)} X_{(p-1)}$ 'dir. Genel doğrusal test istatistiği $F^* = \frac{SSE-SSPE}{(n-p)-(n-c)} \div \frac{SSPE}{n-c} \rightarrow F^* = \frac{SSLF}{c-p} \div \frac{SSPE}{n-c} \rightarrow F^* = \frac{MSLF}{MSPE}$ ile gösterilir. İlgili karar kuralı, eğer $F^* \leq F(1-\alpha; c-p, n-c)$ sonuç H_0 Eğer $F^* > F(1-\alpha; c-p, n-c)$ sonuç H_A biçimindedir. Buna göre varyans analizi tablosu Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çoklu Regresyonda Uyum Eksikliği İçin Varyans Analizi Tablosu

Değişim Kaynağı	Toplam Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F*
Regresyon	SSR	p-1	MSR=SSR/p-1	MSR/MSE
Artıklar	SSE	n-p	MSE=SSE/(n-p)	
Uyum Eksikliği	SSLF	c-p	MSLF=SSLF/(c-p)	
Arı hata	SSPE	n-c	MSPE=SSPE/(n-c)	
Toplam	SSTO	n-1		

Güven Aralığı

Eğer $\varepsilon \sim N(0, I\sigma^2)$, b ve Y^* çok değişkenli normal dağılıma sahip olduğunda, $t = (b_k - \beta_k) / (s(b_k)) \sim t(n-p)$ $k=0, 1, 2, \dots, p-1, \beta_k$ için %100 (1- α)'lik güven aralığı, $b_k \pm t(1-\alpha/2; n-p) s(b_k)$ olur. Benzer olarak bağımsız değişkenlerin seçilmiş değerlerine bağlı E (Y_i)'nin %100 (1- α)'lik güven aralığı $\hat{Y}_i \pm t(1-\alpha/2; n-p) s(\hat{Y}_i)$ ile elde edilir.

3. REGRESYON MODELDE X VE Y ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DERECESİNİ BELİRLEME ÖLÇÜLERİ

X ile Y arasındaki ilişkinin derecesini belirlemede pratikte çok sık kullanılan iki ölçü mevcuttur. Bunlardan biri çoklu belirleyicilik katsayısı diğeri de çoklu korelasyon katsayısıdır.

Çoklu Belirleyicilik Katsayısı (R^2); Çoklu belirleyicilik katsayısı R^2 ile nitelendirilir. Bu tanımlama seçeneğinde; $R^2 = 1 - \frac{SSE}{SSTO}$, $0 \leq R^2 \leq 1$ arasındadır. R^2 , 0 ile 1 arasında değerler alır. Eğer $R^2 = 0$ ise, modeldeki bütün parametre tahminleri sıfırdır. Eğer $R^2 = 1$ ise, bütün gözlem değerleri cevap yüzeyi üzerindedir. Yani bütün i 'ler için $Y_i = \hat{Y}_i$ olur. Başka söylemle, R^2 bağımlı değişkendeki değişmelerin yüzde ne kadarının, bağımsız değişkenler ile açıklanabileceğini gösterir.

Çoklu belirleyicilik katsayısı R^2 'ye Y_i cevap değişkenleri ile bunların uyumlanmış değerleri olan \hat{Y}_i ile arasındaki basit korelasyon katsayısı r^2 olarak düşünülebilir. R^2 'nin büyük olması modelin uyumunun iyi olduğu sonucunu getirmez. Örneğin, gözlemler sadece bağımsız değişkenlerin birkaç seviyesinde elde edilmiş olabilir. Bu durumda R^2 yüksek olmasına karın uygun model kullanışlı olmayabilir. Çünkü birçok tahminler gözlem bölgelerinin dışında olacaktır. R^2 'nin büyük olduğu durumda, ancak yüksek duyarlılıkla geçerlilik kazanabilen çıkarsamalar için MSE'ler hala çok büyük olabilir. Modele eklenen bağımsız değişkenler R^2 'yi daima arttırır. Çünkü, SSE bağımsız değişkenlerle asla büyümeyebilir ve SSTO hiçbir şekilde değişmez (Neter et al., 1996).

Çoklu Korelasyon Katsayısı (R); Belirleyicilik katsayısının karekökü çoklu korelasyon katsayısı olarak ifade edilir. Birden fazla bağımsız değişken olduğunda bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamak için R ile ifade edilen çoklu korelasyon katsayısı da kullanılmaktadır (Rao, 1998).

4. ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON MODELLERDE DEĞİŞKEN SEÇİMİ

Çoklu doğrusal regresyon çözümlemesinde, modeli oluşturan bağımsız değişkenlerden bazılarının modele katkısı önemsiz olabilir. Bu nedenle, bağımlı değişkeni "en uygun" şekilde açıklayacak bağımsız

değişkenlerin belirlenmesi ve buna göre yerinde, isabetli yorumlar yapabilmek gerekir. Bu can alıcı önem taşıyan sürece “değişken seçimi” denir (Alpar, 2013).

Değişkenleri seçmedeki amaç, bağımlı değişkeni en iyi şekilde açıklayacak bağımsız değişkenlerden oluşacak bir istatistiksel modelin oluşturulmasıdır. Değişken seçim işlemi yapılırken, verilerin araştırma süreci içinde belirli bir maliyet, işgücü ve zaman gerektirdiği unutulmamalıdır. Bu nedenle verileri birleştirmede genişleyen finans, enerji ve zamanın minimizasyonu da gereklidir.

Çoklu doğrusal regresyon model için bağımsız değişkenlerin seçimi iki adımda meydana gelir. Öngörülen bağımsız değişkenlerin belirlenmesi, Son modeli kapsayacak biçimde öngörülen değişkenlerin bir alt setini seçmektir.

Bağımlı değişkeni etkilediği düşünülen bağımsız değişkenlerin seçimi kolay değildir. Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin seçimi kolay değildir. Genellikle, bağımlı değişken ile kuvvetli bir ilişki içinde olanların bu aday havuzuna alınması gerekmektedir (Rao, 1998).

Değişken seçimi amacı ile kullanılan değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, hesaplama tekniklerine göre; Tüm olası alt kümeler (Subset) Yöntemi; Adımsal yöntemler, İleriye doğru seçim (Forward Selection), Geriye doğru eleme (Backward Elimination), Adım-Adım Regresyon Yöntemi (Stepwise)

4.1. Tüm Olası Alt Kümeler (Subset) Yöntemi

Tüm olası alt kümeler yöntemi, (sadece b_0 'ın modelde olduğu durum dışında) tek, iki, üç, dört, ... değişkenin yer aldığı altkümelerin oluşturulması şeklinde olup, araştırıcılara tüm olası alt kümeleri sunması açısından yararlıdır. Ancak, değişken sayısının fazla olduğu durumlarda, bu yöntem güçleşir, daha ötede kimi zaman olanaksızlaşır. Olası regresyon denklemi sayısı, modelde sadece β_0 'ın bulunduğu denklemle birlikte 2^p 'dir. Görüldüğü gibi, tüm olası altkümeler yönteminde, modeldeki bağımsız değişken sayısı artarken, incelenecek denklem sayısı da hızlı bir şekilde artmaktadır (Alpar, 2013). Eğer çoklu doğrusal regresyon modelde bütün $p-1$ bağımsız değişkenler kullanılırsa, model için önemsiz olanlar çıkartılır. Bu da tek tek kısmi regresyon katsayılarının testleri ile elde

edilir. Hocking (1976) tüm olası alt kümeler yönteminde birden fazla seçim kriterinin olduğunu ifade etmiştir. Bunlardan ikisi Mallows C_p ve R^2 belirleyicilik katsayısıdır (Rao, 1998). Tüm olası alt kümeler yönteminde uygun altkümenin seçimi için geliştirilmiş birçok ölçüt vardır. Bunlardan üç tanesi aşağıda verilmiştir.

Çoklu Belirleyicilik Katsayısı; Çoklu belirleyicilik katsayısı, regresyon modelinin yeterliliği konusunda yaygın olarak kullanılan ölçütlerden biridir. Bağımsız değişkenler tek tek modele alınarak 2^p olası regresyon modeli oluşturulur ve bu modellerdeki en büyük R_p^2 'nin değeri dikkate alınır. Modeldeki değişken sayısına karşı R_p^2 'nin grafiği çizildiğinde, grafikte eğrinin büküldüğü noktaya karşı gelen alt kümenin en iyi alt küme olduğu yorumu yapılır (Alpar, 2013). SSTO, bütün alt kümeler için sabittir. R_p^2 , SSE_p ile bir değişim gösterir (Neter et al., 1996).

Düzeltilmiş R^2 ve MSE_p ; Fonksiyona yeni bir değişken eklenmesiyle çoklu belirleyicilik katsayısı azalmaz ve genellikle artar. Bunun nedeni, R^2 'nin payındaki değer artırılmış olması, fakat paydanın aynı kalmasından kaynaklanmaktadır. Bu sakıncayı gidermek için, fonksiyona yeni değişkenler eklendiğinde azalan serbestlik derecesini hesaba katmak üzere R^2 düzeltilir (Alpar, 2013). Böyle bir düzeltmedeki asıl amaç, farklı veri gruplarında geliştirilmiş olan regresyon eşitliklerinde, serbestlik dereceleri ne olursa olsun, karşılaştırma yapabilmektedir. Ancak, düzeltilmiş R^2 'nin böyle durumlarda başlangıçta bir ön karar verebilmek için, yararlı olabildiği, onun dışında en uygun modeli seçmekte, pek yeterli olmadığı, ifade edilmektedir (Draper ve Smith, 1998). Alt küme denklemlerine ilişkin, artık kareler ortalamaları (MSE_p), model değerlendirme kriteri olarak kullanılabilir. Bu yöntem, aslında düzeltilmiş R^2 yaklaşımının eş değeridir. $MSE_p = SSE_p/(n-p)$ yaklaşıma göre, seçim kriterleri aşağıda verilmiştir. Buna göre, tüm altkümelere ilişkin SSE_p 'ler bulunduğundan sonra; En küçük MSE_p değerine sahip alt küme, en uygun alt küme olarak seçilir. Tüm model için bulunan MSE 'ye en yakın MSE_p 'li model seçilir. p ve MSE_p 'ye bağlı bir grafik çizildiğinde en küçük MSE_p 'nin yukarı doğru döndüğü noktaya yakın p değişkenli bir model seçilir (Alpar, 2013).

Mallows (C_p) İstatistiği; Tüm olası alt kümelerde C_p seçim ölçütü istatistiği; $C_p = \frac{MSE_p}{MSE - n + 2p}$, $MSE_p = b_0$ 'da dahil, p sayıda parametrelerden ($p-1$ sayıda bağımsız değişken) oluşan bir modelin hata kareler ortalaması,

MSE= Bütün değişkenleri içeren modelin hata kareler ortalaması, $p = b_0$ 'da dahil parametre sayısı, n = Gözlem sayısıdır. MSE σ^2 'nin iyi bir tahmini kabul edileceğine göre, öte yandan p parametrelili doyurucu bir eşitlik için $E(MSE_p) = (n-p)\sigma^2$ olduğuna göre, MSE_p/MSE oranının beklenen değeri, yaklaşık olarak $(n-p)$ alınabilir. Buradan da C_p 'nin yaklaşık beklenen değeri p 'ye eşit bulunur. Modellerin C_p istatistikleri ile p değerleri arasındaki uygunluğa göre, en iyi model seçimi yapılabilir (Düzgüneş vd., 1987). C_p kriterinin kullanımında X değişkenlerini tanımlayan en iyi tüm olası alt kümeler için, C_p değeri küçük olacak, C_p değeri p 'ye yakın olacaktır (Neter et. al., 1996).

4.2. Adımsal Yöntemler

Çoklu doğrusal regresyon modellerde değişken seçimine bağlı adımsal yöntemler üçe ayrılır. Bunlar; İleriye Doğru Seçim (Forward Selection) Yöntemi, Geriye Doğru Eleme (Backward Elimination) ve Adım Adım Değişken seçim Yöntemi (Stepwise)'dir.

İleriye Doğru Seçim (Forward Selection); İleriye doğru seçim yönteminde, önce bağımlı değişkenle en yüksek korelasyona sahip olan değişken seçilir ve bununla bir regresyon denklemi kurulur. Daha sonra diğer bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasında kısmi korelasyon katsayıları bulunur. Bunlardan en yüksek ilişkiyi gösteren değişken modele eklenerek, iki bağımsız değişkenli, regresyon denklemi kurulur. Yeni modelin, belirtme katsayısı hesaplanır.

Geriye Doğru Eleme (Backward Elimination); Geriye doğru seçim yönteminde önce değişkenlerin hepsi ile bir regresyon denklemi bulunur. Sonra bağımsız değişkenlerin her biri için (adeta denkleme giren son değişkenmiş gibi) kısmi F değerleri hesaplanır. Bunlar arasından, en düşük olanı 1 ve hata serbestlik dereceli F dağılımında önceden belirlenmiş önem seviyesine karşılık gelen F_0 kritik değerden büyükse, regresyon denklemi öylece benimsenir. Değil ise, o değişken çıkarılarak geri kalan değişkenlerle işlem tekrarlanır. Atılacak değişken kalmayınca kadar işleme devam edilir. Geriye doğru eleme yöntemi iyi bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Bir yandan mümkün olan bütün regresyonları hesaplamaktan daha ekonomiktir, öte yandan bütün değişkenleri bir arada eşitlikte görerek hiçbir şeyi kaçırmak istemeyenler için yeterli bilgiyi vermektedir. Bu yöntemin önemli bir eksiği, elenen bir değişkenin,

modelden başka değişkeninde atılmasından sonra, aralarındaki yüksek korelasyon yüzünden, modele tekrar girecek kadar önem kazanması mümkün olabilir (Düzgüneş vd., 1987).

Adım-Adım Değişken Seçim Yöntemi (Stepwise); Adım-adım değişken seçim yöntemi, geriye doğru eleme ile ileriye doğru seçim yöntemlerinin birleşimidir. Modele girecek ilk değişken, ileriye doğru seçim yöntemindekine gibi belirlenir. Eğer değişken modele alınmazsa, işlem sonlanır. Bu durumda, modelde hiçbir değişken olmayacaktır. Eğer, değişken modele alınırsa, modele girecek ikinci değişken, modeldeki değişken sabit tutulduğunda, Y bağımlı değişkeni ile en yüksek kısmi korelasyon katsayısına sahip olan değişkendir. Bu değişkende, gerekli girme koşulları sağlanırsa modele alınır. Ancak, ilk değişken modele girdikten sonra, adım-adım seçim yöntemi, ileriye doğru seçim yöntemine göre bazı farklılıklar gösterir. Şöyle ki, modele giren ilk değişken geriye doğru seçim yönteminde olduğu gibi, önceden belirlenen modelden çıkarma kriterine göre bir sonraki adımda ise modelde olmayan değişkenler modele alınmak amacı ile incelenir. Her adım sonrasında, modelde olan değişkenlerin tümü modelden çıkma kriterine göre incelenir. Aynı bağımsız değişkenin sürekli olarak modele girme ve modelden çıkma döngüsüne girmesini önlemek için, modele girme kriteri modelden çıkma kriterinden küçük olmalıdır. Örneğin modele girme için F değeri olasılığı 0,05 ise çıkma olasılığı bundan büyük örneğin 0,10 olmalıdır. Değişken seçimi, girme-çıkma kriterlerini sağlayan herhangi bir değişken kalmadığında sonlanacaktır (Düzgüneş vd., 1987).

4.3. Bağımsız Değişken Seçim Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Değişken seçim yöntemleri çoklu bağlantıdan etkilenir. Bu nedenle, seçim yöntemi uygulanacak veriden öncelikle çoklu bağlantı durumu incelenmeli ve olanaklı ise çoklu bağlantı durumu giderildikten sonra seçim işlemi yapılmalıdır. Çoklu bağlantı varlığına karşın bir seçim işlemi yapılacaksa, modele girmek ve modelden çıkmak için, F değeri olasılıklarının düşük (örneğin, $\alpha/2$ kadar ya da 0,05'in altında) tutulması önerilmektedir (Alpar, 2013). Buraya kadar bahsedilen yöntemlerden hangisinin daha iyi olduğuna dair, Drapper ve Smith (1981)'de şu şekilde belirtmiştir; *“Pratik bir regresyon yöntemi için bizim kendi tercihimiz değişken ekleme-eleme işlemidir. Bu işlemle belirlenen eşitlik*

“yöresindeki” eşitliklerin bilinmesi istenirse “tüm olası alt kümeler” işlemini, bir kriter olarak da belki C_p istatistiğini yeğlemek gerekir. Bütün regresyonların uygulamaya alınması, değişken sayısının az olduğu durumlar dışında, mantıklı değildir. Teorik olarak, “her şeye bakma garantisi” verdiği için, uygulamaya alınabilen tüm olası regresyonlar en iyisidir.” (Düzgüneş vd.,1987).

Hesaplama etkileri ile ilgili, tüm olası alt kümeler işleminde 2^p birçok uygun regresyon eşitliği gerekli olabilir. Buna karşılık geriye doğru eleme yöntemi p bağımsız değişkenden daha çok regresyon eşitliği gerektirmez. İleriye doğru seçim yöntemi ise çok karmaşık işlemleri gerektirmektedir. Fakat, çoklu bağlantı olduğu durumlarda geriye doğru eleme yönteminin uygulanması da genelde kabul görmektedir. Sonuç olarak, en yaygın kullanımı olan yöntemin adım-adım seçim yöntemi olduğu belirtilebilir. Bunun nedeni, değişkenlerin hem eklenmesi, hemde çıkarılması işleminin aynı anda yapılabilmesidir. İleriye doğru seçim yöntemi gibi başlar, fakat her zaman bir değişken modelde iken, bütün değişkenler eklenerek, açıklanabilir (Zar, 2013).

5. ÇOK DEĞİŞKENLİ REGRESYON MODELİNDEN SAPMALAR

En küçük kareler yönteminin en büyük eksiği temel varsayımların sağlanamamasından kaynaklanan eksikliklerdir. Bunlar, normal dağılım ve sabit varyans varsayımının yerine getirilmesi, bunun yanında, otokorelasyon ve çoklu bağlantı varsayımlarının sağlanması ile ilgili olan sorunlardır. Soruna yol açan diğer bir problem ise çalışma modelinin fonksiyonel özelliklerinin hataya açık olması gibi sorunlarda sayılabilir (Fox, 2015). Bu bölümde değişen varyans, otokorelasyon, çoklu bağlantı ile bunlara ilişkin çözümler incelenmektedir.

5.1. Değişen Varyans Durumu;

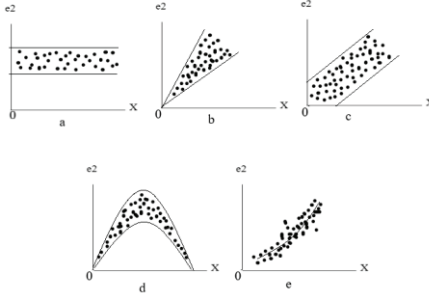
Regresyon çıkarsamalarındaki değerliliği için önemli varsayımlarından biri, bağımsız değişkenlerin bütün düzeyleri için α hata teriminin σ^2 sabit varyansa sahip olmasıdır. Yani, $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ 'dir. Buradaki, her hata terimi varyansı bağımsız değişkenlerin değerlerine göre σ^2 'ye eşit ve sabit bir değerdir. Bu nedenle bu duruma, eşit varyanslılık ya da sabit varyanslılık (homoscedastic) adı verilir. Bağımsız değişkenlerin farklı seviyeleri için ε

hata teriminin farklı varyansa sahip olması eşit olmayan varyanslılık ya da değişen varyans (heteroscedostic) olarak ifade edilir (Gujarati ve Porter, 1999). En küçük kareler yönteminde kullanılan hesaplayıcıların, minimum varyans özellikleri, doğrudan bu varsayım ile ilgilidir. Ancak, bu şekilde uygulanan eşit ağırlıklı varyans hesaplamaları, değişkenlerin eşit ağırlıklı olmaması durumunda daha doğru sonuç vermemektedir (Neter et.al., 1996). Dolayısıyla, en küçük kareler yönteminin kullanılması için öncelikle verilerin eşit ağırlıkta olup olmadıklarının değerlendirilmesi gerekir. Eğer değişen varyans durumu var ise ortaya aşağıdaki sonuçlar çıkar; Değişen varyans olması durumunda β 'nın tahmin edicileri olan b 'ler doğrusal ve yansızdır. Ancak küçük varyanslı olma özelliklerini kaybederler. Yani küçük örneklerde etkin olmadıkları gibi büyük örneklerde de etkin değildirler. Değişen varyans olması durumunda, en küçük kareler tahmin edicilerinin varyans tahmin formülleri genellikle yanlıdır. Bundan dolayı, değişen varyanslılığı ortadan kaldıracı diğer yöntemler kullanılmamalıdır. En küçük kareler yöntemi uygulandığında s^2 büyük olacaktır. Sonuç olarak, güven aralıkları ve hipotez testlerini temel alan t ve F dağılımlarına güvenilmez. Bundan dolayı, eğer hipotez testleri kullanılırsa elde edilen sonuçlar yanlış bir şekilde değerlendirilmiş olur. Değişen varyans durumu olduğunda, en küçük kareler yöntemi uygulanamaz (Gujarati ve Porter, 1999).

Değişen Varyans için Sınamalar; Değişen varyans olup olmadığını anlamak için birçok yöntem vardır. Bunlar, Artıkların grafik yöntemi, Spearman sıra korelasyon sınaması, Goldfeld ve Quandt sınaması, Glejser sınaması, Modified Levene testidir. Bunlar hakkında bilgi verip nasıl uygulandıklarına dair kısaca değinilecektir. Fakat bunlardan en çok kullanılan grafik yöntem ve spearman sıra korelasyon sınamasıdır.

Artıkların Grafik Yöntemi; Grafik yöntemi değişen varyanslılığın araştırılmasında en çok kullanılan basit ve kolay bir yoldur. Bu yöntem grafikte uygulanırken dik eksende hata terimi, yatay eksende ise X değerleri veya Y değerleri kullanılır. Grafikteki noktaların dağılışına göre eşit ya da değişen varyans durumları belirlenebilir. Örneğin hata terimleri X 'ler arttıkça aynı kaldığında eşit varyanslılık olduğu söylenebilir. Hatalar, X 'ler arttıkça azalıyorsa azalan varyans ya da değişen varyanstan söz edilebilir. Grafik yönteminde düşey eksende e^2 yatay eksende X olduğunda bu durumda diyagramın Şekil 1'deki durumlarla karşılaşılır. Şekil 1.a'da görüldüğü gibi noktalar X eksenine paralel iki doğru arasında kalır. Bu

durum eşit varyanslılığı yansıtır. Şekil 1.b'den Şekil 1.e'ye kadar olan grafiklerde e^2 ile bağımsız değişkenler X arasında sistematik bir ilişkiyi açıklar. Şekil 1.c bu ikisi arasındaki doğrusal ilişkiyi gösterirken Şekil 1.d ve Şekil 1.e'ye kadar olan grafikler değişen varyanslılık durumu ile ilgilidir (Gujarati ve Porter, 1999).



Şekil 1. Değişen Varyans Durumunun Gösterimi

Uygulamada artıklar grafiği, değişen varyanslılık durumunu sezinlemek için çok kuvvetli bir tekniktir. Unutmamak gerekir ki, bir grafik teknikten sonuç çıkarma güvenilir olmayabilir. Bu nedenle, bir istatistiksel testin kullanılması daha güvenilir sonuç elde etmemizi sağlar.

Spearman Sıra Korelasyonu Sınaması; Küçük ya da büyük örneklerde uygulanabilen en basit sınamadır. Bu yöntemde sınanacak hipotezler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir. H_0 : ε_i 'ler sabit varyanslı, H_A : ε_i 'ler değişen varyanslı, Hipotezlerin sınanması aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilir. Y'nin X'e göre regresyon analizi yapılır ve ε ' ların tahminleri olan e 'ler bulunur. Artıkların mutlak değerleri bulunur ($|e_i|$), Bu $|e_i|$ 'ler ve X'ler büyüklük sırasına dizilir, Her gözlem için iki sıra arasındaki fark alınır, bu D_i olarak nitelendirilir, Spearman sıra korelasyon katsayısı r_s yandaki şekilde hesaplanır. $r_s = 1 - (6 \sum D_i^2) / (n(n^2 - 1))$, n = örnekteki gözlem sayısıdır. r_s 'nin alacağı değerler -1 ile +1 arasındadır. Eğer $|e_i|$ ve X_i arasındaki sistematik ilişkiyi gösteren sıra korelasyon katsayısı istatistiksel olarak önemli ise değişen varyanslılıktan şüphelenilebilir. $n > 8$ koşulu ile gerçek kitle sıra korelasyon katsayısının sıfıra eşitliği ile belirtilen sıfır hipotezi verildiğinde $n-2$ serbestlik derecesi ile t dağılımına uyduğu gösterilebilir (Gujarati ve Porter, 1999). $t(n - 2) \sim (r_s \sqrt{(n - 2)}) / \sqrt{1 - r_s^2}$ Eğer ilişkide birden çok açıklayıcı değişken varsa, sıra korelasyon katsayısı e_i ile her açıklayıcı değişken için ayrı ayrı hesaplanabilir (Koutsoyiannis, 1989).

Goldfeld ve Quandt Sınaması; Bu sınamada büyük örneklerde uygulanabilir. Gözlemler en az tahmin edilecek parametre sayısının iki kadar olmalıdır. Burada ε 'lerin normalliği ve otokorelasyon olmadığı varsayılmaktadır. Sınanacak hipotez şu şekildedir; H_0 : ε_i 'ler sabit varyanslı, H_A : ε_i 'ler değişen varyanslı, Bu hipotezler aşağıdaki adamlara bağlı olarak sınanır. Gözlemler X bağımsız değişkenin büyüklüğüne göre sıraya dizilir. Ortaya düşen gözlemlerden isteğe bağlı olarak bir miktarı (c kadar) çözümlenme dışı bırakılır. Geriye kalan $(n-c)$ sayıda gözlemin yarısı X 'in küçük, öteki yarısı ise, büyük değerleri içeren iki eşit $[(n-c)/2]$ büyüklükte alt örneğe ayrılır. İki alt örneğe ayrı ayrı regresyon eğrisi uydurulur ve her birinin hata kareler toplamı bulunur ($\sum e_1^2$ ve $\sum e_2^2$). Bu toplamaların her biri uygun serbestlik derecesiyle bölünürse, ε 'ların iki alt örnekteki varyans tahminleri elde edilir. İki varyansın birbirine oranı bir F

dağılımı verir. $F^* = \frac{\frac{\sum e_2^2}{(n-c)/2-p}}{\frac{\sum e_1^2}{(n-c)/2-p}} = \frac{\sum e_2^2}{\sum e_1^2}$, Eğer iki varyans birbirine eşitse

(yani ε 'lar sabit varyanslıysa), F^* 1'e yakındır. Eğer değişen varyans var ise F^* büyük bir değer alır. Gözlenen F^* değeri, F 'nin $sd_1=sd_2=(n-c-2p)/2$ serbestlik derecesi ve seçilmiş bir anlamlılık düzeyindeki kuramsal F değeri ile karşılaştırılır. Eğer $F^* > F$ ise, değişen varyans durumunun olduğu onaylanır yani sıfır hipotezi reddedilir. Gözlenen F^* oranı ne kadar büyükse ε 'ların değişen varyans durumunda o kadar güçlüdür (Koutsoyiannis, 1989).

Glejser Sınaması; Bu yöntemde aynı türden hipotezlerin sınanmasında kullanılan yöntemlerden biridir. Yöntem aşağıdaki aşamalara bağlı olarak uygulanır. Bütün bağımsız değişkenlerle Y arasındaki regresyon denklemi ve tahmine ilişkin e_i 'ler elde edilir. e_i 'lerin mutlak değerleri ($|e_i|$) ile ilgili açıklayıcı değişken arasındaki regresyon denklemi tahmin edilir. Bu regresyon modeli genellikle bilinmediğinden, X 'in çeşitli kuvvetleri içeren değişik modeller denir. Korelasyon katsayısı ve model parametrelerinin tahminlerinin standart sapmaları ışığında uyum gösteren regresyon modeli seçilir. Değişen varyanslılığa katsayıların istatistik bakımından anlamlılığı doğrultusunda karar verilir. Katsayılar istatistiksel olarak anlamlı bulunursa, ε 'ların değişen varyanslı oldukları kabul edilir. Glejser sınamasının üstünlüğü değişen varyans durumunun biçimi konusunda, yani σ^2 'nin X_i ile nasıl bağlandığı konusunda bilgi vermesindedir (Koutsoyiannis, 1989).

Modified Levene Test; Modified Levene Test, artıkların değişimini temel alır. İlgili test aşağıdaki aşamalara bağlı olarak uygulanır. X'in değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. Sıralı veriler büyük ve küçük değerli olanlara göre iki gruba ayrılır. Bu iki grup için ayrı ayrı regresyon denklemi bulunur. Regresyon denklemine bağlı artıklar hesaplanır. Büyük değeri içeren grup 1.grup, küçük değeri içeren grupta 2.grup olarak nitelendirilir. 1.gruba ait i. artık e_{i1} ile 2.gruba ait i. artık ise e_{i2} ile gösterilir. 1. Gruba ait örnek büyüklüğü n_1 ile 2.gruba ait örnek büyüklüğü ise n_2 ile gösterilir. Grupların medyanları hesaplanır. 1.grubun medyanı \tilde{e}_1 ve 2. Grubun medyanı da \tilde{e}_2 olarak gösterilir. 1. Grup için e_{i1} 'den \tilde{e}_1 'in mutlak olarak sapmaları d_{i1} ile 2. Grup için ise e_{i2} 'den \tilde{e}_2 'in mutlak sapmaları d_{i2} ile gösterilir. $d_{i1} = |e_{i1} - \tilde{e}_1|$, $d_{i2} = |e_{i2} - \tilde{e}_2|$; d_{i1} ve d_{i2} hesaplandıktan sonra, iki örnekleme bağlı test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır; $t_L^* = \frac{\bar{d}_1 - \bar{d}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$ ve bu formülde, \bar{d}_1 ve \bar{d}_2 , d_{i1} ve d_{i2} 'nin örnek ortalamalarıdır.

Ortak varyans s ise; $s = \sqrt{\frac{\sum(d_{i1} - \bar{d}_1)^2 + \sum(d_{i2} - \bar{d}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}}$ olarak hesaplanır. Test istatistiği t_L^* tablo değeri $t_{(\alpha; n_1 + n_2 - 2)}$ ile karşılaştırılarak karar verilir. Ayrıca, t_L^* tablo değerine eşit veya büyük olması hata terimlerinin sabit varyansa sahip olmadığını gösterir (Neter et. al., 1996).

Değişen Varyans Durumu İçin Çözümler; Yukarıda açıklanan sınamalardan biri ile değişen varyans saptandığında, uygun çözüm, ilk modelde farklı varyansa yol açtığı düşünülen terimi sabit varyanslı bir kalıba dönüştürülmesidir. Bunun sonucunda elde edilen dönüştürülmüş yeni rassal terim, sabit varyanslıdır ve modelin bu dönüştürülmüş biçimini en küçük kareler uygulanabilir (Koutsoyiannis, 1989). Değişen varyanslılık sorununu giderebilmek için, değişkenler üzerinde yapılacak dönüşümlerden yararlanmak sık başvurulan bir yöntemdir. Sadece Y veya bir ya da birden fazla X değişkeninde ya da hem Y hem de X değişkenlerinde yapılabilen bu dönüşümlere “varyans dengeleme dönüşümleri” denir. Varyansları ortalamaların bir fonksiyonu olan rastlantı değişkenleri için bazı varyans dengeleme dönüşümleri tablo 4’te verilmiştir. Değişen varyanslılık sorununu giderebilmenin bir yoluda “ağırlıklı en küçük kareler yöntemi” kullanılmaktadır (Alpar, 2013).

5.2. Otokorelasyon

Bazı regresyon uygulamaları zamana bağlı olarak “doğal sıralı” olan bağımlı ve bağımsız değişkenler içerir. Bu tür verilere zaman serisi verileri denir. Zaman serisi verilerinde artıklar çoğunlukla sıra ile devam eden

ilişki gösterirler. Ancak, ilişkili artıklar sorunu sadece zaman serileri verilerinde ortaya çıkmaz. Gözlemlerin doğal sırada olduğu durumlarda ortaya çıkan ilişkiye otokorelasyon denir. Otokorelasyon birçok nedenle ortaya çıkabilir. Bazı önemli bağımsız değişkenlerin denkleme alınmaması, Regresyon modelinin yanlış seçilmiş olması, Bağımlı değişkende ölçüm hatalarının olmasıdır (Alpar, 2013).

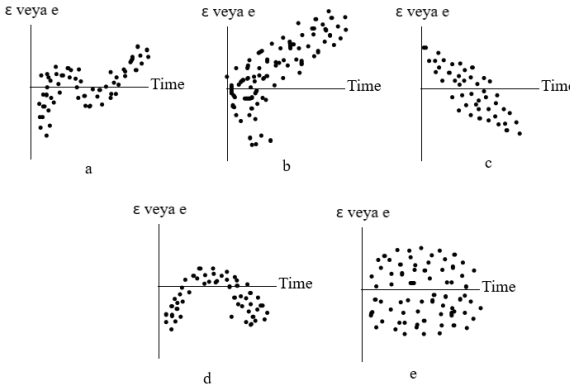
Otokorelasyonun Doğurduğu Sonuçlar; Otokorelasyon olan modellerde aşağıdaki sonuçlarla karşılaşılabilir. En küçük kareler tahmin edicileri en iyi doğrusal yansız tahmin ediciler değildir. En küçük kareler tahmin edicilerin varyansları yanlıdır. Bazen, en küçük tahmin edicilerin varyansları ve standart sapmalarının elde edilmesinde kullanılan alışılmış formüller daha küçük tahmin değerlerini sağlarlar. Bu sonuç gerçek değerinden daha büyük t hesap değerlerine yol açar. Bunun sonucunda, ilgili parametrelerin sıfıra eşit olduğu hipotez yanlışlıkla reddedilir. Böylece ilgili t ve F testleri güvenli değildir. Hesaplanan R^2 'de güvenilir değildir (Gujarati ve Porter, 1999).

Tablo 4. Varyans Dengeleme Dönüşümleri (Alpar, 2013)

Açıklama ve Y Değişkeninin Olasılık Dağılışı	Dağılımın Ortalaması Açısından Y'nin Varyansı	Dönüşüm	Artık Durumu
Y'ler Poisson dağılışına uyan sayımlar ise	μ	\sqrt{Y}	Sağa ya da sola megafon
Y'ler Poisson Dağılışına uyan Sayımlar ve Y'ler Sıfıra Yakın ya da çok küçükse	μ	$\sqrt{Y+1}$	Sağa ya da sola megafon
Y'lerin Dağılım genişliği çok büyük ve tüm Y_i 'ler pozitif ise,	μ^2	Log(Y)	Sağa ya da sola megafon
Yukarıdakine ek olarak Y_i 'lerin bazıları 0'a eşit ise,	μ^2	Log(Y+1)	Sağa ya da sola megafon
Y'lerin sıfıra yakın olacak şekilde toplandığı ve pozitif olduğu durumlarda	μ^4	1/Y	Sağa ya da sola megafon
Yukarıdakine ek olarak bazı Y_i 'ler sıfır ise,	μ^4	1/(Y+1)	Sağa ya da sola megafon
Binom oranları için $0 \leq Y_i \leq 1$	$[\mu(\mu+1)]/n$	$\sin^{-1}\sqrt{Y}$	Elips biçimi

Otokorelasyon Sınamaları; Otokorelasyonun araştırılmasında artık grafiklerinden yararlanılabilir. Bu amaçla, zamana göre artıkların serpmme grafikleri çizilir. Grafik bulguların dışında otokorelasyonun belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş değişik testler kullanılabilir. Bunların arasında en çok kullanılanı denek sayısı 15'in üzerinde olduğu durumlarda Durbin-Watson d istatistiğidir.

Grafik Yöntemi; Otokorelasyon olup olmadığını grafik yönteminden de anlayabiliriz. Şekil 2'de olduğu gibi, dikey eksene ε_i ve e_i 'nin her ikisi, yatay ekseninde ise zaman yer almaktadır. Şekil 2.a'dan şekil 2.d'ye kadar otokorelasyon olduğunu gösteren şekillerdir. Şekil 2.e ise otokorelasyon olmaması durumunu gösteren şekildir.



Şekil 2.
Otokorelasyonu
n Gösterimi

Durbin-Watson Testi; Durbin ve Watson küçük örneklere uygulanabilen bir sınama önermişlerdir. Ancak bu sınama yalnızca birinci derecede otokorelasyon var ise söz konusudur (Koutsoyiannis, 1989). İlgili yöntemde göre, hipotez; $H_0: \rho=0$ (Otokorelasyon yoktur) ve $H_A: \rho \neq 0$ (Otokorelasyon vardır) biçiminde ifade edilir. $d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2}$, d değerinin 0 ile 4 arasında değiştiği ve $d=2$ iken $\rho=0$ olduğu gösterilebilir. Öyleyse $H_0: \rho=0$ sınaması, $H_0: d=2$ sınamasıyla eşdeğerdir. d, $d \sim 2(1-\rho)$ biçiminde ifade edilir. Eğer $\rho=+1$ ve $d=0$ ise, tam artı korelasyon vardır. Eğer $\rho=0$ ve $d=2$ ise, otokorelasyon yoktur. Eğer $\rho=-1$ ve $d=4$ ise, tam eksi otokorelasyon vardır. Bundan sonraki adım Durbin Watson istatistiğinin hesaplanan d^* değeri ile d'nin kuramsal değeriyle karşılaştırılmasıdır. Bu sınamada sorun, d_2 'nin kesin dağılımının bilinmemesidir. Yine de Durbin-Watson, d anlamlılık düzeyleri için üst (d_U) ve alt (d_L) sınırları saptamışlardır ve %1 ve %5 anlamlılık düzeylerinde bu üst ve alt sınır

değerlerini tablo haline getirmişlerdir. Bu tablolar ε 'ların normal, eş varyanslı, otokorelasyon ve X'ler gerçekten dışsal olduklarını varsaymaktadır (Durbin ve Watson, 1992; Koutsoyiannis, 1989). Bu sınamada regresyon artıklarından hesaplanan d^* 'ın Durbin-Watson d istatistiği tablosu ile verilen ve α yanılma düzeyi bağımsız değişken sayısı ve denek sayısına göre değişen alt ($d_{lower}=d_L$) ve üst ($d_{upper}=d_U$) sınırları ile karşılaştırılması, otokorelasyonun varlığı ya da yokluğu konusunda karar vermemizi sağlar. Durbin-Watson d istatistiği tablosunda bu değerler bulunabilir. Eğer $d^* \leq d_L$ ise pozitif korelasyon, $d^* \geq d_U$ ise pozitif korelasyon yoktur, $d_L < d^* < d_U$ ise otokorelasyon için karar verilemez. Negatif otokorelasyon sık sık karşılaşılan bir otokorelasyon türü değildir. Negatif otokorelasyonun varlığı konusunda karar verebilmek için $d-d^*$ farkından yararlanılır. Buna göre, Eğer $4-d^* \leq d_L$ ise negatif korelasyon, $4-d^* \geq d_U$ ise negatif korelasyon yoktur, $d_L < 4-d^* < d_U$ ise otokorelasyon için karar verilemez (Koutsoyiannis, 1989).

Otokorelasyon Durumunda Çözümler; Her bir seçenekte benimsenecek çözüm otokorelasyonun kaynağına bağlıdır. Eğer kaynak dışlanmış değişkenler ise, bu değişkenleri bağımsız değişkenler kümesine katmak uygun bir yoldur. Otokorelasyonun dışlanmış değişkenlerden doğup doğmadığını anlamının en basit yolu e artıklar ile incelenen olguda açıklayıcı olabilecekleri önsel olarak düşünülen değişkenler arasında regresyon uygulamaktır. Benzer biçimde, otokorelasyonun kaynağı ilişkinin matematik modeli yanlış kurulduysa, uygun yaklaşım ilk (doğrusal) modeli değiştirmek olmalıdır. Bu da artıklarla açıklayıcı değişken (ler)'in daha yüksek kuvvetleri arasında regresyon uygulamakla ya da “logaritmik doğrusal” modeli hesaplamakla vb. yollarla araştırılabilir. Otokorelasyonun yukarıdaki kaynaklarının geçersizliği gösterildikten sonradır ki, gerçek ε 'ların zaman içinde bağımlı oldukları kabul edilir. Bu durumda uygun yöntem rassal değişkeni en küçük kareler varsayımlarını sağlayacak bir model türetecek biçimde, ilk verilere dönüştürmektir. Bunun sonucunda parametreler en uygun biçimde tahmin edilmiş olacaktır. Herhangi bir uygun sına ile otokorelasyon belirlendikten sonra, uygun düzeltme süreci ρ 'ların bir tahminini bulmak ve dönüştürülmüş verilere en küçük kareler uygulamaktır. İlk verilerin dönüştürülmesi, otokorelasyon un modeline göre uygulanır (Koutsoyiannis, 1989).

5.3. Çoklu Bağlantı (Multicollinearity)

Bir regresyon analizinde araştırmacılar çoklu bağlantı (multicollinearity) sorunu ile çok sık karşılaşmaktadırlar. Bağımsız değişkenlerden bir ya da birkaçının diğer bağımsız değişkenler tarafından iyi açıklandığı zaman, sonuçlarda istenmeyen özellikler oluşturan çoklu bağlantı sorunu ortaya çıkmaktadır (Canküyer, 1996).

Çoklu doğrusal regresyon modelinde bağımsız değişkenlerin (bazıları ya da hepsi) arasında tam bir ilişki olmasına çoklu bağlantı denir (Ertek, 2000). Bir başka ifade ile p tane bağımsız değişkenli bir çoklu doğrusal regresyon modelinde herhangi iki bağımsız değişken x_i ve x_j olsun. Bunlar arasındaki korelasyon katsayısı $r_{ij}=1$ ise bu duruma çoklu bağlantı denir. Çoklu bağlantının ortaya çıkmasının nedenleri; Örneklemin evreni temsil etmemesi, Bağımsız değişkenler arasında gerçekten ilişki olması, Gözlem sayısı değişken sayısından az olması durumunda çoklu bağlantı ortaya çıkar (Alpar, 2013).

Çoklu Bağlantının Uygulamada Ortaya ıkardığı Sakıncalar; Eğer bağımsız değişkenler arasındaki ilişki tam ($r_{ij}=1$) olduğu zaman; Regresyon katsayılarının değerleri belirsizdir, Regresyon katsayılarının varyansları çok büyük olur (Koutsoyionnis, 1989), Çok geniş güven aralıklarına sahip olur, t istatistik değerleri çok küçüktür, R^2 olduğundan fazla büyüktür, En küçük kareler tahmin ediciler ve onların standart hataları verilerde çok küçük duyarlılıkları vardır ve eğilim sabit değildir, Regresyon katsayıları için işaretler yanlıştır (Gujarati ve Porter, 1999). Çoklu bağlantının zararı da incelenen sorunun yapısına göre değişir. Amaç önceden tahmin ise tek tek katsayılar önemli değildir, fakat bağımsız değişkenler setinin bir bütün olarak başarısı önemlidir. Buna karşılık her bir katsayının gerek işaret gerek mutlak büyüklük bakımından hassas şekilde hesabını gerektiren simülasyonlarda, ekonometrik modellerde, duyarlılık analizlerinde, çoklu bağlantı önemli bir problem şeklinde ortaya çıkabilmektedir (Korum, 1971).

Çoklu Bağlantının Varlığını Araştırma Sınamaları; Çoklu bağlantının varlığını ortaya çıkartan birçok gösterge vardır. Bunlar; Frish'in kavşak çözümlemesine dayalı bir yöntem, bağımsız değişkenler arasındaki çoklu determinasyon katsayısı, varyans şişme değerleri ve korelasyon matrisine ilişkin özdeğerlerin incelenmesi yöntemleridir.

Frish'in Kavşak Çözümlemesine Dayalı Bir Yöntem; Frish'in kavşak çözümlemesine dayalı bir yöntemi aşağıdaki şekilde özetlenebilir. Bağımlı değişkenin bağımsız değişkenlerden her biri ile ayrı ayrı regresyonun yapılması ile başlar. Böylelikle bütün başlangıç regresyonları elde edilir. Bu sonuçlar önsel ve istatistiksel ölçülerle incelenir. Hem önsel hem de istatistiksel ölçütlere göre en inandırıcı başlangıç regresyonu seçilir. Sonra te tek öteki değişkenler eklenir ve bunların tek tek katsayıları, katsayıların standart hatalarını ve R^2 üzerindeki etkileri incelenir. Yeni eklenen değişken aşağıda görüldüğü gibi, yararlı, gereksiz ya da zararlı diye sınıflandırılır. Eğer yeni eklenen değişken tek tek katsayıları önsel ölçütlere göre kabul edilemez (yanlış) durumlara dönüştürmeksizin R^2 'yi yükseltiyorsa, bu değişken **yararlı** sayılır ve bağımsız değişkenler arasında yer alır. Eğer yeni değişken R^2 'yi yükseltmiyor ve tek tek katsayıların değerlerini önemli ölçüde etkilemiyorsa, **gereksiz** sayılır ve reddedilir (yani bağımsız değişkenler arasında yer almaz). Eğer yeni değişken katsayıların işaretlerini ya da değerlerini önemli ölçüde etkiliyorsa, **zararlı** sayılır. Frish'in çözümlemesinde ilişkide var olan değişkenler arasındaki bütün regresyonlar, her bir değişkeni sırası ile bağımlı değişken olarak alıp çözümlenmeye teker teker katılan, öteki değişkenlerle arasındaki bütün regresyonlar hesaplanarak uygulanır (Koutsoyionnis, 1989).

Bağımsız Değişkenler Arasındaki Çoklu Determinasyon Katsayısı; Herhangi bir X_i bağımsız değişkeni ile geriye kalan diğer bağımsız değişkenler arasında bulunacak çoklu determinasyon katsayısı R_i^2 ile gösterilirse, R_i^2 'nin 1'e yaklaşması durumunda X_i bağımsız değişkeni ile diğer değişkenler ya da diğer değişkenlerin herhangi bir alt kümesi arasında güçlü çoklu bağlantı olduğu söylenir. $1 - R_i^2$ değerine bir değişkenin toleransı denir. Eğer bir değişkenin toleransı küçük ise, bu değişkenin diğer değişkenler ile doğrusal bağlantılı olduğu söylenir (Alpar, 2013).

Varyans Şişme Değerleri (Variance Inflation Factors-VIF); Çoklu bağlantının varlığını belirlemek için diğer bir ölçü VIF_i 'dir. Regresyon katsayısı için varyans şişme değerleri bağımsız değişkenlerin r korelasyon matrisinden hesaplanabilir. Bağımsız değişkenlere ilişkin korelasyon matrisinin tersinin köşegen öğelerine varyans şişme değerleri denir ve VIF_i değerleri tolerans değerleri ile ilgili olarak, $VIF_j = \frac{1}{1-R_j^2}$ ile de hesaplanabilir (Alpar, 2013). Eğer X_i ve diğer bağımsız değişkenleri içeren

modelde kuvvetli bir ilişki varsa, R_i^2 1'e yakın olacak ve VIF_i büyük olacaktır. Varyans şişme faktörü aslında i. regresyon katsayısının varyansı VIF_i için doğrudan orantılı gösterilebilir (Berk, 1977; Theil, 1992; Fox, 2015). Varyans şişme değerleri β_0 'ı içermeyen çoklu bağlantı problemlerini sezinlemek için basit teşhislerdir (Snee, 1983; Montgemery vd., 2012). Uygulamada, VIF_i değerlerinin 5 ya da 10'un üzerinde olması güçlü çoklu bağlantının bir göstergesidir ve ilgili değişkenlere ilişkin regresyon katsayılarına pek güvenilmemesi gerektiğini bildirir (Alpar, 2013). Berk (1977), Snee ve Marquardt (1984)'de ciddi bir çoklu bağlantı için $VIF > 10$ olması gerektiğini ifade etmişlerdir (Fox, 2015).

Korelasyon Matrisine İlişkin Özdeğerlerin İncelenmesi; Bağımsız değişkenler ilişkin korelasyon matrisinin özdeğerleri olan $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{p-1}$ verideki çoklu bağlantının derecesini ölçmede kullanılabilir. Veride bir ya da daha fazla “yakın” çoklu bağlantı olduğunda, R'nin özdeğerlerinin bir ya da daha fazlası sıfır ya da sıfıra çok yakın olur. Bu amaçla geliştirilmiş iki ölçüt aşağıda verilmiştir. R matrisi yardımı ile Özdeğerlerin tersleri toplamı çoklu bağlantı olmadığı durumda, $p = \sum_{i=1}^p \frac{1}{\lambda_i}$ olur. Çoklu bağlantı olduğu durumlarda bu toplamın oldukça büyük değerlere ulaştığı görülür. Korelasyon matrislerinden elde edilen özdeğerlerden en büyüğünün en küçüğüne bölünmesi ile yapılır ve bu büyüklük κ ile gösterilir. Ve $\kappa = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}}$ ile ifade edilir. Özdeğer yelpazesindeki değişimin bir ölçütü olan κ 'ya “durum sayısı” adı verilir. Buna göre, bu oran sonucunda bulunacak sayının 100'ün altında olması veride bir çoklu bağlantı sorununun olmadığı göstergesidir. Bulunacak sayının 100 ile 1000 arasında olması orta düzeyden güçlüye doğru bir eğilim içinde bulunan çoklu bağlantının göstergesidir. K değerinin 1000'in üzerinde bulunması ise çok güçlü çoklu bağlantının bir göstergesidir (Alpar, 2013).

Çoklu Bağlantı Olduğu Durumunda Çözümler; Bir fonksiyonda çoklu bağlantının bulunması durumunda benimsenebilecek çözümler, çoklu bağlantının derecesine, başka veri kaynaklarının bulunup bulunmamasına, çoklu bağlantı etmeninin önemine fonksiyonun tahmin edilmesindeki amaca göre değişir (Koutsoyiannis, 1989). Çoklu bağlantının önemli etmenleri katsayı tahminlerini ciddi bir biçimde etkiliyorsa, aşağıdaki “düzeltici” çözümlerden biri benimsenmelidir. Modelden bir ya da birden fazla değişkenin çıkarılması, Örnek büyüklüğünün artırılması, Modelin yeniden belirlenmesi, Bazı

parametreler hakkında daha önceden bilgi sahibi olunması, Değişkenlerin dönüşümü veya en küçük kareler yönteminden başka kestirim yöntemlerinin kullanılması, örneğin, ridge regresyon, temel bileşenler analizi vb. (Gujarati ve Porter, 1999). Yukarıda açıklanan çözümlerden örneğin, örneklemin evreni temsil etmemesi nedeniyle ortaya çıkan durumlarda veriye yeni gözlemlerin eklenmesi önerilir. Çoklu bağlantının, bağımsız değişkenler arasındaki gerçek ilişki nedeni ile ortaya çıktığı durumlarda, diğer bir değişle sorunun bir örnekleme sorunu olmadığı durumlarda uygulanabilecek bir yöntem, çoklu bağlantılı değişkenlerin birleştirilerek yeni bir değişken yaratılması ve modele çoklu bağlantılı değişkenler yerine bu yeni değişkenin konmasıdır. Bu ise yeniden model belirleme işlemidir. Böylesi durumlarda da kullanılması önerilebilecek bir başka yöntem, çoklu bağlantılı değişkenlerden bir ya da birkaçını modelden çıkarmak, diğer bir değişle değişken seçimi yapmaktır (Alpar, 2013).

6. ARTIKLAR ANALİZİ

Regresyon analizinde artıklar veya artıkların bazı dönüşümleri verilerdeki problemlerde veya modelin yetersizliğini sınamak için çok kullanışlıdır. Belsley, Kuh ve Welsh (2005) ve Cook ve Weisberg (1982) artıkların analizine ilişkin yöntem ve teoriler üzerinde çalışmışlardır (Fox, 2015). Regresyon modeli için ε_i hata terimleri $\varepsilon \sim N(0, I\sigma^2)$ ortalaması 0 ve varyansı σ^2 ile bağımsız normal rasgele değişken olarak varsayılır. Bu bağlamda, i . artık, $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ $i=1, 2, \dots, n$ 'dir. Regresyon modelde bilinmeyen gerçek hata terimi ε_i ; $\varepsilon_i = Y_i - E(Y_i)$, modelde ε_i için varsayılan özellikler e_i içinde geçerlidir. Artıkların analizine bağlı olarak modele ilişkin aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir, Regresyon fonksiyonunun doğrusal olmaması, Hata terimlerinin sabit varyansa sahip olmaması, Hata terimlerinin bağımsız olmaması, Modelin bir ya da birkaç sapan gözleminin olması, Hata terimlerinin normal dağılmamış olması, En az bir önemli bağımsız değişkenin modelden çıkarılmış olmasıdır (Neter et. al., 1996).

Standartlaştırılmış Artıklar; e_i artıkların toplamı sıfır olmakla beraber, varyansı örneklemden örnekleme değişir ve e_i 'lerin sıfır ortalama ve s^2 varyansı ile normal dağıldıkları varsayılır. s^2 'nin değişkenlik göstermesi sorunu artıkların standartlaştırılması ile giderilebilir. $d_i = \frac{e_i}{\sqrt{MSE}}$, $i=1, 2, \dots, n$. Burada d_i i . standartlaştırılmış artık 'tır. Denek

sayısının fazla olması durumunda d_i 'lerin 0 ortalama, 1 standart sapma ile yaklaşık normal dağıldıkları [$d_i \sim N(0, 1)$] ve artıkların birbirleriyle ilişkili olmadıkları söylenir. d_i artıklarının %95 çoğunlukla $[-2, +2]$ sınırları arasında değişir (Alpar, 2013).

Student Türü Standartlaştırılmış Artıklar; Cook ve Weisberg (1982), r_i 'yi içsel student türü standartlaştırılmış artık ve buna karşın r_i^* 'ı için dışsal student türü standartlaştırılmış artık olarak ifade etmişlerdir (Fox, 2015).

İçsel Standartlaştırılmış Artıklar r_i ; Artıklardaki değişen varyans durumu, her artışın standartlaştırılması ile kolayca düzeltilir. Artıkların varyansı $(I-P)s^2$ 'nin köşegen elemanları ile tahmin edilebilir. Bir artık standart sapması ile bölünürse standartlaştırılmış artık r_i bulunur. $r_i = \frac{e_i}{s\sqrt{1-v_{ii}}}$, V_{ii} P'nin i. köşegen elemanıdır (Fox, 2015). Bütün r_i 'ler 0 ortalama ve 1 standart sapma ile normal dağılırlar. r_i az da olsa Y_i değerleri ile ilişkilidir. Ancak bu ilişki pratikte ihmal edilir. r_i değerleri model doğru olduğunda genellikle $[-2, +2]$ sınırları arasında ve sıfır etrafında rasgele bir dağılım gösterirler (Alpar, 2013).

Dışsal Standartlaştırılmış Artıklar r_i^* ; İçsel standartlaştırılmış artık r_i 'nin hesaplanmasında σ^2 'nin tahmini olan kareler ortalaması (s^2) kullanılır. Burada σ^2 'nin tahmini olan s^2 , modelin n tane gözleme uyumundan elde edilen bir değerdir. Bu nedenle, r_i 'ye içsel standartlaştırılmış artık denir. i. gözlemi veriden çıkardıktan sonra geriye kalan veri kümesine dayalı olarak σ^2 'nin bir tahminini kullanmak ise bir diğer yaklaşım olabilir. Böylece σ^2 'nin tahmini olarak $s_{(i)}^2$ elde edilir. $s_{(i)}^2 = \frac{(n-p-1)s^2 - e_i^2 / (1-v_{ii})}{n-p-2}$ dir. σ^2 'nin tahmini olan s^2 yerine kullanılan $s_{(i)}^2$, dışsal student türü olarak adlandırılan r_i^* 'ın elde edilmesinde kullanılır (Alpar, 2013). $r_i^* = \frac{e_i}{s_i\sqrt{1-v_{ii}}}$

6.1. Artıklar ve Artıkların Diğer Dönüşümlerinin Karşılaştırılması

Artıklar ve artıkların dönüşümleri, varsayımlar ve regresyon modelin geçerliliği çalışmalarında geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Gözlenen artıkların değişen varyanslı olması ve artıkların üç tipi arasındaki bağımsızlığın olmayışı bunlara ilişkin yorumu karmaşılaştırır. Örneğin,

sapan gözlem bir gözlemin kendisine ilişkin artığın göreceli olarak küçük olabildiği halde diğer gözlemlere ilişkin artıklar büyütme etkisine sahip olacaktır. Bundan başka, en küçük kareler regresyonundan elde edilen artıklar süper normal dağılıma sahip olacaklardır. Yani, normallik varsayımı sağlanmadığında, en küçük karelerden elde edilen gözlenmiş artıklar orijinal modele ilişkin ε_i 'lerden çok daha yakın olarak normal dağılıma uyacaklardır. Sonuç olarak, modelin uyum iyiliğine karar vermede artıklar kullanıldığında uyumsuzluğun izlenmeme eğilimi olacaktır (Fox, 2015).

Standartlaştırılmış ve student türü artıkların kullanımı ile ortaya çıkan sorunlara rağmen, outlier (sapan gözlem) ve model geçerliliğini sezinlemek için kullanışlıdır. Birçok durumlar için artıkların üç tipide benzer sonuçlar verir. e_i 'lerin değişen varyanslılığı karşılaştırmalarla bir dereceye kadar etkileşebileceğinden ve bu nedenle standartlaştırılmış artıklar r_i ve r_i^* 'ın kullanılması eğer kolay elde ediliyorsa tercih edilir. Standartlaştırılmış artıklara göre student türü artıkların başlıca üstünlüğü, bunların t dağılımı göstermesidir. Böylece, artıkların büyüklüğü konusunda karar verilebilir. Gözlenen artıkların incelenmesinde kesin testler olmadığı için araştırmacılar yaklaşımlar yapmak ve öznel kararlarını kullanmak durumundadırlar. Yani bir sapan değer kontrolünde standartlaştırılmış ve student türü artıkların kullanımı çok aşamalıdır. Test edilecek artık n 'lik örneklemin en büyüğü olacağından ve ilgili testin α düzeyinde test edilme zorunluluğu olduğundan çok aşamalıdır. Birinci derece Bonferroni güven sınırlarında t 'nin kritik değeri için $\alpha = \alpha^*/n$ 'i kullanmayı önermişlerdir (Fox, 2015). Cook ve Weisberg (1982)'de ise i . student türü artığın testi için $\alpha = v_{ii} \alpha^*/p$ 'yi kullanmayı önermişlerdir (Fox, 2015).

Diagnostic amaçlar için, normalleştirilmiş artıklar ve standartlaştırılmış artıklar temel olarak denktir. e_i 'nin sabit çarpanlarıdır. Basittir fakat e_i 'nin varyansını yansıtmazlar. Behnken ve Draper (1972) birçok durumda, "varyanstaki farkın değişimlerini dikkate almamasının bir kayda yol açmayacağını ileri sürmüşlerdir. Benzer olarak, Anscombe ve Tukey (1963) ve Andrews (1971)'de aynı şeyi ifade etmişlerdir. Bununla beraber, Behnken ve Draper (1972) ayrıca, P 'nin diagonal elemanları (ve buradan e_i 'nin varyansı) arasındaki fark önemli görülürse, r_i 'nin kullanımının tercih edilebileceğini önermektedirler (Chatterjee ve Hadi, 1988).

Belsley vd. (2005) gibi birçok kuramcı aşağıdaki nedenlerden dolayı r_i yerine r_i^* 'ı tercih etmişlerdir; Ortalama kayan sapan modelindeki i . birim vektör ε_i 'nin önemlilik testi için t istatistiği olarak yorumlanır. r_i^* , $t_{(n-p)}$ ile dağılır. Daha önce ifade edildiği gibi r_i^* r_i 'nin monoton bir dönüşümüdür ve bundan dolayı, $r_i^2=(n-p)$, $r_i^{*2}=\infty$ yaklaştığına göre r_i^* r_i 'ye göre büyük sapmaları daha dramatik olarak yansıtır. s_i^2 , i . gözleme ilişkin hatalardan ortaya çıkan problemlerden etkilenmez (Chatterjee ve Hadi, 1988).

6.2. Artıkların Grafik Gösterimi

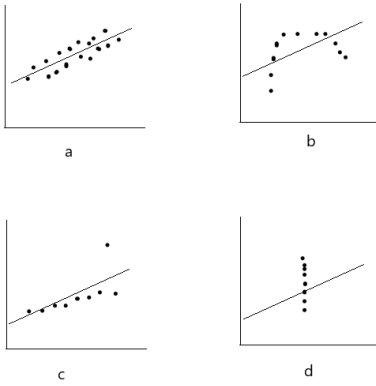
Grafik teknikler artıkların normalden sapma durumu izlemede oldukça etkilidir. Eğer model doğru ve varsayımlar sağlandıysa, artıklar her grafikte sıfırdan rasgele sapma olarak ortaya çıkmalıdır. Artıkların, her sonuç çıkarmaya uygun dağılışı, modele veya varsayımlara ilişkin bazı yetersizlikleri açıklayacaktır (Fox, 2015). Artıkların grafik gösterimi formal test işlemlerinden daha çok kullanışlıdır. Artıklar hem outlierin gösteriminin hemde modelin uyumu ve varsayımların gerçekleşmesine ilişkin değerli bilgiler verir (Alpar, 2013).

Grafiğin önemini vurgulamak için Anscombe (1973)'de bağımsız değişkenler arasındaki grafiklerin tiplerini göstermiştir. Anscombe 'nin yaptığı çalışmada anlamlı bir R^2 değerine ve anlamlı bir t ve F istatistiklerine ulaşmanın neden her zaman iyi bir gösterge olamayacağını gösteren çalışmasında aynı regresyon denklemini veren dört ayrı veri kümesi vardır ve bu verilerin istatistikleri dört ayrı olan dört veri kümesine ilişkin X 'e karşı Y 'nin serpmme grafikleri çizildiğinde (Şekil 3)'de görüldüğü gibi farklar açıkça görülmektedir.

Birinci veri seti Şekil 3a'da X ve Y arasındaki doğrusal ilişkiyi gösterir. Eğer model uygunsa ve sıradan en küçük kareler varsayımları sağlanıyorsa bu beklenen grafikdir. Şekil 3b'deki artıkların dağılışı quadratik bir ilişkiyi çok iyi yansıtmaktadır. Grafikten anlaşıldığı gibi doğrusal modelin uygun olmadığı ve eğer model quadratik terim içerecek şekilde geliştirilirse modelde mükemmel bir uyum söz konusu olur. Şekil 3c'deki verilerde X ve Y arasında bir nokta hariç kuvvetli bir doğrusal ilişkiyi gösteren bir durumdur. Bu noktanın çıkarılması artık kareler toplamının sıfıra yaklaşmasını sağlar. Artıkların dağılışı veri ile veya modelle ilgili bir problemin açık bir işaretidir. Eğer bu değerli bir veri ile ilgili bir nokta ise model yetersiz olmalıdır veya önemli bir değişken

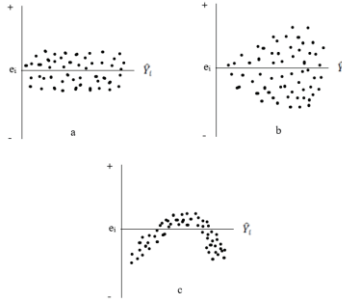
dışlanmışta olabilir. Şekil 3d’de tüm regresyon ilişkisinin tek gözleme bağlı tayin edildiği durumu açıklar. Bu gözlem X eksenindeki ölçüme bağlı olarak diğer gözlemlerden oldukça ayrıktır. Ayrık olduğu için özel olarak etkili bir noktadır. Hatta bu değerli bir veri noktası ise tek bir gözleme bağlı olan regresyon parametrelerine çok az güvenmek gerekir.

Anscombe grafikleri modeldeki yetersizliklerini izlemek için basit grafik tekniklerin gücünü vurgulamaktadır (Anscombe, 1973; Fox, 2015). Tüm problemlerin izlenmesini açıklayabilecek tek bir grafik geliştirilemez. Bundan dolayı, artıklarda kullanılan birkaç grafik yöntemi verilecektir.



Şekil 3. Dört ayrı veri setinde X üzerine Y’nin doğrusal regresyonu için aynı kantitatif sonuçları verir

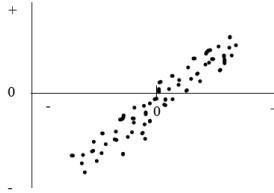
\hat{Y} ’e karşı e ’nin grafiği; \hat{Y}_i ’ya karşı e_i ’nin grafiği modelin yeterliliği için gerekli varsayımlardan birkaçının sezinilmesi için kullanışlıdır. Şekil 4a’daki artıkların sıfır etrafında yatay bir bant oluşturduğu durumda herhangi bir varsayım bozukluğunun olmadığı söylenebilir. Şekil 4b’deki hata varyansının sabit olmadığını ve saga megafon şeklinde ortaya çıkan dağılım “artık varyanslarının homojenliği” varsayımının bozulmasını ortaya çıkarmaktadır. Şekil 4c’de ise doğrusal olmayan bir ilişkinin varlığı konusunda bilgi verir (Fox, 2015; Montgomery vd., 2012; Alpar, 2013).



Şekil 4. \hat{Y} 'e karşı e 'nin grafiği

X_i 'e karşı artıkların grafiği; Bağımsız değişkenlere karşı artıkların grafiği \hat{Y} 'ya karşı artıkların grafiği ile aynıdır. X_i 'ye karşı artıkların grafiği varyans eşitliği ve sapan gözlem sezinlenmesinde kullanışlıdır. Bununla beraber, X_i bağımsız değişken ve Y arasındaki ilişkiyi gösterir. Eğer X_i ve Y doğrusal değilse kısmi artık grafikleri genellikle doğrusallığı sağlayabilmek için dönüşümün nasıl yapılması gerektiğini gösterir (Montgomery vd., 2012).

e_{i-1} 'e karşı e_i 'nin grafiği; Zaman serisi verilerinde otokorelasyon e_{i-1} 'e karşı e_i 'nin çizilmiş grafiği ile ortaya çıkartılabilir. Örneğin, şekil 5'teki gibi, pozitif otokorelasyon, pozitif eğilimli dağılım gösterir. Artıklarda otokorelasyon varlığı ayrıca bağımsızlık için Durbin Watson testi ile belirlenir.



Şekil 5. e_{i-1} 'e karşı e_i 'nin grafiği

Normal Olasılık Grafiği; Normal olasılık grafiği normallik varsayımının yerine gelip gelmediğini araştırmak için kullanılır. Bu grafik örnek ölçü yaklaşımı için normal sıra istatistiğine karşı sıralı artıkların grafiğidir. Normal sıralı istatistikler ortalaması sıfır ve varyansı bir ile normal dağılım gösteren sıralı gözlemlerin tahmini değerleridir. Normal olasılık grafiğinin çizilmesinde öncelikle standartlaştırılmış artıklar (r_i) küçükten büyüğe doğru sıralanır, buna sıralı artıklar denir. Daha sonra 'da artıklara bağlı olarak olasılık değerleri hesaplanır. p olasılıkları için birçok

eşitlik önerilmiştir. Blom'un 1958'de önermiş olduğu yönteme göre, p değerleri; $p = \frac{r_i - \frac{3}{8}}{n + \frac{1}{4}}$ eşitliği ile hesaplanır ve buradan elde edilen p değerlerine karşı gelen Z_i değerleri okunur. Z_i değerlerine karşı çizilen artıkların grafiğine göre dağılışın normal olup olmadığına göre karar verilir. Artıklar normal dağılıştan alınmış bir örneklem olduğunda, normal grafikten beklenen sonuç, eğimi artıkların standart sapması ile tayin edilen ve başlangıç noktasından geçen bir doğrudur. Sıralı örnek istatistiklerinin örnekleme bağılı değişimlerin nedeni ile doğrudan rasgele sapmalar olacaktır. Fakat bu sapmalardan normal olmama sonucunu çıkartmak için deneyim gerekir. Bir normal grafikte tahin edilmiş doğrudan ayrılışların dağılışın kalıbı normallikten ayrılışı açıklar. Bağımsızlık altında normal olup olmadığının sınanması için birçok test vardır. Bu bağlamda testlerin regresyon artıklarına uygulanmasında dikkatli olmalıdır. Çünkü artıklar bağımsız değildir. Test istatistiklerinin sınırlı dağılışı bunların ancak örneklem genişliği sonsuz ise regresyon artıklarına uygulanabileceğini gösterir (Rawlings et al., 2001; Fox, 2015)

6.3. Sapan gözlem (Outlier), Büyük gözlem uzaklığına sahip nokta (High-Leverage) ve Etkili gözlem (Influential Point)

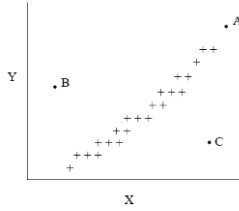
Sapan gözlem, büyük gözlem uzaklığına sahip gözlem ve etkili gözlemlerin üçü de birbirleri ile ilgili konulardır. Bunların nasıl etkileşim içinde oldukları incelenecektir.

Sapan Gözlem (Outlier); Doğrusal regresyon çalışmasında, büyük değere sahip standartlaştırılmış artıklar (r_i veya r_i^*) sahip gözleme Sapan Gözlem (Outlier) denir. Sapan gözlemler uygun regresyon eşitliğinde başarısız olmanın temeli olarak sayılabilir.

Büyük Gözlem Uzaklığına Sahip Gözlem (High Leverage Points); Büyük gözlem uzaklığına sahip gözlem noktaları diğerlerinden oldukça uzak konumdadırlar. Bu nedenle, diğer gözlemlerle karşılaştırıldığında büyük v_{ii} değerlerine sahiptirler. Büyük gözlem uzaklığına sahip gözlem olarak tanımlanabilen noktalardan genel dağılış kalıbını bozanlar sapan gözlem olarak değerlendirilebilir.

Etkili Gozlemler (Influential Observations); Etkili gozlemler bireysel veya ortak olarak umulan regresyon doğrusunu veri kumesindeki diğer gozlemlere gore daha fazla etkileyen gozlemlerdir.

Yukarıda tanımlanan gozlemler Şekil 6'da grafiksel olarak da açıklanmıştır. Şekil 6'da (+) işaretili noktalar veri kumesindeki X ve Y değerlerinin oluşturduğu serpmme grafiğini gostermektedir. Bu grafikteki değişkenler arasında bir ilişki (eğilim) soz konusudur. Bu ilişkiye A, B ve C gibi u noktayı sırası ile ekleyelim.



Şekil 6. Uzak, Etkili ve Sapan Gozlemler

Bu veriye A noktasının (gozleminin) eklenmesi ile eğilimde bir değişiklik olmayacaktır. Diğer bir değişle, A noktası regresyon katsayılarında bir değişiklik yaratmayacak ancak regresyon katsayılarına ilişkin standart hayaları etkileyebilecektir. Ayrıca, bu noktaya ilişkin artıka oldukça kuuk olacaktır. zet olarak, bu nokta X uzayında sapan gozlemdir. Genelde, buyuk gozlem uzaklığına sahip gozlemler (high leverage points) etkili gozlem (influential point) değil ise model için pek sorun yaratmamaktadır.

İlişkiye B noktasını eklediğimizi eklediğimizi duşunelim, bu nokta, X'in merkezine yakın olduğu için X uzayında bir buyuk gozlem uzaklığına sahip gozlem değildir. Ancak belirgin bir Şekilde (Y uzayında) bir sapan gozlem ve etkili bir gozlemdir. Çünkü sırası ile bu gozlem artı değeri buyuk bir gozlemdir ve bu gozlemin hesaplamalara katılması belki eğimi değiştirmeyebileceek, ancak doğrunun Y eksenini kestiği noktayı değiştirecektir. Ayrıca, bu noktanın varlığı artı varyansını ve dolayısıyla regresyon katsayılarının varyanslarını değiştirecektir.

Eğer veriye C noktası eklenirse, bu nokta açık bir Şekilde (Y uzayında) bir sapan değerdir. Çünkü buyuk bir artığa sahiptir. Bu nokta aynı zamanda X uzayında bir sapan değerdir (Buyuk gozlem uzaklığına sahip gozlem). Çünkü X uzayında bir u noktadır. Diğer taraftan hesaplamalara katılması durumunda katsayılarda değişiklik yapacağı için de bir etkili gozlemdir.

Özetlenecek olursa bazı gözlemler sapan, gözlem uzaklığı büyük ya da etkili gözlem olarak belirlenebilir. Bu nitelendirmelerden birine sahip, bir gözlemin yazıp hatalarından kaynaklanıp kaynaklanmadığı, bu veriye uygun olup olmadığı ve normal olmayan bir durumu temsil edip etmediği dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Sapan gözlemler üzerinde yapılacak incelemeler üzerinde ise daha dikkatli durulmalıdır.

Büyük gözlem uzaklığına sahip gözlemler etkili gözlem değilse bir sorun yaratmamaktadır. Ancak büyük gözlem uzaklığına sahip etkili gözlemler üzerinde dikkatli bir şekilde durup incelenmelidir. Diğer taraftan, sapan gözlemlerin etkili gözlem olması ya da etkili gözlemlerin sapan gözlem olması söz konusu olmayabilir.

Yapılan incelemeler sonrasında sorunlu gözlemler hemen veriden silinmemeli, bu gözlemler olmadan model yeniden oluşturulmalı ve sonuçlar bir önceki modelle karşılaştırılarak incelenmelidir (Chatterjee ve Hadi, 1988; Alpar, 2013).

Sapan Gözlem (Outlier) için Test

Büyük mutlak değere sahip standartlaştırılmış artıklar r_i^* olduğu durumda Y sapan gözlemi olarak belirlenir. Buna ilaveten standartlaştırılmış artıkların (r_i^* 'in) sapan gözlem olduğu durumlarda formal test olarak Bonferroni test işlemi kullanılabilir. Önceden hangi durumun en büyük mutlak $|r_i^*|$ sahip olacağını bilemeyeceğimize göre her durum için 1 tane olmak üzere n testi içeren testlerin bir kümesini ele alırız. Regresyon modeli uygun ise, modeldeki değişiklikten dolayı hiçbir sapan gözlem değildir. O zaman her standartlaştırılmış artıklar r_i^* 'in serbestlik derecesi $n-p$ olan t dağılımına uyar. Bundan dolayı, uygun Bonferroni kritik değeride $t_{(1-\alpha/2n; n-p)}$ 'dir. Artıkların mutlak değerleri kullanıldığından bu test iki yönlüdür (Neter et. al., 1996).

Bir diğer test, tek bir değer için sapan gözlem olup olmadığının testidir. Bu test için, değerler sıraya dizilir ve $X_1 < X_2 < \dots < X_n$ sıralı örnek değerlerinin standart sapması ve ortalaması hesaplanır. Bir değer için sapan bir gözlem olup olmadığının testi için bu değer, örneğin büyük değerlerin yer aldığı tarafta meydana gelmesi beklendiğinde; $T_n = \frac{X_n - \bar{X}}{s}$ küçük

değerlerin yer aldığı tarafta meydana gelmesi beklendiğinde ise; $T_n = \frac{\bar{X}-X_1}{s}$ istatistikleri kullanılır.

Tek bir gözlemin sapan gözlem olduğu fakat bu gözlem örneğin hangi ucunda olabileceğinin tahmin edilemediği durumlar için Grubbs (1950) T_1 veya T_n istatistiklerinden büyük olanının kullanılmasını önermektedir.

Thomson (1935), Pearson ve Chandrasekar (1936) bu istatistiklerin belirli örnek büyüklüklerine ait kritik değerlerini türetmişlerdir (Başkan ve Saygı, 2002).

Etkili Veri Noktaları ve Sapan Gözlem (Outlier)'in Belirlenmesi; Büyük gözlem uzaklığına sahip gözlem noktaları veya etkili gözlemler X uzayının merkezinden uzak olan veri noktalarıdır. X uzayının merkezinden i . veri noktasının uzaklık ölçüsü P (bazı referanslarda hat matrisi olarak adlandırılır) matrisinin i . köşegen elemanı olan v_{ii} ile sağlanır. P 'nin i . köşegen elemanı $P = v_{ii} = X_i'(X'X)^{-1}X_i$ olarak verilmiştir (Fox, 2015). Burada X_i , X 'in i . satırıdır. Çoğunlukla v_{ii} ile gösterilen gözlem uzaklığı değeri, “ i . gözlem noktasının, değişkenlerin oluşturduğu elipsoid değeri, “ i . gözlem noktasının, değişkenlerin oluşturduğu elipsoid merkezine uzaklığının bir ölçüsü olup 0 ile 1 arasında değişir ($0 \leq v_{ii} \leq 1$). X matrisi ilk kolonu 1'lerden, diğer kolonları X_i değişken değerlerinden oluşan veri matrisi olmak üzere ile verilen P matrisi olarak yazılırsa, v_{ii} köşegen elemanları i . gözlem noktasına ilişkin gözlem uzaklığını verir. $\sum_{i=1}^n v_{ii} = p$ olduğu için v_{ii} değerlerinin ortalaması p/n 'e eşittir. Belsley vd.2005'te genellikle $v_{ii} > 2p/n$ 'den büyük v_{ii} değerlerine sahip gözlemler büyük gözlem uzaklığına sahip gözlemler olarak belirtmişlerdir. Bütün etkili istatistikler, tüm verileri kullanarak regresyonun sonuçlarından hesaplanabilir. Aşağıda belirtilen dört etkili ölçüm tartışılacaktır. Herbiri i . gözlemi çıkarılmasını etkisini ölçen ölçümlerdir. Tahmin katsayıları üzerindeki etkinin ölçümleri olan Cook's D_i ölçütü, \hat{Y}_i üzerindeki etkinin ölçümleri olan DFFITS $_i$ ölçütü, b_j üzerindeki etkinin ölçümleri olan DFBETAS $_{j(i)}$ ölçütü, Parametre tahmininin varyans-covaryans matrisinin üzerine etkisinin ölçümleri olan COVRATIO oranıdır. Bunlardan ilk üçü Cook's d , DFFITS ve DFBETAS ölçütleri, b 'nin k tane doğrusal bağımsız fonksiyonlarının bir kümesi üzerinde i . gözlemin çıkarılmasının etkisinin ölçümü için genel yaklaşımın özel halleri olarak düşünülebilir (Cook ve Weisberg, 1982; Fox, 2015).

Cook's D_i ölçütü; D belirli bir gözlem iptal edildiğinde, b'deki kaymayı ölçmek için verilmiştir. Bu ölçü birleştirilmiş bir ölçüdür (Cook ve Weisberg, 1982; Fox, 2015). Aşağıdaki eşitlikle tanımlanır. $D_i = \frac{(b_{(i)} - b)'(X'X)(b_{(i)} - b)}{ps^2}$ bu eşitliğe bağlı olarak D_i değerleri çok daha kolay

elde edilir. $D_i = \frac{r_i^2}{p} \left(\frac{v_{ii}}{1 - v_{ii}} \right)$, burada, r_i 'ler standartlaştırılmış

artıklar ve v_{ii} full regresyondan hesaplanmış P'nin i. köşegen elemanıdır. Standartlaştırılmış artık büyük ve gözlem noktası X uzatında sapan gözlemse yani v_{ii} değeri büyükse D'de büyüktür (Fox, 2015). D_i 'nin büyük değerine karşılık gelen gözlemlerin özellikle regresyon katsayıları üzerinde etkili olduğu söylenir. Bir gözlemin etkili gözlem olup olmadığını anlamanın pratik bir yolu, D_i değeri 1'den büyük olan gözlemleri etkili gözlem olarak nitelemektir. Bir diğer yolu ise, $\alpha=0,50$ için p ve n-p serbestlik dereceli F dağılımı değeri ile karşılaştırmaktır. Buna göre, $D_i > F_{0,5;p,n-p}$ ise, bu gözlemin etkili gözlem olduğu söylenir. Ancak bunlar gibi kesin bir "kesim noktası" kuralı kullanmak yerine D_i değerlerinin incelenmesi önerilmektedir. Gözlem satır numaralarını X eksenine, D_i değerlerini de Y eksenine koyarak çizilecek serpm grafiği bu konuda en görsel olanıdır. Gerek grafik kullanarak gerekse kullanmadan yapılan incelemede D_i değerlerinin tümü aşağı yukarı aynı ise herhangi bir önlemin alınmasına gerek yoktur. Ancak diğer değerlerden daha yüksek değer alan gözlemler belirlenmeli ve istenmeyen gözlemler olmaksızın model yeniden kurularak bu gözlemlerin etkisi görülmelidir (Alpar, 2013).

DFFITS Ölçütü; DFFITS Ölçütü Cook's D ölçütüne benzer, özellikle i. gözlemin \hat{Y} tahmin değeri üzerine etkisini incelemek için kullanılan DFFITS değeri; $DFFITS_i = \frac{\hat{Y}_i - \hat{Y}_{(i)}}{s_i \sqrt{v_{ii}}} = \left(\frac{v_{ii}}{1 - v_{ii}} \right)^2 \cdot \frac{e_i}{s_i(1 - v_{ii})^{1/2}}$ ile verilir. $\hat{Y}_{(i)}$, i. gözlem çıkarılarak elde edilen tahmin denkleminde i. gözlem için bulunmuş ortalama tahmin değeridir. Burada, σ 'nın s_i ile tahmin edildiği bilinmelidir. s_i regresyonu i. gözlemi çıkardıktan sonra elde etmeden yandaki eşitliğe bağlı olarak bulunur. $(n - p - 1)s_i^2 = (n - p)s^2 - \frac{e_i^2}{1 - v_{ii}}$. Belsley vd. (2005)'de DFFITS'in mutlak değerce $2\sqrt{p/n}$ 'den büyük olması durumunun etkili gözlemlerin belirlenmesinde kullanılmasını önermişlerdir (Fox, 2015). Bazı istatistik paket programları gerek Cook's D gerekse DFFITS değerlerinin her ikisinin de vermektedir. Ancak bunlardan sadece birine bakmak yeterlidir.

DFBETAS Ölçütü; $DFBETAS_{j(i)}$ istatistiği i. gözlem veriden çıkarıldığında b_j 'nin ne kadar değiştiğini belirlemek amacı ile geliştirilmiştir. $DFBETAS_{j(i)}$ 'nin büyük değerleri, i. gözlemin j. regresyon katsayısı üzerine dikkate değer bir şekilde etkili olduğunu gösterir.

$DFBETAS_{j(i)} = \frac{b_j - b_{j(i)}}{s_i \sqrt{c_{jj}}}$ ile hesaplanır (Alpar, 2013). Burada

$c_{jj}(X'X)^{-1}$ 'den elde edilen (j+1)'inci köşegen elemanıdır (Fox, 2015). İlgili eşitlikte t dağılımına benzer görüldüğü halde önemlilik testi olarak yorumlanmalıdır. $DFBETAS_{j(i)}$ 'nin 2'den büyük değerleri tek noktaya ilişkin beklenmeyen temel bir değişikliği gösterecektir. Belsley vd. (2005)'de yaptıkları çalışmada kesim noktası olarak $2/\sqrt{n}$ 'i önermişlerdir (Fox, 2015).

COVRATIO Oranı; Tahmin edilen regresyon katsayılarının varyans-kovaryans matrisi üzerinde i. gözlemin etkisi iki varyans-kovaryans matrisinin determinantlarının oranı ile ölçülür. Belsley vd. (2005)'de bunu şu şekilde formüle etmişlerdir; $COVRATIO = \frac{\det(s_i^2 [X_i' X_i]^{-1})}{\det(s^2 [X' X]^{-1})} = \left[\left(\frac{n-p-1}{n-p} + \frac{r_i^{*2}}{n-p} \right) (1 - v_{ii}) \right]^{-1}$. Bir varyans-kovaryans matrisinin determinantı varyansının genelleştirilmiş bir ölçüsüdür. Böylece, COVRATIO oranı regresyon katsayısının tahminlerinin kesinliği üzerinde i. gözlemin etkisini gösterir. COVRATIO oranı 1'e yakın olduğunda i. gözlem için tahminin kesinliği üzerinde çok az etkiye sahip olduğu ifade edilir. Eğer COVRATIO oranı 1'den büyük ise, i. gözlemin bulunmasını tahminlerin doğruluğunu arttıracaklarını açıklar. Eğer COVRATIO oranı 1'den küçük ise, gözlemlerin varlığı tahminin kesinliğini bozar. Belsley vd. (2005)'de COVRATIO oranının $1 \pm 3(p/n)$ limitleri dışında kalan noktaların etkili gözlemler olarak kabul edileceğini önermişlerdir (Fox, 2015).

KAYNAKÇA

- Alpar, R. (2013). Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler. Detay Yayıncılık, Ankara, Turkey, fourth edition, 2013. ISBN 978-605-5437-42-8
- Anscombe, F. J. (1973). Graphs in statistical analysis. *The american statistician*, 27(1), 17-21.
- Başkan, O., & Sayğı, H. (2002). İzmir Körfezi'ndeki Kirliliğin İstatistiksel Bir Modelle İncelenmesi. *Su Ürünleri Dergisi*, 19(1), 133-145.
- Behnken, D. W., & Draper, N. R. (1972). Residuals and their variance patterns. *Technometrics*, 14(1), 101-111.
- Belsley, D. A., Kuh, E., & Welsch, R. E. (2005). *Regression diagnostics: Identifying influential data and sources of collinearity* (Vol. 571). John Wiley & Sons, 299p.
- Berk, K. N. (1978). Comparing subset regression procedures. *Technometrics*, 20(1), 1-6.
- Chatterjee, S., & Hadi, A. S. (2009). *Sensitivity analysis in linear regression* (Vol. 327). John Wiley & Sons, 322p.
- Cook, R. D., & Weisberg, S. (1982). *Residuals and influence in regression*. New York: Chapman and Hall, 230p.
- Draper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied regression analysis* (Vol. 326). John Wiley & Sons, 719p.
- Durbin, J., & Watson, G. S. (1992). Testing for serial correlation in least squares regression. I. In *Breakthroughs in Statistics* (pp. 237-259). Springer, New York, NY.
- Düzgünes, O., Kesici, T., Kavuncu, O., & Gürbüz, F. (1987). Arastirma ve Deneme Metodlari. (Istatistik Metodlari-II). *Ank. Üniv. Zir. Fak. Yay.*, (1021).
- Ertek, T. (2000). Ekonometriye Giriş (2. Baskı). *İstanbul: Beta Yayınevi*, 446s.
- Fox, J. (2015). *Applied regression analysis and generalized linear models*. Sage Publications, 791p.
- Grubbs, F. E. (1950). Sample criteria for testing outlying observations. *The Annals of Mathematical Statistics*, 21(1), 27-58.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (1999). *Essentials of econometrics* (Vol. 2). Singapore: Irwin/McGraw-Hill, 576p.
- Hocking, R. R. (1976). A Biometrics invited paper. The analysis and selection of variables in linear regression. *Biometrics*, 32(1), 1-49.
- Korum, U. (1985). *Matematiksel istatistiğe giriş*. Ankara: Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi.
- Koutsoyiannis, A. (2003): *Theory of Econometrics: An Introductory Exposition of Econometric Methods: 2 nd Ed.* Palgrave Publications. N.Y. 10010.
- Mallows, C. L. (1973, June). Influence functions. In Unpublished paper presented at a Conference on Robust Regression held at Cambridge, MA. Sponsored by the National Bureau for Economic Research.

- Mendenhall, W., Sincich, T., & Boudreau, N. S. (1996). *A second course in statistics: regression analysis* (Vol. 5). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 819p.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (Vol. 821). John Wiley & Sons, 527p.
- Neter, J., Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., & Wasserman, W. (1996). *Applied linear statistical models*, 1400p.
- Rao, P. V. (1998). *Statistical research methods in the life sciences*. Duxbury Press, 889p.
- Rawlings, J. O., Pantula, S. G., & Dickey, D. A. (2001). *Applied regression analysis: a research tool*. Springer Science & Business Media. 658p.
- Snee, R. D., & Marquardt, D. W. (1984). Comment: Collinearity diagnostics depend on the domain of prediction, the model, and the data. *The American Statistician*, 38(2), 83-87.
- Şenel, T., Cengiz, M., Savaş, N., & Terzi, Y. (2009). oklu Doğrusal Regresyonda Model Seiminde Genelleştirilmiş Toplamsal Modellerin Kullanımı. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2), 217-227.
- Theil, H. (1992). *Henri Theil's contributions to economics and econometrics: econometric theory and methodology. Vol. I* (Vol. 23). Springer Science & Business Media, 552p.
- Zar, J.H., 2013. *Biostatistical Analysis: Pearson New International Edition*. Pearson Higher Ed., 662p.

“

Bölüm 4

DİZİ UZAYLARI

Lale CONA¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri
Fakültesi Matematik Mühendisliği Bölümü

”

İlk olarak dizi uzaylarını anlamamıza yardımcı olacak metrik uzay, lineer uzay ve normlu uzay gibi temel kavramları verelim.

Tanım 1: $X \neq \emptyset$ bir küme ve

$$d: X \times X \rightarrow \mathbb{R}, (x, y) \rightarrow d(x, y)$$

dönüşümü verilsin. d dönüşümü her $x, y, z \in X$ için;

$$M1) d(x, y) \geq 0$$

$$M2) d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$$

$$M3) d(x, y) = d(y, x)$$

$$M4) d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$$

şartlarını sağlıyorsa d dönüşümüne X kümesi üzerinde *uzaklık fonksiyonu* ya da *metrik* denir ve (X, d) ikilisine de **metrik uzay** adı verilir.

Tanım 2: $X \neq \emptyset$ bir küme ve \mathbb{F} de kompleks veya reel sayıların bir cismi olsun. Bu takdirde eğer,

$$+: X \times X \rightarrow X$$

$$\cdot: \mathbb{F} \times X \rightarrow X$$

şeklinde tanımlanan "+" ve " \cdot " dönüşümleri her $x, y, z \in X$ ve $\lambda, \mu \in \mathbb{F}$ için:

$$L1) x + y = y + x ;$$

$$L2) x + \theta = x \text{ olacak şekilde bir tek } \theta \in X \text{ mevcuttur ;}$$

$$L3) x + (-x) = \theta \text{ olacak şekilde bir tek } (-x) \in X \text{ mevcuttur ;}$$

$$L4) (x + y) + z = x + (y + z) ;$$

$$L5) \lambda(x + y) = \lambda x + \lambda y ;$$

$$L6) (\lambda + \mu)x = \lambda x + \mu x ;$$

$$L7) (\lambda\mu)x = \lambda(\mu x) ;$$

$$L8) 1 \cdot x = x \text{ olacak şekilde } 1 \text{ (birim) elemanı mevcuttur ;}$$

şartlarını sağlıyorsa X kümesine \mathbb{F} cismi üzerinde **vektör uzayı** (veya **lineer uzay**) denir.

Burada $\mathbb{F} = \mathbb{R}$ ise X e **reel vektör uzayı**, $\mathbb{F} = \mathbb{C}$ ise X e **kompleks vektör uzayı** denir.

Tanım 3: X bir \mathbb{F} cismi üzerinde vektör uzayı olsun. Eğer,

$$\|\cdot\| : X \rightarrow \mathbb{R}, \quad x \rightarrow \|x\|$$

dönüşümü her $x, y, z \in X$ ve $\lambda \in \mathbb{F}$ için,

$$N1) \quad \|x\| \geq 0$$

$$N2) \quad \|x\| = 0 \Leftrightarrow x = \theta$$

$$N3) \quad \|\lambda x\| = |\lambda| \|x\|$$

$$N4) \quad \|x + y\| \leq \|x\| + \|y\|$$

şartlarını sağlıyorsa $\|\cdot\|$ dönüşümüne X vektör uzayı üzerinde **norm** ; $(X, \|\cdot\|)$ ikilisine de bir **normlu uzay** veya **normlu vektör uzayı** denir.

$(X, \|\cdot\|)$ normlu bir uzay olmak üzere, her $x, y \in X$ için

$$d: X \times X \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = \|x - y\|,$$

olarak tanımlanan uzaklık dönüşümü X üzerinde bir metriktir. Dolayısıyla her $(X, \|\cdot\|)$ normlu uzayı bir (X, d) metrik uzayıdır. Bu yolla elde edilen d metriğine $\|\cdot\|$ normunun indirgediği metrik denir.

Normlu vektör uzayı özel metrik uzay olmasına rağmen fonksiyonel analiz teorisinde ve genelde matematiğin birçok dalında ve uygulamalarında çok önemli bir yer tutmaktadır.

Şunu da belirtelim ki bir vektör uzayı üzerinde tanımlı metrik uzay bir normlu uzay olmayabilir. Örneğin, \mathbb{R} vektör uzayı üzerinde tanımlanan

$$d(x, y) = \frac{|x - y|}{1 + |x - y|} ; \quad x, y \in \mathbb{R}$$

metriğinin indirgemesi olan

$$\|x\| = d(x, 0) = \frac{|x|}{1 + |x|}$$

dönüşüm N3) özelliğine sahip değildir.

Tanım 4: $(X, \|\cdot\|)$ normlu uzay, (x_n) X de bir dizi ve $x_0 \in X$ olsun. Eğer,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - x_0\| = 0$$

ise, bu taktirde (x_n) dizisi x_0 noktasına *yakınsıyor* denir ve bu yakınsamaya **norma göre yakınsama** adı verilir.

$$x_n \rightarrow x_0, n \rightarrow \infty \quad \text{yada} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} x_n = x_0$$

şeklinde gösterilir.

Tanım 5: $(X, \|\cdot\|)$ normlu bir uzay ve (x_n) de X de bir dizi olsun. Her $\varepsilon > 0$ ve $m, n > n_\varepsilon$ için $\|x_n - x_m\| < \varepsilon$ olacak şekilde ε a bağlı bir n_ε doğal sayısı bulunabiliyorsa (x_n) dizisine X de bir **Cauchy dizisi** denir.

Bu tanımı matematiksel olarak kısaca şöyle ifade edebiliriz.

$(x_n) \subset X$ bir Cauchy dizisidir. $\Leftrightarrow \forall \varepsilon > 0$ için $\exists n_\varepsilon \in \mathbb{N}$ öyle ki $\forall m, n > n_\varepsilon$ için $\|x_n - x_m\| < \varepsilon$ dur.

Tanım 6: $(X, \|\cdot\|)$ norlu bir uzay olsun. X de ki her Cauchy dizisi uzayın bir elemanına yakınsıyorsa X e **tam normlu uzay** veya **Banach uzay** denir.

Şimdi standart dizi uzayları ve bu dizi uzayları üzerinde tanımlı metrikler tanımlanacak. Ayrıca dizi uzayları arasındaki ilişkiler üzerinde durulacaktır. $\mathbb{F} = \mathbb{R}$ veya $\mathbb{F} = \mathbb{C}$ olmak üzere her $n \in \mathbb{N}$ için $x = (x_n) = \{x_1, x_2, \dots, x_n, \dots\}$ (veya kısaca $x = x_n$) şeklindeki bütün dizilerin kümesi \mathbb{F}^∞ olsun.

S Uzayı : $S = (\mathbb{F}^\infty, d)$ şeklinde de ifade edilebilen tüm dizilerin kümesi olsun. Her $x = (x_n) \in S$, $y = (y_n) \in S$ olmak üzere S kümesi üzerinde tanımlı

$$d: S \times S \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2^n} \frac{|x_n - y_n|}{1 + |x_n - y_n|},$$

d dönüşümü bir metrik olup (S, d) bir metrik uzaydır.

$l_\infty = l_\infty(\mathbb{F}^\infty)$ Uzayı :

$$l_\infty = \left\{ x = (x_n) \in \mathbb{F}^\infty : \sup_{n \geq 1} |x_n| < \infty \right\},$$

tüm sınırlı dizilerin kümesi olsun. $x, y \in l_\infty$ olmak üzere l_∞ kümesi üzerinde

$$d: l_\infty \times l_\infty \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = \sup_{n \geq 1} |x_n - y_n|,$$

şeklinde tanımlı d dönüşümü bir metrik olup (l_∞, d) bir metrik uzaydır. Bu şekilde tanımlı uzaya *sınırlı dizilerin uzayı* denir.

$c = c(\mathbb{F}^\infty)$ Uzayı :

$$c = \left\{ x = (x_n) \in \mathbb{F}^\infty : \lim_n x_n \text{ limiti mevcut} \right\},$$

tüm yakınsak dizilerin kümesi olsun. $x, y \in c$ olmak üzere c kümesi üzerinde

$$d: c \times c \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = \sup_{n \geq 1} |x_n - y_n|,$$

olarak tanımlı d dönüşümü bir metrik ve (c, d) ikilisi de bir metrik uzaydır. Bu uzaya *yakınsak dizilerin uzayı* denir.

$c_0 = c_0(\mathbb{F}^\infty)$ Uzayı :

$$c_0 = \left\{ x = (x_n) \in \mathbb{F}^\infty : \lim_n x_n = 0 \right\},$$

bütün sıfıra yakınsak dizilerin kümesi olsun. c_0 kümesi üzerinde her $x, y \in c_0$ için

$$d: c_0 \times c_0 \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = \max_n |x_n - y_n|,$$

şeklinde tanımlı d dönüşümü bir metrik ve (c_0, d) bir metrik uzaydır. Bu uzaya *sıfıra yakınsak dizilerin uzayı* denir.

Ayrıca l_∞, c, c_0 uzayları $\|\cdot\| = \sup_{n \in \mathbb{N}} |x_n|$ normuna göre birer Banach uzaydır.

$l_p = l_p(\mathbb{F}^\infty)$ Uzayı : $p > 0$ için

$$l_p = \left\{ x = (x_n) \in \mathbb{F}^\infty : \sum_{n=1}^{\infty} |x_n|^p < +\infty \right\},$$

$$\begin{aligned} & x_n = \left(\frac{1}{n}\right)^p \text{ olmak} \\ \text{üzere } \begin{cases} p = 1 \text{ ise } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} = +\infty \\ p = 2 \text{ ise } \sum_{n=1}^{\infty} \left|\frac{1}{n}\right|^2 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} < +\infty \end{cases} \end{aligned}$$

şeklinde tanımlansın. Burada,

• $p \geq 1$ için,

$$d: l_p \times l_p \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = \left(\sum_{n=1}^{\infty} |x_n - y_n|^p\right)^{\frac{1}{p}},$$

• $0 < p < 1$ için,

$$d: l_p \times l_p \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} |x_n - y_n|^p,$$

olup p nin durumuna göre her iki durumda da (l_p, d) metrik uzaydır.

l_1 ve l_2 Uzayları : l_1 ve l_2 uzayları l_p uzayının $p = 1$ ve $p = 2$ için özel halleridir.

$$l_1 = \left\{ x = (x_n) \in \mathbb{F}^\infty : \sum_{n=1}^{\infty} |x_n| < +\infty \right\},$$

olup $x, y \in l_1$ için l_1 üzerindeki metrik

$$d: l_1 \times l_1 \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} |x_n - y_n|,$$

şeklinde

$$l_2 = \left\{ x = (x_n) \in \mathbb{F}^{\infty} : \sum_{n=1}^{\infty} |x_n|^2 < +\infty \right\},$$

olup $x, y \in l_2$ için l_2 üzerindeki metrik ise

$$d: l_2 \times l_2 \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = \left(\sum_{n=1}^{\infty} |x_n - y_n|^2 \right)^{\frac{1}{2}},$$

şeklinde tanımlıdır.

Öte yandan l_p uzayı $1 \leq p < +\infty$ olmak üzere $\|\cdot\|_p = (\sum_{n=1}^{\infty} |x_n|^p)^{\frac{1}{p}}$ normuna göre bir Banach uzayıdır.

$\gamma = \gamma(\mathbb{F}^{\infty})$ Uzayı :

$$\gamma = \left\{ x = (x_n) \in \mathbb{F}^{\infty} : \sum_{n=1}^{\infty} x_n \text{ yakınsak} \right\},$$

$x, y \in \gamma$ için

$$d: \gamma \times \gamma \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = \sup_{n \in \mathbb{N}} \left| \sum_{k=1}^n (x_k - y_k) \right|,$$

şeklinde tanımlı d dönüşümü bir metrik olup (γ, d) bir metrik uzayıdır. Bu uzaya *yakınsak serileri teşkil eden dizilerin uzayı* denir.

$BV = BV(\mathbb{F}^{\infty})$ Uzayı :

$$BV = \left\{ x = (x_n) \in \mathbb{F}^{\infty} : \sum_{n=1}^{\infty} |x_n - x_{n+1}| < +\infty \right\},$$

BV kümesi üzerinde $\Delta x_n = x_n - x_{n+1}$ olmak üzere $x, y \in BV$ için

$$d: BV \times BV \rightarrow \mathbb{R}, \quad d(x, y) = |x_1 - y_1| + \sum_{n=2}^{\infty} |\Delta x_n - \Delta y_n|,$$

şeklinde tanımlı d dönüşümü bir metrik ve (BV, d) bir metrik uzaydır. Bu uzaya *sınırlı salınımlı dizilerin uzayı* denir.

Dizi Uzayları Arasındaki Bazı Kapsamlar

İlk olarak

$$l_1 \subseteq BV \subseteq c \subseteq l_\infty$$

kapsamlarını inceleyelim.

1) $l_1 \subseteq BV$

$x = (x_n) \in l_1$ olsun l_1 in tanımı gereği $\sum_{n=1}^{\infty} |x_n| < +\infty$ olacaktır. Dolayısıyla,

$$\sum_{n=1}^{\infty} |x_n - x_{n+1}| \leq \sum_{n=1}^{\infty} |x_n| + \sum_{n=1}^{\infty} |x_{n+1}| < +\infty$$

olur ki bu ise $x = (x_n) \in BV$ olduğunu gösterir. O halde $l_1 \subseteq BV$ dir. Şimdi tersinin genelde doğru olmadığını gösterelim. Her $n \in \mathbb{N}$ için

$$x = (x_n) = \left(\frac{1}{n} \right)$$

dizisini alalım,

$$\sum_{n=1}^{\infty} |x_n - x_{n+1}| = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n(n+1)} < +\infty$$

olup $x = (x_n) \in BV$ dir. Öte yandan,

$$\sum_{n=1}^{\infty} |x_n| = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n}$$

serisi ıraksak olduğundan $x = (x_n) \notin l_1$ dir.

2) $BV \subseteq c$

$x = (x_n) \in BV$ olsun. Bu taktirde $\sum_{n=1}^{\infty} |x_n - x_{n+1}| < +\infty$ yakınsak olup bu serinin

kısmi toplamlar dizisine (s_n) dersek (s_n) yakınsaktır ve dizisinin limiti mevcuttur. Dolayısıyla,

$$\begin{aligned} s_n &= \sum_{v=1}^n (x_v - x_{v+1}) \\ &= (x_1 - x_2) + (x_2 - x_3) + \dots + (x_n - x_{n+1}) \\ &= x_1 - x_{n+1} \\ \lim_{n \rightarrow \infty} s_n &= \lim_{n \rightarrow \infty} (x_1 - x_{n+1}) = l \end{aligned}$$

dir. O halde,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x_{n+1} = l - x_1 = h$$

ise

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = h$$

olur. Bu ise bize $x = (x_n)$ dizisinin yakınsak yani $x = (x_n) \in c$ olduğunu verir. Şimdi de tersinin genelde doğru olmadığını bir örnekle görelim. Her $n \in \mathbb{N}$ için

$$x = (x_n) = \frac{(-1)^n}{n}$$

dizisini göz önüne alalım. Şu halde

$$0 \leq |x_n| \leq \frac{1}{n} \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty$$

olduğundan ve sıkıştırma teoreminden $\lim_n(x_n) = 0$ dir. O halde $x = (x_n) \in c$ dir. Fakat,

$$\begin{aligned}
\sum_{n=1}^{\infty} |x_n - x_{n+1}| &= \sum_{n=1}^{\infty} \left| \frac{(-1)^n}{n} - \frac{(-1)^{n+1}}{n+1} \right| \\
&= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} \\
&= \infty
\end{aligned}$$

olduğundan $x = (x_n) \notin BV$ dir.

3) $c \subseteq l_{\infty}$

$x = (x_n) \in c$ olsun. O halde c nin tanımından $\lim_n x_n$ mevcuttur.

“(x_n) dizisi yakınsak

olduğundan sınırlıdır”. Yani $\sup |x_n| < +\infty$ dur. Dolayısıyla $x = (x_n) \in l_{\infty}$ dur. Tersinin genelde doğru olmadığını bir örnek de görelim. Her $n \in \mathbb{N}$ için

$$x = (x_n) = (-1)^n$$

olsun.

$$x = (x_n) = \begin{cases} -1, & n \text{ tek ise} \\ 1, & n \text{ çift ise} \end{cases}$$

olduğundan $x = (x_n)$ sınırlıdır. O halde $x = (x_n) \in l_{\infty}$ dur. Fakat $x = (x_n)$ yakınsak değildir. Gerçekten,

$$\lim \inf(x_n) = -1$$

$$\lim \sup(x_n) = 1$$

dir. Burada $\lim \inf(x_n) \neq \lim \sup(x_n)$ olduğundan limit mevcut değildir.

O halde $x = (x_n)$ yakınsak olmaz böylece $x = (x_n) \notin c$ dir.

Şimdi de

$$l_1 \subseteq \gamma \subseteq c_0 \subseteq c \subseteq l_{\infty} \subseteq S$$

kapsamlarını inceleyelim.

4) $l_1 \subseteq \gamma$

l_1, γ nın bir öz alt kümesidir. Çünkü l_1 mutlak yakınsak serileri oluşturan dizilerin

kümesidir. Analizin bilinen bir teoremi gereği “*mutlak yakınsak her seri yakınsaktır*”. Yani $x = (x_n) \in l_1$ ise $\sum_{n=1}^{\infty} |x_n| < +\infty$ dir. Dolayısıyla $\sum_{n=1}^{\infty} x_n$ yakınsaktır. O halde $x = (x_n) \in \gamma$ dir. Fakat tersi ise genelde doğru değildir. Örneğin;

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n}$$

alterne serisini göz önüne alalım. Burada $(a_n) = \left(\frac{1}{n}\right)$, $n \leq 1$ olup

- (i) $\forall n \in \mathbb{N}$ için $a_{n+1} \leq a_n$ ((a_n) monoton azalan),
- (ii) $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0$ ((a_n) sıfır dizisi),

olduğundan Leibniz kriteri gereği $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n}$ alterne serisi yakınsaktır. Dolayısıyla $x = (x_n) \in \gamma$ dir. Fakat $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n}$ alterne serisi mutlak yakınsak değildir. Çünkü,

$$\sum_{n=1}^{\infty} |x_n| = \sum_{n=1}^{\infty} \left| \frac{(-1)^n}{n} \right| = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} = +\infty$$

dir. O halde $x = (x_n) \notin l_1$ dir.

5) $\gamma \subseteq c_0$

$x = (x_n) \in \gamma$ olsun. γ yakınsak serileri oluşturan dizilerin kümesi olduğundan $\sum_{n=1}^{\infty} x_n$ serisi yakınsaktır. Serilerin temel teoremlerinden “*yakınsak bir serinin genel teriminin limiti sıfırdır*” gereği $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = 0$ dir. Dolayısıyla $x = (x_n) \in c_0$ dir. Bu kapsamın tersinin genelde doğru olmadığını bir örnek ile gösterelim. Her $n \in \mathbb{N}$ için

$$x = (x_n) = \log\left(1 + \frac{1}{n}\right),$$

dizisini alalım,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \log\left(1 + \frac{1}{n}\right) = 0$$

olduğundan $x = (x_n) \in c_0$ olduğu açıktır. Öte yandan $\sum_{n=1}^{\infty} \log\left(1 + \frac{1}{n}\right)$ serisi yakınsak değildir. Bu serinin kısmi toplamlar dizisi

$$\begin{aligned} s_n &= \sum_{k=1}^n \log\left(1 + \frac{1}{k}\right) \\ &= \log\left(1 + \frac{1}{1}\right) + \log\left(1 + \frac{1}{2}\right) + \cdots + \log\left(1 + \frac{1}{n}\right) \\ &= \log(2) + \log\left(\frac{3}{2}\right) + \cdots + \log\left(\frac{n+1}{n}\right) \\ &= \log\left(\frac{2}{1} \frac{3}{2} \cdots \frac{n+1}{n}\right) \\ &= \log(n+1) \end{aligned}$$

olup

$$\lim_{n \rightarrow \infty} s_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \log(n+1) = +\infty$$

oluğundan seri yakınsak değildir. Dolayısıyla $x = (x_n) \notin \gamma$ dır.

6) $c_0 \subseteq c$

$c_0 \subseteq c$ Bu kapsam aşıkardır. Şimdi tersinin doğru olmayacağına bir örnek verelim. Her

$n \in \mathbb{N}$ için

$$x = (x_n) = \frac{2n^2}{n^2 + 5n}$$

dizisini göz önüne alalım, kolaylıkla görüleceği gibi $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2n^2}{n^2+5n} = 2 \neq 0$ dir. Limit mevcut olduğundan dizi yakınsaktır yani $x = (x_n) \in c$. Fakat sifıra yakınsak olmadığından $x = (x_n) \notin c_0$ dir.

$$7) \quad c_0 \subseteq l_\infty$$

(3) ve (6) dan $c \subseteq l_\infty$ kapsamı aşıkardır.

$$8) \quad l_\infty \subseteq S$$

Bu kapsamı göstermek oldukça kolaydır. S bütün dizilerin kümesi olduğundan $l_\infty \subseteq S$ dir. Fakat tersine $x = (x_n) = (n); n \in \mathbb{N}$ dizisi için $x = (x_n) \in S$ olmasına rağmen sınırsız bir dizi olduğundan $x = (x_n) \notin l_\infty$ dur. Dolayısıyla $l_\infty \subseteq S$ kapsamının tersi genelde doğrudur.

KAYNAKLAR

- Bayraktar, M. (2006). *Fonksiyonel Analiz*, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum.
- Boos, J. (2000). *Classical and Modern Methods in Summability*. Oxford university Press, New York.
- Çakar, Ö. (1993). *Fonksiyonel Analize Giriş* (Ders notları)-I, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, Ankara.
- E, Kreyszig. (1978). *Introductory Functional Analysis with Applications*. John Wiley- Sons. New York.
- Madox, I. J. (1970). *Elements of Functional Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Musayev, B. ve Alp, M. (2000). *Fonksiyonel Analiz*. Kütahya.
- Rynne, B. P. ve Youngson, M. A. (2008). *Linear Functional Analysis*. Springer.
- Soykan, Y. (2008). *Fonksiyonel Analiz*. Nobel Yayın Dağıtımı, Ankara.
- Soykan, Y. (2008). *Çözümlü Fonksiyonel Analiz Alıştırmaları*, Nobel Yayın Dağıtımı. Ankara.
- Yüksel, Ş. (2014). *Genel Topoloji*, Eğitim Yayınevi, Konya.

“

Bölüm 5

BİYOKÜTLE KAYNAKLI YAKIT ÜRETİMİ

Birce Pekmezci Karaman¹

¹ Doktor, Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği ORCID: 0000-0002-9051-2354

”

1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan temel enerji kaynağı fosil yakıtlardır. Kömür, doğalgaz ve petrol, fosil yakıtların üç ana şeklidir. Bu yakıtlar içerisinde en çok kullanılan ve çevreye en fazla zarar veren yakıt kaynağı kömürdür. Fosil yakıt kaynaklarının kullanımı sırasında yüksek miktarda sera gazı salınımı görülmektedir [1]. Fosil yakıtların tükenebilir olması ve kullanımını sırasında çevre zarar vermesi, yenilenebilir, temiz ve yüksek enerji içeriğine sahip enerji kaynaklarının bulunmasını ve devreye alınmasını zorunlu kılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları olarak; güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik, biyokütle, ve dalga enerjileri örnek verilebilir. Biyokütle, dünyada en çok bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Fosilleşmemiş, yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen bütün biyolojik malzemelere genel olarak biyokütle denilmektedir. Biyokütle, yakıt olarak hem saf haliyle hem de termal prosesler sonucu elde edilen katı, sıvı ve gaz formları şeklinde kullanılabilir [2]. Biyokütlenin aşağıda sınıflandırılan çeşitli proseslerle özellikleri geliştirilebilir, bunun sonucu olarak kalorifik değeri yüksek ve yanma özellikleri artırılmış yakıtlar elde edilebilir.

- Fiziksel İşlemler; Kurutma, öğütme, pelletleme/briketleme
- Kimyasal ve Biyokimyasal İşlemler: Çeşitli mikroorganizmalarla oksijensiz veya az oksijenli ortamda çürütme, çeşitli kimyasallarla muamele
- Termokimyasal İşlemler: Yakma, Yavaş ve hızlı Piroliz,

Bu çalışmada biyo-kütleden başlayarak farklı proses koşullarında elde edilen hidrojen, dimetil eter (DME) ve biyo-yakıtlar incelenmiştir. Doğada saf halde bulunmayan hidrojen, biyokütle kaynaklarından üretilebilmekte ve motorlu taşıtların, yanı sıra sabit enerji sistemlerinde yakıt olarak kullanılabilir. Biyokütle bilindiği üzere çok çeşitli hidrokarbon yapılarından oluşmaktadır. Hidrokarbon bileşiklerinin içerisinde değişik miktarlarda hidrojen bulunmaktadır. Hidrojenin yakıt olarak kullanımı, yakıt hücreleri sayesinde mümkün olmaktadır. Hidrojen ve yakıt hücreleri, hem evsel yaşamımızda hem de sanayide oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Hidrojenin kullanımını arttıran en önemli özelliği yanma prosesinde sadece su açığa çıkmasıdır. Ayrıca hidrojen, renksiz, kokusuz ve havadan daha hafif bir gazdır. Bilinen tüm yakıtlarla karşılaştırıldığında birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir. Üst ısıl değeri 140 mJ/kg'dır. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında 1 kg hidrojenin, 1 kg doğalgazın 2 katı ve 1 kg petrolün neredeyse 2.1 katı enerjiye sahip olduğu bilinmektedir [3]. Bu nedenle

de temiz enerji kaynakları arasında öne çıkan en önemli yakıt kaynakları arasındadır. Dünya çapında hidrojenle çalışan hareketli veya durgun sistemler son zamanlarda devreye alınmıştır ve gün geçtikçe yaygınlaşma potansiyelindedir. Türkiye’de ise yakıt hücresi teknolojileri üzerine araştırmalar yoğun olmasına rağmen hareketli (motorlu araçlarda) ve sabit (evler, rafineriler,, güç santralleri vb.) uygulamalarda kullanımı oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle günümüz motor aksamalarında değişikliğe neden olmayacak temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Biyo-kütle kaynaklarından (atık, tarım ve orman kalıntıları) elde edilen dimetil eter üstün özellikleri sayesinde son zamanlarda önem kazanmıştır. DME; fosil kaynaklı olmayan, düşük SO_x, NO_x, ve yüksek yanma performansına sahip CH₃OCH₃ formülündeki en düşük molekül ağırlıklı eter olup yaklaşık 6 atm de sıvı olarak depolanabilmektedir. Özellikleri göz önüne alındığında LPG (“Liquid Petroleum Gas”) yakıtına benzer. DME üretimi üzerine dünya genelinde bir çok fabrika (Çin, Japonya, Güney Kore ve Endonezya) kurulmuştur. Hatta Uluslararası DME Birliği (IDA; “International Dimethyl Ether Agency”) kurulmuş ve DME’nin dünya gelinde motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanımının artırılması hedeflemiştir. Ülkemizde ise Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi (TÜPRAŞ), DME üretimi üzerine çalışmakta olup DME üretimi üzerine bir pilot tesis kurmuştur [4]. DME’nin yanı sıra biyokütlenin pirolizi veya hidrotermal sıvılaştırma prosesleri ile ham petrole alternatif biyoyağlar da sentezlenmektedir. Güncel konulardan biri olan biyoyağlar C5-C15 hidrokarbon zincirlerine sahip olup bir kısmı kullanım öncesi kimyasal iyileştirmelerle günlük kullanıma hazır hale getirilir. Biyoyağlar kimyasal iyileştirme sonrasında yakıt özellikleri gelişmiş olduğundan yanma sırasında daha az CO₂, SO_x ve NO_x emisyonları ile daha az çevre kirliliğine yol açarlar. Ancak biyoyağların yüksek viskozite, su ve kül içeriklerinin yanı sıra düşük ısı değere sahip olması ve asidik yapısı (aşındırıcılık) gibi dezavantajlarından dolayı motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanımları sınırlıdır.

2. BİYOKÜTLE ve HİDROJEN

Hidrojen, yakıt pili teknolojisindeki gelişmelere ile paralel olarak son zamanlarda önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Yakıt pili teknolojisi, hidrojeni yakıt kaynağı olarak kullandığından fosil yakıtların çevreye olan olumsuz etkilerini azaltır. Yakıt pilleri, içerisinde kullanılan elektrolit tipine ve hücrenin çalışma sıcaklığına göre sınıflandırılır ve altı tip yakıt pili bulunmaktadır. Bu yakıt hücrelerinin en önemli özellikleri yakıt olarak saf hidrojen gerektirmeleridir [5-7].

Yakıt pillerinin araçlarda ve askeri alanlarda kullanımı son zamanlarda öne çıkmıştır. Taşınabilir bir enerji kaynağı olması yakıt pillerinin en önemli özelliğidir. Ancak bu yakıt pilleri içinde sürdürülebilir bir hidro-

jen kaynağı sağlanmalıdır. Hidrojen, dünyada en çok bulunan elementtir. Ancak hidrojen, doğada serbest halde bulunmayıp bileşikler halinde bulunmaktadır. Bu nedenle de hidrojen, yenilenebilir enerji kaynağı değildir [8]. Fosil yakıtlardan ve biyokütle kaynaklarından yararlanılarak çeşitli proseslerle hidrojen elde edilebilir. Hidrojen üretim prosesleri özetle aşağıdaki şekilde incelenebilir[9];

1. Fosil yakıtlardan veya biyokütle kaynaklarından termokimyasal yöntemlerle: Katalizörlerin varlığında uygun reaksiyon koşullarında hidrojen üretimi.

2. Suyun Elektrolizi : Suyun elektrik akımı ortamında hidrojen ve oksijene ayrılması ile hidrojen üretimi.

3. Fotokimyasal Yöntem : Güneş enerjisi yardımıyla suyun elektroliz işlemi ile hidrojen üretimi

4. Fotobiyolojik Yöntem: Yeşil yosunların fotosentezi sayesinde hidrojen üretimi.

5. Hidrit bileşiklerinden kimyasal yöntemlerle (örneğin; sodyum borhidrit'in parçalanması) hidrojen üretimi

Yukarıdaki yöntemler karşılaştırıldığında en ucuz yöntem, hidrojenin termokimyasal yoldan üretimidir. Termokimyasal proses, uygun katalizör varlığında hidrojen kaynaklarının karbondioksit veya su buharı ile reformlanma reaksiyonlarıdır. Literatürdeki çalışmalar, termokimyasal proseslerden en ekonomik olanının yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle gazlaştırma veya pirolizi sonucunda elde edilen biyo-yagın su buharı ile reformlanması olduğunu göstermiştir [10]. Biyo-yag, oldukça kompleks bir bileşiktir ve yapısında 100'den fazla kimyasal grup bulunmaktadır. Bu gruplar içerisinde en fazla olan hacimce %15-17 oranında bulunan asetik asittir. Asetik asit, insan sağlığına ve çevreye zararı olmayan zayıf asittir. Asetik asidin buharlı reformlanma reaksiyonu ile hidrojen zengin sentez gazı üretilmektedir (Reaksiyon-1) [11].

Asetik asidin buharlı reformlanma reaksiyonu endotermik bir reaksiyondur. Bu nedenle reformlanma reaksiyonu ile hidrojen üretimi düşük reaksiyon basıncı ve yüksek reaksiyon sıcaklığında gerçekleşir. Çalışmalara bakıldığında 700-800 °C reaksiyon sıcaklığının yüksek hidrojen verimi için etkili olduğu görülmektedir. Uygun reaksiyon koşullarında yüksek aktivite veren katalizörler kullanıldığında hidrojen veriminin maksimum olması beklenmektedir. Literatür araştırması sonucunda asetik asitten hidrojen üretimi çalışmalarında nikel (aktif metal) içerikli katalizörlerin kullanıldığı bilinmektedir. Ancak katalizörlerin destek malzemeleri ürün dağılımını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Asetik asidin buharlı reformlanma reaksiyonu endotermik bir reaksiyon

olduğundan yüksek sıcaklıklarda denge dönüşümü daha yüksektir [12]. Bu yüzden reaksiyon sırasında kullanılacak katalizörler yüksek termal dayanım göstermelidir. Çalışmalarda en yaygın kullanılan destek malzemeleri alümina ve silika içerikli katalizörlerdir. Katalizörlerin destek malzemeleri, yüksek yüzey alanları sayesinde aktif metallerin yapıya dağılımını artırır ve böylece hidrojen üretimi için aktif alanlar artar. Ayrıca katalizörün destek malzemesi, aktif metal ile güçlü bir bağ oluşturmali ve yapısına bu metali iyi bir şekilde yerleştirmelidir. Metal oksitlerin (Al_2O_3 , MgO , CeO_2 , ZnO vb.) oluşturduğu bimetalik katalizörler, asetik asit buharlı reformlanma reaksiyonunda yüksek aktivite göstermektedir ve bu özellikleri sayesinde katalizör ve/veya katalizör destek malzemesi olarak kullanılmaktadırlar [13-15]. Literatür araştırmaları, hidrojen verimini arttırmanın yanı sıra yan ürün olarak oluşan kok miktarının azaltılmasını da hedeflemektedir. Çalışmalarda aktif metal olarak nikel kullanılırken kok oluşumunu azaltmak için ikinci bir metal kaynağı olarak tungsten, kobalt, seryum gibi geçiş metalleri de kullanılmaktadır. Çakıryılmaz ve arkadaşları, silika destekli zirkonyum katkılı MCM-41 katalizörü varlığında asetik asitin buharlı reformlanması reaksiyonunu gerçekleştirmişlerdir. MCM-41 mezogözenekli, yüksek yüzey alanına (yakalaşık $1000 m^2/g$) ve yüksek termal dayanıma sahip silika içerikli bir malzemedir [11]. Çakıryılmaz ve arkadaşlarının yaptığı bu çalışmada zirkonyum ve nikel, hidrojen üretimi için aktif metal olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda nikel katkılı Zr-MCM-41 katalizörleri ile hidrojen üretimi için umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Asetik asetin buharlı reformlanma reaksiyonu sonucunda elde edilebilecek maksimum hidrojen verimi bir mol asetik asitten dört mol hidrojendir. Çakıryılmaz ve arkadaşları da çalışma sonucunda % 67 verimle hidrojen üretimi gerçekleştirmişlerdir. Aynı çalışma grubu nikel ve zirkonyum katkılı silika destekli SBA-15 katalizörü ile de hidrojen üretim çalışmaları gerçekleştirmiştir. SBA-15 katalizörü, tek tip gözenek boyut dağılımına sahip içerisinde hem mikro hem de mezogözenekleri barındıran silika içerikli bir malzemedir [16]. SBA-15, MCM-41 malzemesine kıyasla daha düşük yüzey alanına ($600-800 m^2/g$ arası) sahiptir ancak daha kalın gözenek duvarına ve farklı duvar yapısına sahip olmasıyla; mekanik, termal ve hidrotermal dayanım özellikleri bakımından MCM-41'e kıyasla daha üstündür. Hidrojen üretim çalışmalarında da nikel içerikli SBA-15, MCM-41'e göre daha yüksek hidrojen seçiciliğı vermiştir.

Mezogözenekli alümina katalizörü de hidrojen üretim çalışmalarında yaygın kullanılan katalizörlerden biridir. Mezogözenekli alümina katalizörlerinin destek malzemesi olarak kullanımının en önemli nedeni yüksek termal dayanıma sahip olmasıdır. Çalışmalarda mezogözenekli alümina katalizörlerinin kullanılmasının bir diğeri nedeni ise yüksek yüzey asitli-

ğidir. Katalizörlerin yüzey asitlikleri piridin adsorplanmış FT-IR analizi (DRIFTS) ile belirlenmektedir. Mezogözenekli alümina katalizörünün DRIFTS analizi sonucunda malzemenin orta şiddette Lewis asit sitelerine ve düşük Bronsted asit sitelerine sahip olduğu belirlenmiştir. Hidrojen üretim çalışmalarında katalizörlerin orta şiddette Lewis asit sitelerine sahip olması istenir. Mezogözenekli alümina katalizörü bu özelliği sağlayan en iyi destek malzemelerinden biridir. Nikel içerikli alümina katalizörlerinin biyokütleden hidrojen üretim çalışmalarında kullanımı literatürde mevcuttur. İbrahim ve arkadaşları, 5Ni@Al₂O₃ katalizörü ile %100 asetik asit dönüşümü ve %82 hidrojen seçiciliği ile en yüksek aktivite test sonucunu elde etmişlerdir. Katalizör yüzeyinde biriken kok miktarının azaltılması için katalizörün yapısına magnezyum da ilave etmişlerdir. Magnezyum ilavesiyle hidrojen seçiciliği bir miktar düşerken (%82'den %78) kok oluşumu da %37'den %12'e kadar düşürülmüştür. Hidrojen üretim çalışmalarında silika içerikli malzemeler ile alümina içerikli malzemeleri kok oluşumuna karşı gösterdikleri dirence göre kıyaslarsak alümina içerikli malzemelerin yüzeyinde daha az kok oluştuğunu söyleyebiliriz [17]. Silika yapısındaki baskın Lewis asit siteleri ile termal parçalanma reaksiyonlarını daha aktif hale getirmektedir. Alümina içerikli malzemeler ise yapısında hem Lewis hem de Bronsted asit sitelerini içerdiğinden kok oluşumuna karşı daha fazla direnç göstermektedir. Ayrıca alümina içerikli malzemeler, silika destekli malzemelere kıyasla daha yüksek termal dayanıma sahiptir.

Literatürdeki çalışmalar sonucunda %100 asetik asit dönüşümü elde edilmiştir ancak hidrojen seçiciliği maksimum %80 civarındadır. Hidrojen veriminin düşük olmasının nedeni reaksiyon çalışmaları sırasında oluşan yan ürünlerdir. Asetik asitin buharlı reformlanma reaksiyonu sırasında gerçekleşebilecek yan reaksiyonlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Asetik Asitten Hidrojen Üretimi Sırasında Gerçekleşmesi Muhtemel Reaksiyon

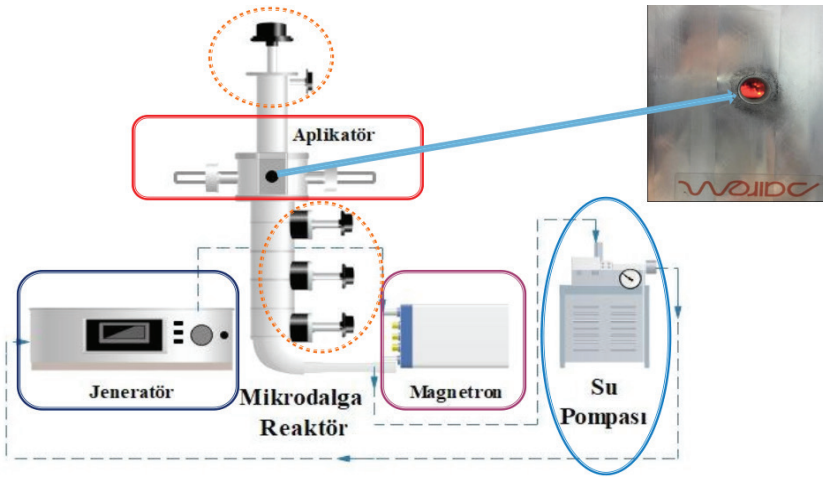
Reaksiyonlar	Açıklaması	Reaksiyon Entalpisi	
$C_2H_4O_2 + 2H_2O \leftrightarrow 2CO_2 + 4H_2$	Asetik Asidin Reformlanma Reaksiyonu (Toplam Reaksiyon)	$\Delta H^{\circ} = 131,4 \text{ kJ/mol}$	(1)
$C_2H_4O_2 \leftrightarrow 2CO + 2H_2$	Asetik Asidin Termal Parçalanma Reaksiyonu	$\Delta H^{\circ} = 231,7 \text{ kJ/mol}$	(2)
$C_2H_4O_2 \leftrightarrow CH_4 + CO_2$	Dekarboksilasyon Reaksiyonu	$\Delta H^{\circ} = -33,5 \text{ kJ/mol}$	(3)
$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	Su Gazı Reaksiyonu	$\Delta H^{\circ} = -41,1 \text{ kJ/mol}$	(4)
$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	Metanlaşma Reaksiyonu	$\Delta H^{\circ} = -206,1 \text{ kJ/mol}$	(5)
$CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$	Metanlaşma Reaksiyonu	$\Delta H^{\circ} = -165,1 \text{ kJ/mol}$	(6)
$CH_4 \leftrightarrow C + 2H_2$	Metanın Termal Parçalanma Reaksiyonu	$\Delta H^{\circ} = 74,8 \text{ kJ/mol}$	(7)
$2CO \leftrightarrow C + CO_2$	Boudouard Reaksiyonu	$\Delta H^{\circ} = -172,4 \text{ kJ/mol}$	(8)

Bu reaksiyonlardan (1) numaralı reaksiyon asetik asitin buharlı reformlanma reaksiyonudur. Bu reaksiyon (2) numaralı reaksiyon ile (4) numaralı reaksiyonun toplamından oluşmaktadır. (2) numaralı reaksiyon asetik asitin termal parçalanma reaksiyonudur. Reaksiyon (5) ve (6) ise ana ürünlerin (H_2 , CO ve CO_2 'in) neden olduğu yan reaksiyonlardır. Ayrıca (7) ve (8) numaralı reaksiyonlar ile kok oluşumu gerçekteşmekte ve katalizörün aktivitesi düşmektedir [13-18]. Hidrojen verimini artırmak ve kok oluşumunu minimum düzeye getirmek için katalizör seçiminin yanı sıra reaktör konfigürasyonu da oldukça kritik etkindir.

Literatür araştırmalarından bilindiği üzere yakıt hücreleri için saf hidrojene ihtiyaç vardır. Asetik asitin buharlı reformlanma reaksiyonundaki maksimum hirojen verimi de %80 civarındadır. Hidrojen seçiciliğini arttırmak için literatürde membran reaktör sistemleri kullanılmaktadır. Membran reaktör sistemlerinde hidrojen üretim reaksiyonu gerçekteşirken bir yanda da ayırma prosesi gerçekteşmektedir. Çalışmalarda hidrojene %100 seçici paladyum membranlar kullanılmaktadır. Böylece hem asetik asit dönüşümü hem de hidrojen seçiciliği arttırılmaktadır. Farklı bir çalışmada ise asetik asidin buharlı reformlanması sonucunda elde edilen hidrojenin yakıt hücrelerinde direkt kullanılmasını olumsuz yönde etkileyen CO ve CO_2 içeriğini azaltmak için adsorpsiyon destekli reaksiyon sistemi kullanılması önerilmiştir. Çalışmada kalsiyum karbonatı adsorbent olarak kullandıklarında hidrojen verimi %67'den %99'a ulaşmıştır [19].

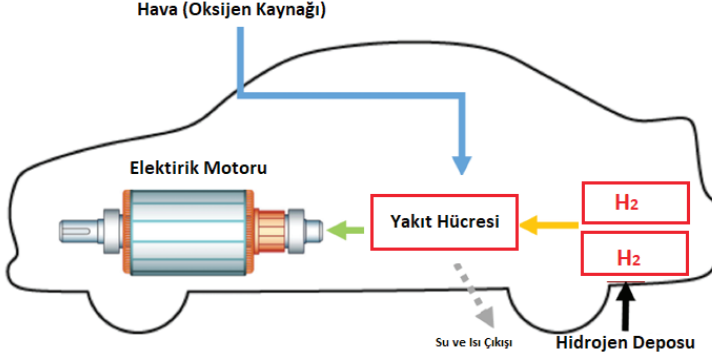
Literatür araştırmalarında daha ekonomik yollarla hidrojen üretilmesi için çeşitli yollarda araştırılmaktadır. Bunlardan en öne çıkan mikrodalga enerji ile hidrojen üretimidir. Geleneksel reaksiyon sistemlerinde, katalizör yatağının ısıtılması konvansiyonel tüp fırın ile sağlanmaktadır. Tüp fırın katalizör yatağını ısıtırken aynı anda fırın içerisindeki tüm duvalara da ısı sağlamaktadır. Ancak mikrodalga enerjisi ile ısıtılan reaktörde mikrodalga enerjisi, sadece katalizör yatağını ısıtmaktadır. Mikrodalga ısıtmalı reaktör sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır. Mikrodalga'nın gücü jeneratör yardımıyla ayarlanır ve jeneratörden gelen akımı magnetron da mikrodalga enerjisine çevirir. Aplikatör ise katalizör yatağının yerleştirildiği bölümdür ve içerisinde bulunan aynalar yardımıyla mikrodalga direkt olarak katalizör yatağına gönderilir. Katalizör yatağı mikrodalga enerjisi ile ısındığında mikrop plazma olarak adlandırılan sıcak bölgeler oluşur (Şekil 1). Bu bölgeler sayesinde düşük mikrodalga enerjisiyle katalizör yatağı istenilen reaksiyon sıcaklığına ısıtılabilir. Böylece konvansiyonel sistemlere kıyasla daha ekonomik bir hidrojen üretim süreci sağlanır. Mikrodalga reaktör sisteminin, geleneksel yönteme kıyasla 20 kat enerji tasarrufu sağladığı yapılan araştırmalardan görülmüştür [20].

Hidrojen üretimi ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Hidrojen, biyokütleli buharlı reformlanma reaksiyonu yanı sıra doğal gazdan elde edilen metanın kuru reformlanma reaksiyonu ile de üretilmektedir. Metanın kuru reformlanma reaksiyonu sonucunda bir mol metandan iki mol hidrojen elde edilebilmektedir. Ancak metanın termal parçalanma reaksiyonu ile katalizör yüzeyinde yüksek miktarda kok oluşumu da görülmektedir. Literatürde, metanın kuru reformlanma reaksiyonuyla oluşan koku azaltmaya yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Arbağ ve arkadaşları yaptıkları çalışmada nikel ve magnezyum içerikli mezogözenekli alümina katalizörlerinin aktivitesini metanın kuru reformlanma reaksiyonunda test etmişlerdir. Aktivite test sonuçlarına bakıldığında nikel içerikli malzemelerin Ni-Mg içerikli malzemelere göre daha yüksek aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Ancak magnezyum ilavesiyle kok yüzde %22 civarında düşmüştür [21]. Değirmenci ve arkadaşları da metanın kuru reformlanma reaksiyonunda nikel içerikli silika mikroküre katalizörlerini kullanmışlardır. Aktivite test çalışmaları sonucunda katalizör yüzeyinde kok oluşmadığını belirlemişlerdir. Bu sonuç, silika mikroküre katalizörlerinin karbon ile SiC yapılarını oluşturmasıyla açıklanmıştır [22]. Son zamanlarda mikroküre katalizörlerinin alternatif yakıt üretiminde kullanımı oldukça artmıştır. Mikroküre katalizörleri çekirdek-kabuk yapısındaki malzemelerdir. Kabuk yapısı, katalizörün destek kısmını oluştururken çekirdek yapısı aktif metallerden oluşmaktadır. Çekirdek-kabuk yapısındaki malzemeler aktif metalin, destek malzemesine daha iyi dağılmasını sağlayarak emdirme ya da hidrotermal yöntemle hazırlanan malzemelere göre daha yüksek aktivite göstermektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda da görüldüğü üzere karbon oluşumuna karşıda oldukça dayanıklıdır.



Şekil 1. Mikrodalga Reaktör Sistemi [19]

Hidrojenin yakıt olarak kullanımı, yakıt pillerinin araçlara entegrasyonu ile sağlanmaktadır. Otomotiv sektöründeki lüks otomobil üreten büyük firmalar hidrojen ile çalışan araçları üretmeye başlamışlardır. Bu araçlar, elektrik enerjisini kendisi üretmektedir. Yakıt hücreli araçlarda hidrojen, ters elektroliz olarak bilinen proses ile yakıt hücresindeki oksijenle reaksiyona girer. Hidrojen, araç içine yerleştirilmiş tanklardan beslenir, oksijen ise havadan çekilir (Şekil 2). Bu reaksiyonun sonucunda ise su buharı, elektrik enerjisi ve ısı oluşmaktadır.



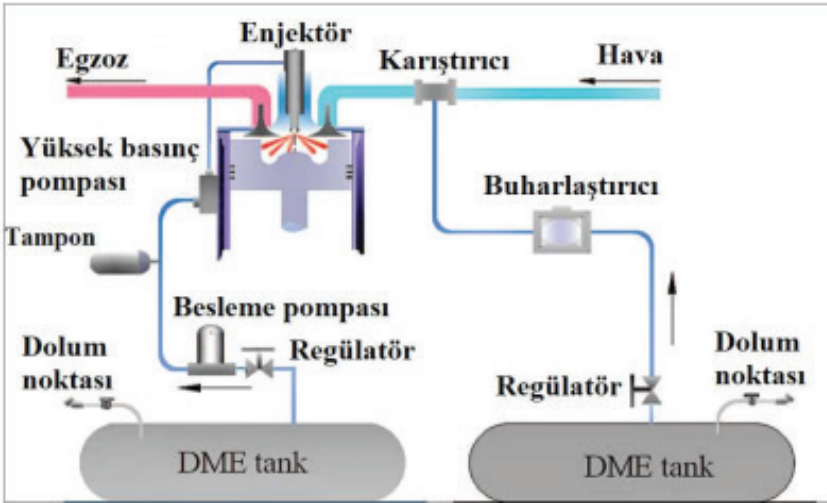
Şekil 2. Hidrojenle Çalışan Araçlar

Hidrojenle çalışan araçlar, petrole kıyasla araçlarda enerjiye dönüştürülürken %39 daha verimlidir. Ancak hidrojen enerjisinin avantajlarından daha fazla dezavantajı vardır. Yakıt hücreli araçların geliştirilmesi dünyada yaygınlaştırılmıştır ancak ülkemizde bu araçlardan çok fazla bulunmamaktadır. Hidrojen, petrole kıyasla daha düşük sıcaklıklarda daha kolay tutuşmaktadır. Ayrıca petrole göre de depolandığı zaman 4 kat fazla hacim kaplamaktadır. Hidrojenin kapladığı hacmi küçültmek için hidrojeni sıvı halde depolamak gereklidir. Bunun içinde yüksek basınç ve soğutma işlemine gerek vardır. Ayrıca günümüz araçlarının motor aksamalarının değiştirilmesi için de ekstra maliyet gerekmektedir. Bu nedenle de hidrojenli araçların yanı sıra günümüz araçlarında kullanılabilecek temiz enerji kaynaklarının arayışı devam etmektedir.

3. BİYO-KÜTLE ve DME

Dimetil eter (DME), yüksek setan sayısı (55-60) ve LPG ("liquid petroleum gas") ile benzer özellikler göstermesi sayesinde dizel yakıtı alternatif olarak kabul edilmektedir. Ayrıca doğal gaz ile benzer özellikler göstermesi ile de evsel sistemlerde herhangi bir değişikliğe neden olmadan doğrudan kullanılabilir. Dimetil eter, atmosferde saatler içinde parçalanabilen toksik olmayan çevre dostu bir gazdır. Ayrıca motorlu taşıtlarda kullanımı sırasında da daha az NO_x ve SO_x salınımı görülür [23].

Dimetil eteri günümüzde öne çıkaran en önemli özelliği dizel yakıtta alternatif olmasıdır. DME'nin dizel araçlarda kullanımı, yakıt sistemlerindeki küçük modifikasyonlarla sağlanabilmektedir. DME yakıtlı taşıtlar ile dizel araçlar karşılaştırıldığında DME ile çalışan araçların emisyon miktarının daha düşük olduğu görülmektedir. DME yapısında kütlece %35 oksijen içeriğine sahiptir ve tam yanma gösterir. Bu nedenle de yandığı zaman dizel yakıtta kıyasla daha az sera gazı emisyonuna neden olur. DME'nin dizel araçlarda kullanılmasına yönelik planlanan sistem şeması Şekil 3'de verilmiştir. DME düşük kaynama noktasına sahip olduğundan daha hızlı buharlaşır ve hava ile homojen bir karışım oluşturur. Ayrıca yüksek setan sayısı ve düşük otomatik tutuşma sıcaklığı ile hava-yakıt karışımının yanma prosesini kolaylaştırır [24-25].



Şekil 3. Dizel motor sistemlerinde DME'nin yakıt olarak kullanımı [26]

Dimetil eter, dizel yakıtta kıyasla daha yüksek setan sayısına (Tablo 2) sahiptir. Setan sayısı, yakıtın tutuşma kalitesi hakkında bilgi verir. Bir dizel yakıtın setan sayısı yüksek ise yakıtın tutuşma yatkınlığı da o kadar yüksek demektir. Yüksek setan sayısı, motorun zararlı emisyon değerlerini düşürür ve motorun soğuk havadaki çalışma performansını artırarak daha yüksek verim ile yakıtın yanmasını sağlar. Dizel yakıtın setan sayısı 40-55 aralığında iken DME'nin setan sayısı 55-60 civarındadır [26-27].

Tablo 2. DME'in fiziksel ve termofiziksel özelliklerinin diğer yakıtlar ile karşılaştırılması

	DME	Metanol	Etanol	Metan	Propan	Bütan	Benzin	Dizel
Molekül formülü	CH ₃ OCH ₃	CH ₃ OH	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₇ H ₁₆	C ₁₄ H ₃₀
Molekül ağırlığı	46,07	32,04	46,07	16,04	44	58	100,2	198,4
Setan sayısı	55-60	5	40-50	0	5	10	5-20	40-55
Patlama limiti, %hacim	3,4-18	6,7-36	3,3-19	5-15	2,1-9,4	1,9-8,4	1,4-7,6	0,6-6,5
Tutuşma sıcaklığı, °C	350	385	365	540	470	430	228	320
Kaynama noktası, °C	-24,9	64	78	-162	-42	-0,5	38-204	125-400
Sülfür içeriği, ppm	0	0	0	7-25	0	0	200	250
Karbon içeriği, %kütle	30,8	37,5	29,4	74	81,8	82,8	85,5	87
LHV, kJ/ g	28,62	19,99	26,87	47,79	46,4	48	43,47	41,66

DME'nin alternatif temiz yakıt olarak kullanımını yaygınlaştırmak için Uluslararası DME Birliği ("International DME Association"- IDA) kurulmuştur. IDA, dimetil eteri tanıtmak için dünya genelinde toplantılar düzenlemekte ve büyük şirketler ile anlaşmalar yaparak DME'nin kullanım alanını arttırmayı hedeflemektedir. Ford Araştırma ve Geliştirme Merkezi merkezi ile yaptığı anlaşma ile, Kuzey Amerika'da yeni otomotiv yakıtlarının geliştirilmesiyle ilgili çalışmalar başlatmıştır. Ford Endüstri, belediye katı atıkları ve atık plastikler dahil olmak üzere çeşitli yenilenebilir hammaddelerden çevre dostu ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip alternatif yakıt dimetil eterin üretimine başlamıştır. Çalışmalarda sera gazı etkisine neden olan CO₂'den DME üretimi gerçekleştirilmiştir. Ford'un belediye için geliştirdiği bir araç DME ile çalışan ve aktif kullanılan araçlardan biridir. Dimetil eter, Kaliforniya'da da temel yakıt kaynaklarından biri olarak kabul edilmiştir. Kalifornia Yasama Meclisi, fosil yakıtların neden olduğu karbon ayak izini düşürmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için DME'yi temel yakıt kaynaklarından biri olarak tanımıştır. 24 Eylül 2020 yılında ülkenin aldığı karar ile 2035 yılına kadar satılan tüm yeni otomobillerin ve binek kamyonlarının sıfır emisyonlu araçlar olmasını hedeflenmiştir. Bu nedenle de DME ve hidrojen ile çalışan araçların yaygınlaşması için teknolojik çalışmalar başlatılmıştır.

Dimetil eter, alternatif yakıt kaynağı olarak kullanımının yanı sıra petrokimya ve plastik endüstrisinde değerli kimyasalların ham maddesi olarak da kullanılmaktadır. Olefinler, dimetil eterden atmosferik basınçta 350-500 °C reaksiyon sıcaklığında doğrudan üretilmektedir. Ayrıca dimetil eter, sanayide aerosol olarak da kullanılmaktadır. DME'nin uygun fiyatlı olması, suda tam çözünbilmesi ve kaynama noktasının düşük, buhar basıncının da yüksek olması aerosol olarak kullanımını arttırmıştır.

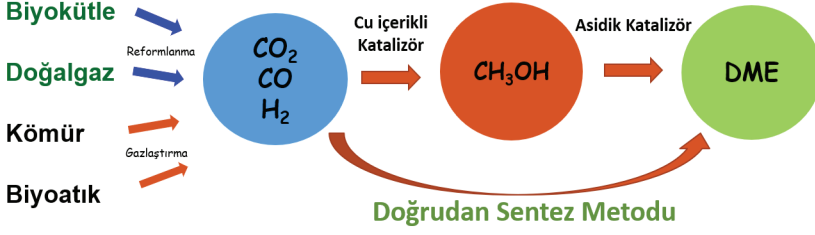
DME, oda koşullarında suda kütlece %30 oranında çözülebilir. Çözeltinin içerisine bir miktar koku özü içerikli alkol özünün katılması ile oda spreyleri hazırlanabilir. DME, endüstride yaygın olarak böcek ilacı spreyinde kullanılır. Benzer şekilde boya spreylerinde ve saç spreylerinde de kullanılmaktadır. DME'nin evsel kullanımı da mümkündür. LPG'ye benzer özellikleri sayesinde doğal gaz için dizayn edilmiş ekipmanların değişimine gerek olmadan kullanılabilir [28-29]. DME aynı zamanda aşağıdaki diğer sanayi alanlarında da kullanılabilir:

- Enerji santrallerinde yakıt olarak
- Soğutucu gaz olarak (florklorarbonlar yerine)
- Güç üretimi (Gaz Türbini)
- Hava gazı üretimi (SNG)
- Kimyasalların üretiminde girdi olarak

Dimetil eter, yenilenebilir enerji kaynağı değildir. Fosil yakıtların veya yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle gazlaştırma yada reformlanma reaksiyonları sırasında oluşan sentez gazından elde edilmektedir. Dimetil eter, sentez gazından iki farklı (Şekil 4) yöntem ile üretilir. İlk yöntem, dimetil eterin geleneksel üretim prosesi olan dolaylı sentez prosesidir. DME, bu proste iki basamakta üretilir. Bu yöntem, öncelikli olarak biyo-kütle kaynaklarından elde edilen sentez gazı ($\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2$) bakır içerikli katalizörler varlığında (Tablo 3) metanol'e çevrilir. Ardından ikinci bir reaktörde katı asit katalizörü ile metanolden DME üretimi gerçekleştirilir. Dolaylı üretim prosesinde metanol sentezi ve metanol dehidrasyonu ile DME üretimi ayrı reaktörlerde gerçekleşir. DME'nin üretiminde kullanılan ikinci yöntem ise doğrudan üretim prosesidir. DME'nin doğrudan üretiminde, metanol sentez ve metanol dehidrasyon reaksiyonları tek bir reaktörde aynı anda gerçekleşir. Böylece dimetil eterin tek bir basamakta doğrudan sentezi gerçekleştirilir. [26-29]. Dimetil eterin doğrudan sentez reaksiyonu (4), metanol sentezi (1), metanol dehidrasyonu (2) ve su gazı (3) reaksiyonlarının toplamından oluşmaktadır.

Tablo 3. Sentez Gazından DME Üretimi Sırasında Gerçekleşmesi Muhtemel Reaksiyon

Reaksiyonlar	Açıklaması	Reaksiyon Entalpisi	
$\text{CO} + 2\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}$	Metanol Sentez Reaksiyonu	$\Delta H^\circ = -90 \text{ kJ/mol}$	(1)
$2\text{CH}_3\text{OH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	Metanolün Dehidrasyon Reaksiyonu	$\Delta H^\circ = -25 \text{ kJ/mol}$	(2)
$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	Su Gazı Reaksiyonu	$\Delta H^\circ = 41,1 \text{ kJ/mol}$	(3)
$3\text{CO} + 3\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{CO}_2$	Sentez Gazından DME Üretim Reaksiyonu (Toplam Reaksiyon-1)	$\Delta H^\circ = -246 \text{ kJ/mol}$	(4)
$2\text{CO} + 4\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	Sentez Gazından DME Üretim Reaksiyonu (Toplam Reaksiyon-2)	$\Delta H^\circ = -205 \text{ kJ/mol}$	(5)



Şekil 4. Sentez Gazından Dimetil Eterin Üretim Prosesleri

Dimetil eterin doğrudan sentez metodunda, hem metanol sentez hem de metanol dehidrasyon reaksiyonları için iki fonksiyonlu katalizörler kullanılmaktadır. Metanol sentez katalizörleri bakır içerikli $\text{Cu}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ve $\text{Cu}/\text{ZnO}/\text{ZrO}_2$ katalizörleridir. Bu katalizörlerde bakır, metanol sentezi için aktif metaldir. Çinko, bakırın termal dayanımını artırırken bir yanda da katalizör yüzeyinde bakırın düzgün dağılımını sağlar [30]. Alümina ve zirkonyum ise termal kararlılığı düşük olan bakırın daha yüksek sıcaklara dayanmasını sağlar. Metanol dehidrasyon reaksiyonu için kullanılan katalizörlerin yüksek yüzey asitliğine sahip olması gerekmektedir. DME'nin doğrudan üretim yönteminde, metanol sentez reaksiyonunun termodinamik limitasyonları aşılar ve daha yüksek reaktant dönüşümü ile daha yüksek DME seçiciliği elde edilir. Ayrıca DME'nin doğrudan üretim prosesinde sentez gazından tek bir reaktörde DME üretimi gerçekleştiği için bu prosesin, dolaylı üretim prosesine kıyasla daha ekonomik olduğu söylenebilir. Bu nedenle DME'nin sentez gazından doğrudan üretimi hem termodinamik hem de ekonomik açıdan dolaylı üretim yöntemine göre daha uygundur.

Sentez gazından DME üretimi çalışmalarında çift fonksiyonlu katalizörler kullanılmaktadır. Metanol sentez katalizörü olarak bakır içerikli katalizörlerin kullanıldığı bilinmektedir. Metanol dehidrasyon katalizörü olarak da yüksek yüzey asitliğine sahip zeolitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürdeki çalışmalara bakılacak olursa DME üretimi için metanol dehidrasyon katalizörlerinin geliştirildiği görülmektedir. Çünkü dehidrasyon katalizörleri, DME üretiminin gerçekleştiği yer olduğundan çalışma verimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Katalizörlerin yüzey asitlikleri reaksiyonların mekanizmasını etkileyen önemli bir parametredir. Metanolden DME üretim basamağında katalizörün yüksek yüzey asitliğine sahip olması ve yapısında hem Lewis hem de Bronsted asit sitelerini içermesi beklenmektedir. Ancak DME üretim reaksiyonu için malzemelerin yüksek Bronsted asit sitelerini bulundurması gerekir. Malzeme yapısında Lewis asit siteleri baskın ise metanolden DME üretimi değil metanolden olefin üretim reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bu ne-

denle de çalışmalarda katalizörlerin yapısına Bronsted asit sitelerini artıracak metallere (zirkonyum, tantal gibi) veya katı asitler (heteropoli asitler; tungstosforik asit (TPA), silikotungstik asit (STA) gibi) yüklenmektedir. Tokay ve arkadaşları yaptıkları çalışmada yüksek Lewis asit sitelerine sahip silika destekli SBA-15 katalizörlerini metanolden DME üretim reaksiyonunda kullanmışlardır. Malzemenin yüzey asitliğini arttırıp Bronsted asit sitelerini ise daha belirgin hale getirmek için katalizör yapısına alümina metalini hidrotermal yöntemle yüklemişlerdir. Elde ettikleri katalizör ile 300 °C'de %100 seçicilikle DME elde etmişlerdir [31]. Erkal ve arkadaşları ise TPA içerikli mezogözenekli alümina katalizörünü sentez gazından DME üretim prosesinde dehidrasyon katalizörü olarak kullanmışlardır. Hazırlanan mezogözenekli alümina malzemesinin yapısına kütlece %25 TPA yüklendiğinde malzemenin yüksek Bronsted asit sitelerine sahip olduğunu belirlenmişlerdir. Hazırlanan katalizör ile 50 bar ve 275 °C'de % 61 CO dönüşümü ve %57.5 seçicilikle DME elde edilmiştir [26]. Sentez gazından DME üretimi sonucunda ürün dağılımında metanol, CO₂ ve eser miktarda CH₄ oluşmaktadır. Dimetil eterin alternatif yakıt kaynağı olarak kullanılabilmesi veya yakıt hücrelerinde hidrojen kaynağı olarak beslenebilmesi için saf olarak elde edilmesi gerekmektedir. Oda koşullarında DME gaz formundadır. Doğrudan sentez çalışmaları sonucunda yan ürün olarak oluşan metanol ise sıvı formdadır. Metanol ile DME oda koşullarında birbirlerinden kolayca ayrılmaktadır. DME metanolden ayrılırken içeriğinde yüksek miktarda CO₂ de bulunmaktadır. Literatür çalışmalarında CO₂'in ürün dağılımından ayrılabilmesi için adsorbantlar kullanılmaktadır. Huntit minerali ve kalsiyum oksit gibi kimyasallar karbondioksiti adsorplayarak yapısında tutmaktadır. Bu sayede dimetil eter saf olarak elde edilmektedir [31].

4. BİYO-KÜTLE ve BİYO-YAKIT

Biyo-kütle kaynaklarından elde edilen ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında gösterilen biyo-yağ günümüzde büyük kullanım potansiyeli bulunan bir üründür. Biyo-yağ, biyo-kütleden piroliz, veya hidrotermal sıvılaştırma gibi termal dönüşüm yöntemleri ile elde edilmektedir. Piroliz genellikle kuru biyokütleye, hidrotermal sıvılaştırma ise yapısında su bulunduran biyokütleye uygulanır. Biyo-yağın büyük çoğunluğu (kütlece %15-30) sudan ve organik bileşiklerden oluşmaktadır. Aldehitler, ketonlar, alkoller ve asitler organik içerikte yer alan temel bileşiklerdir [32]. Biyo-yağın fiziksel özellikleri ham petrol ile karşılaştırıldığında (Tablo 4) biyo-yağ içeriğindeki en önemli farkın yüksek su ve oksijen içeriği olduğu görülmektedir.

Tablo 4. *Biyo-yağın ve Ham petrolün Fiziksel Özellikleri*

	Biyo-yağ	Ham Petrol
Su, (kütlece %)	15-30	0.1
pH	2.8-3.8	-
Yoğunluk (kg/L)	1.05-1.25	0.86
Viskozite (cP, 50 oC)	40-100	180
Üst Isıl Değeri (MJ/kg)	16-19	44
C, (kütlece %)	55-65	83-86
O, (kütlece %)	28-40	1
H, (kütlece %)	5-7	11-14
S, (kütlece %)	<0.05	<4
N, (kütlece %)	<0.4	<1
Kül, (kütlece %)	<0.2	<0.1

Yüksek oksijen ve su içeriğine bağlı olarak biyo-yağın kalorifik değeri ham petrolün yarısı kadardır. Ayrıca içeriğinde bulunan asitler (formik asit, asetik asit) nedeniyle de biyo-yağın pH değeri yaklaşık 2-4 arasındadır. Biyo-yağın asidik içeriği depolanmasını, taşınmasını ve proseslerde işlenmesini zorlaştırmaktadır. Biyoyağın düşük kalorifik değeri, yüksek oksijen içeriği, yüksek asiditesine bağlı olarak oldukça korozif olması gibi olumsuz özellikleri nedeniyle doğrudan kullanılması mümkün değildir. Bu nedenle yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Biyo-yağın oksijen içeriği düşürülerek kalorifik değeri arttırılmamıştır. Literatür çalışmalarına bakıldığında zeolit ile parçalanma reaksiyonu ve hidrojenasyon reaksiyonu ile biyo-yağın yakıt özellikleri iyileştirilmektedir. Hidrojenasyon reaksiyonu, organik bileşiklere hidrojen (H₂) ilavesi ile yapısındaki oksijenin uzaklaştırılması işlemidir. Hidrojenasyon reaksiyonunda oksijen, hidrojen ile birleşerek su buharı olarak yapıdan uzaklaşmaktadır. Literatürde hidrojenasyon reaksiyonu, biyoyakıt üretiminin yanı sıra doymamış organik bileşiklerin (alkenler, alkinler, ketonlar ve nitriller) sentezinde de kullanılmaktadır. Bu reaksiyonlara örnek olarak; alkenlerdeki doymamış karbona bir hidrojenin bağlanmasıyla oluşan alkenden alkan sentezi verilebilir [32].

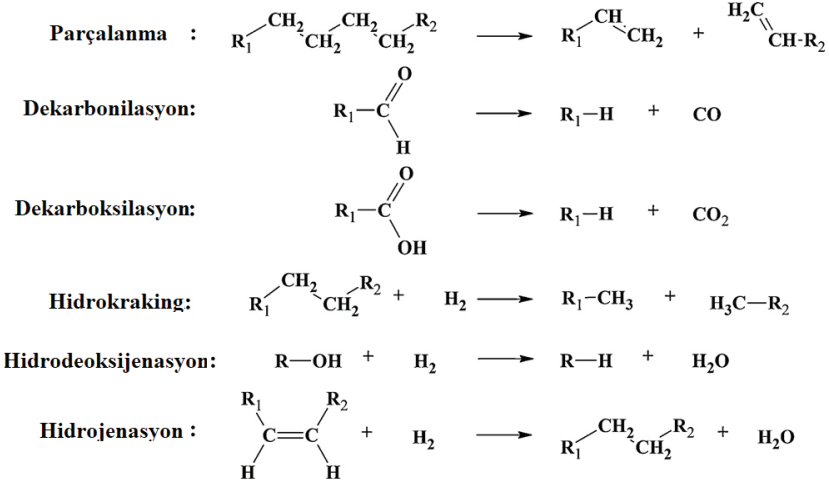
Hidrojenasyonun biyo-yağ iyileştirme üzerindeki etkinliği çok sayıda çalışma ile doğrulanmış olmasına rağmen, hala çözülmesi gereken birkaç problem vardır. Hidrojenasyon reaksiyonu ekzotermik bir reaksiyondur. Genel olarak, hidrojenasyon reaksiyonu, yüksek sıcaklık (200–500 °C) ve yüksek hidrojen basıncı (7–20 MPa) (koşulları altında gerçekleştirilir. Ekipman maliyeti ve hidrojen tüketimi bu proses için en önemli sorundur. Bu reaksiyonda katalizörler önemli rol oynamaktadır. Katalizörler reaksiyon sıcaklığını düşürerek yüksek verim ile ürün almayı sağlamaktadır.

Ancak hidrojenasyon reaksiyonunda yüksek aktivite gösteren soy metal katalizörler (Pt, Pd, Ru, Rh gibi), biyo-yağ hidrojenasyonunda yaygın olarak kullanılamayacak kadar maliyetlidir. Yüksek basınç altında çalışması ve katalizör seçimi gibi olumsuz yanları nedeniyle hidrojenasyon prosesinin (Tablo 5) sanayileşmesi oldukça güçtür. Bu nedenle de literatür çalışmalarında zeolit ile parçalanma reaksiyonu daha çok araştırılmaktadır [33-34].

Tablo 5. *Hidrojenasyon Prosesi ile Zeolit ile Parçalanma Reaksiyonunun Karşılaştırılması*

Hidrojenasyon (HR)	Zeolit Parçalanma
Yüksek Basınç Gerekli	Atmosferik Basınç Yeterli
Hidrojen Gerekli	Hidrojen Gerekmez
Yüksek Maliyetli	Düşük Maliyetli
Yüksek Dereceli Ürün (C7-C15)	Düşük Dereceli Ürün (C5-C10)

Zeolit parçalanma reaksiyonu yüksek asit içeriğine sahip zeolitler varlığında biyo-yağ içerisindeki oksijenin H_2O , CO ve CO_2 gibi bileşikler şeklinde yapıdan uzaklaştırılmasıdır. Zeolit parçalanma reaksiyonu düşük basınçta (1 atm) gerçekleştiğinden daha güvenilir ve daha düşük maliyetli bir prosestir. Zeolit parçalanma reaksiyonu, yüksek Bronsted asit sitelerine sahip katalizörler varlığında biyo-yağın atmosferik şartlarda 200 ve 600 °C sıcaklık aralığında oksijen bağlarının koparılmasıdır. Reaksiyon sonucunda yüksek kalitede biyo-yakıt özellikleri gösteren hidrokarbonlar elde edilmektedir. Şekil 5’de zeolit parçalanma reaksiyonu sırasında gerçekleşmesi muhtemel reaksiyonlar verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi bu proseste öncelikli olarak parçalanma, dekarbonilasyon ve dekarboksilasyon reaksiyonları gerçekleşmektedir. Ayrıca parçalanma reaksiyonları sonucunda yan ürün olarak oluşan hidrojen, hidrojenasyon reaksiyonuyla da benzer şekilde hidrokraking, hidrodeoksijenasyon ve hidrojenasyon reaksiyonlarına neden olmaktadır. Zeolit parçalanma reaksiyonunda uygun katalizör varlığında reaktant olarak kullanılan hidrokarbonlar, birleşerek yüksek hidrokarbon zincirleri oluştururken yapılarından oksijeni uzaklaştırmaktadır [35].



Şekil 5. Zeolit Parçalanma Reaksiyonunda Gerçekleşmesi Muhtemel Reaksiyonlar [32]

Zeolit parçalanma reaksiyonu sonucunda elde edilen ürün bileşimi üç fazdan (su fazı, yağ fazı, gaz fazı) oluşmaktadır. Çalışmalar sonucu istenen ve yakıt özelliği gösteren ürün yağ fazıdır. Yağ fazı yüksek molekül ağırlıklarına sahip hidrokarbonları içermektedir. Su fazı, biyo-yağ içerisinden gelen ve reaksiyona girmeyen alkoller, aldehytler ve suyu içeren kısımdır. Gaz fazı ise dekarbonilasyon, dekarboksilasyon reaksiyonları gibi reaksiyonlar sonucu açığa çıkan CH_4 , CO , CO_2 vb. gazlarını içermektedir. Ancak zeolit parçalanma reaksiyonları sırasında hidrokarbon zincirlerinin parçalanması sonucu yan ürün olarak karbon oluşmaktadır. Karbon (kok), katalizörlerin hızlı bir şekilde deaktive olmasını sağlayan istenmeyen bir yan üründür. Literatürdeki çalışmalarda hem hidrojenasyon hemde zeolit parçalanma reaksiyonları için en büyük sorun kok oluşumuna bağlı olarak görülen katalizör deaktivasyonudur. Bu nedenle kok oluşumunu azaltmak ve karbon zincirlerinin sayısını arttırmak için zeolit parçalanma reaksiyonlarında reaktantların yanı sıra bir alkol (etanol veya metanol) daha kullanılmaktadır [34, 36].

Literatür çalışmalarında biyo-yağdan biyo-yakıt üretim çalışmaları başarılı sonuçlar vermiş olsa da katalizör yüzeyinde biriken kok miktarı %20 civarındadır ve çalışmalarda kullanılan katalizörler genellikle yarım saat gibi bir sürede deaktive olmaktadır. Biyo-yağ oldukça kompleks bir bileşiktir içerisinde asitleri, aldehytleri, ketonları, alkolleri, fenolleri, esterleri ve eterleri içeren karmaşık bir bileşime sahiptir. Bu nedenle de literatür çalışmalarında genellikle biyo-yağ içeriğini tanımlayan “model” bileşikler kullanılmaktadır. Literatürdeki çalışmalar, alkollerin, asitlerin ve ketonların düşük sıcaklıklarda aromatik hidrokarbonlara dönüştüğünü

belirtirken yüksek oksijen ve doymamış hidrokarbon içeriğine sahip fenollerin de kolayca koklaştığını ve katalizör deaktivasyonuna neden olduğunu göstermiştir. Biyo-yağın, alifatik alkoller ile birlikte parçalanması katalizörün deaktivasyon süresini uzatarak kok miktarının düşmesini sağlamıştır. Biyokütlenin gazlaştırılmasından üretilen sentez gazı ile metanol sentezlenir ve biyokütle fermantasyonu ile etanol elde edilir. Bu nedenle de metanol ve etanolün sürdürülebilir kaynaklar olduğu kabul edilir. Literatürdeki bir çalışmada biyo-yağ, metanol ile birlikte parçalanmış ve biyo-yağ dönüşümü %90'lara ulaşırken aromatik hidrokarbon seçiciliği %40 civarında bulunmuştur [37]. Mentzel ve Holm biyo-yağ bileşiği içerisine metanol eklendiğinde katalizörün deaktivasyon süresinin önemli ölçüde arttığını belirlemiştir [36]. Wang ve arkadaşları ise keton ve asit içerikli biyo-yağ model bileşiklerini parçalarken metanol yerine etanol kullanmışlar ve yağ fazı seçiciliğininin %31.5'a ulaştığını ve aromatik hidrokarbon seçiciliğini %91.5 olduğunu göstermişlerdir. Metanol ve etanolün reaksiyonlardaki etkinliği karşılaştırıldığında etanol, biyo-yakıt üretimde daha yüksek aktivite gösterdiğinden reaksiyonlarda daha düşük kok oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle birlikte parçalanma reaksiyonları için metanole kıyasla daha uygun bir alternatiftir [34].

Literatür çalışmalarında biyo-yağdan biyo-yakıt üretiminde genellikle yüksek yüzey asitliğine sahip HZSM-5 zeoliti kullanılmaktadır. Çalışmaların amacı farklı biyoyağ model bileşikleri kullanılarak maksimum biyo-yakıt seçiciliğine ulaşmaktır. Wang ve arkadaşları 2016 yılında yaptıkları çalışmada HZSM-5 katalizörü ve metanol varlığında biyo-yakıt üretimi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada biyo-yağı modellemek için keton gruplarını (hidroksipropanol-HPO ve cyclopentanol-CPO) kullanmışlardır. Yapılan çalışmada 20 bar altında keton gruplarının %100 dönüşüm verdiği belirlenmiştir. Reaksiyon sıcaklığı (370 °C'den 400 °C'ye) ve basıncın da (1 atm'den 20 bar'a) artmasıyla yağ fazı seçiciliğinin arttığı görülmüştür. En yüksek yağ fazı seçiciliği %31.6 olarak bulunmuş ve yağ fazının %97.2'si düşük (C_1 - C_9) hidrokarbonları içerdiği belirlenmiştir [35]. Aynı çalışma grubunun 2013 yılında yaptıkları çalışmada ise biyo-yağ model bileşeni olarak keton gruplarından hidroksipropanol kullanılmıştır. Hidroksipropanolun kullanılmasının nedeni; biyo-yağ içerisinde %37 gibi bir orana sahip olarak en fazla bulunan keton grubu olmasıdır. Çalışmada reaktant bileşimi içerisinde hem etanol ve HPO karışımı varken hem de sadece HPO varken biyo-yağdan biyo-yakıt üretimi gerçekleştirilmiştir. Etanol kullanılmayan çalışmalarda toplanan sıvı ürün bileşiminde yağ ve su fazı gibi bir ayırım gözlenmemiştir. Toplanan sıvı faz, yağ fazı olarak adlandırılmıştır. Reaktant bileşimi içerisine etanol konulduğunda ise

faz ayrımı net bir şekilde görölmüş ve elde edilen yağ fazının içeriği zenginleşmiştir. Etanol yokken hafif hidrokarbon bileşikleri üretilirken etanol varlığında ham petrol içeriğindeki C7-C10 hidrokarbonları üretilmiştir [37].

Literatür çalışmalarının sonuçlarında dönüşüm değeri ve yağ fazı seçiciliğinin yanı sıra biyo-yağdan biyo-yakıt üretim çalışmaları sonucunda elde edilen ürün dağılımındaki alifatikler, eterler, fenoller, aromatikler ve ketonların yüzdesi verilmektedir. Çünkü yakıtın bileşiminde bulunan hidrokarbonlar motorlu taşıtlarda kullanılacak yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile performansını oldukça etkilemektedir. Benzinin bileşiminde karbon sayısı 4-12 arasında değişen farklı hidrokarbon grupları bulunmaktadır. Bu gruplar farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Bu nedenle de hidrokarbon gruplarının benzin içerisindeki dağılımları, benzinin yakıt özelliklerini doğrudan etkilemektedir [35]. Benzinin bileşiminde bulunan hidrokarbonlar, parafinler, izoparafinler, aromatikler, olefinler ve ağır hidrokarbonlar (karbon sayısı 12'den büyük) olarak sınıflandırılmaktadır. Parafinler, yakıtın oktan sayısını arttırdığı için benzin içerisinde istenilen gruptur. Aromatikler ve olefinler ise yüksek oktan sayısına sahip olmasına rağmen yakıt içerisindeki miktarları TÜPRAŞ tarafından sınırlandırılmıştır. Aromatik hidrokarbonlar, yakıtın düzensiz emisyonlarını (formaldehit, asetaldehit, benzen, tolüen ve ksilen) arttırmakta ve motorda karbon birikintisine neden olmaktadır. Olefinler ise yakıtın uçuculuğunu arttırmaktadır [38]. Tablo 6'da Türkiye'de tarafından üretilen 95 oktan kurşunsuz benzin ile Amerika'da kullanılan reformüle edilmiş benzinin özellikleri EN 228 benzin standardı ile birlikte verilmiştir. Tabloya bakıldığında standart olarak bir benzin içerisindeki olefinlerin, aromatik hidrokarbonların ve benzenin yüzdesi verilmiştir. Türkiye'de üretilen 95 oktan benzin içerisindeki maksimum aromatik hidrokarbon, olefin ve benzen miktarı hacimsel olarak % 35, % 18 ve %1 olarak sınırlandırmıştır. Ayrıca benzin içerisindeki oksijen miktarının da maksimum kütlece %2,7 olması gerekmektedir.

Literatür araştırmaları sonucunda elde edilen biyo-yakıtların oktan sayısı da biyoyakıtın kalitesini gösteren önemli bir noktadır. Oktan sayısı, yakıtın vuruntuya karşı direncinin, referans yakıtları olarak adlandırılan izo-oktan ve n-Heptan yakıtlarının karışımı esas alınarak karşılaştırma yöntemiyle ölçülmesidir. Oktan ölçümü deneyleri bu yakıtların değişken hacimsel karışımlarıyla gerçekleşmektedir. Örneğin 97 oktan denilen benzinin vuruntu dayanımı, hacimsel olarak %97 iso-oktan ve %3 n-Heptan'ın karışımına denk gelmektedir. Araçlarda genel olarak 95 oktan benzin kullanılmaktadır. Biyo-yağdan biyo-yakıt eldesi çalışmalarında da bu değer 90-95 civarındadır. Bu nedenle de elde edilen bi-

yo-yakıtların oktan sayıları arttırılmalıdır. Benzinin oktan sayısını arttırmak için yakıtlara oksijen içerikli katkı maddeleri eklenmektedir. En sık kullanılan katkı maddesi kurşun tetra-etildir. Ancak 1979 yılında kurşunsuz benzine geçilmiş ve kurşun tetra etil kullanımı sınırlandırılmıştır. Bu nedenle de benzine 1979 yılından itibaren metil tersiyer bütül eter (MTBE) eklenmeye başlanmıştır. Ancak MTBE'in kanserojen olması nedeniyle 1995 yılından itibaren Amerika, yakıt katkı maddesi olarak MTBE kullanımını yasaklanmıştır [4]. Günümüzde benzinin oktan sayısını arttırmak için metanol, etanol gibi alkoller ve etil tersiyer bütül eter (ETBE); tersiyer amil metil eter (TAME); tersiyer amil etil eter (TAEE) ve di-izopropil eter (DIPE) gibi farklı eteler kullanılmaktadır [37].

Tablo 6. Türkiye'de üretilen 95 Oktan benzinin özelliklerinin reformüle edilmiş benzin ve EN228 Standart benziniyle karşılaştırılması

Özellik	95 Oktan Benzin	Reformüle Edilmiş Benzin	EN 228 Benzin Standardı
Araştırma Oktan Sayısı (RON)	min. 95	-	min. 95
Motor Oktan Sayısı (MON)	min. 85	-	min. 85
Yoğunluk (kg/m ³)	720-775	-	720-775
Buhar Basıncı (kPa)	yaz:45-60/kış:60-90	yaz:50/kış:90	kış:50-80
Kurşun İçeriği (mg/L)	maks. 5	-	-
Kükürt İçeriği (mg/kg)	maks. 10	(sülfür) 22,5 ppm	maks. 10
Mangan İçeriği (mg/L)	maks. 2	-	-
Olefin miktarı (hacimce %)	maks. 18	maks. 9,55	maks. 18
Aromatik miktarı (hacimce %)	maks. 35	maks. 16,4	maks. 35
Benzen miktarı (hacimce %)	maks. 1	maks. 0,53	maks. 1
Oksijen İçeriği (kütlece %)	maks. 2,7	maks. 3,68	maks. 2,7

5. SONUÇLAR

Biyokütle kaynakları her türlü evsel, tarımsal ve endüstriyel atığı kapsadığından sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle kaynaklarının kimyasal prosesleri ile biyoyağlar elde edilmektedir. Biyoyağ, temiz enerji kaynaklarının üretilebilmesi için ham madde olarak kullanılan kıymetli bir kimyasaldır. Ayrıca biyoyağın reformlanma reaksiyonları sonucunda hidrojen zengin sentez gazı üretilmektedir. Sentez gazından ise dizel alternatifi dimetil eter elde edilir. Biyoyağ doğrudan alternatif yakıt olarak da kullanılabilir. Fiziksel ve kimyasal özelliklerinin (oksijen içeriğinin düşürülmesi, pH değerinin arttırılması vb.) iyileştirilmesi ile benzin alternatifi olarak kullanılan biyoyakıtlar elde edilir. Hidrojen enerjisinin, yakıt olarak kullanımı yakıt hücreleri teknolojisi ile sağlanmaktadır. Ancak yakıt hücrelerinin otomobiller için gelişimi oldukça masraflıdır. Ayrıca hidrojenin gaz fazında olması sıvı formdaki benzine kıyasla depolanmasını oldukça güçleştirmektedir. Bu nedenle günümüz teknolojilerinin hidrojene

uyarlanması oldukça zordur. Ancak dimetil eter ve biyo-yakıtlar, araçların motor aksamlarında herhangi bir değişikliğe sebep olmadan doğrudan kullanılabilir. Bu nedenle artan sera gazı etkileri ve iklim değişiklikleri nedeniyle dünya çapında DME ve biyoyakıtlara olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Araç üretim firmalarından BMW, Ford gibi tanınmış firmalar biyoyakıtlarla çalışan araçları üretmeye başlamışlardır. Ancak bu araçların kullanımı şimdilik sınırlıdır. Ülkemiz şu anda yakıt kaynağı olarak büyük oranda petrol kaynaklarından elde edilen yakıtlara bağlıdır. Bilindiği üzere fosil yakıtlar çevreye büyük ölçüde zarar vermektedir. Bu nedenle temiz enerji kaynakları hakkında daha çok araştırma yapılmalı ve bu konu hakkında bir bilgi birikimi oluşturulmalıdır. Böylece temiz ve yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımı arttırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Sahin A. (2018) The development of Speek/PVA/TEOS blend membrane for proton exchange membrane fuel cells. *Electrochim Acta*, 271, 127-36.
- [2] Akgül S. (2017) Biyokömür: Üretimi ve Kullanım Alanları, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5,, 485-499.
- [3] Erdener, H., Erkan, S., Eroğlu, E., Gür, N., Şengül, E., Baç, N. (2013). *Sürdürülebilir enerji ve hidrojen*, ODTÜ Yayıncılık, 24.
- [4] TÜPRAŞ 2021 Faliyet Raporu
- [5] Sahin A, Ar I. (2015) Synthesis, characterization and fuel cell performance tests of boric acid and boron phosphate doped, sulphonated and phosphonated poly(vinyl alcohol) based composite membranes. *Journal Power Sources*, 288, 426-33.
- [6] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2016). *Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü* (Sayı:13). Ankara, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 5-6.
- [7] Şahin, A., & Ar, İ. (2015). Synthesis, characterization and fuel cell performance tests of boric acid and boron phosphate doped, sulphonated and phosphonated poly (vinyl alcohol) based composite membranes. *Journal of power sources*, 288, 426-433.
- [8] Polar, T., Yalcın H., Şahin H.M. (2012) Hidrojenin nükleer enerji ile üretim yollarının incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 15(2), 49-69.
- [9] Ozdemir, Z.O., Mutlubaş, H. (2019) Enerji Taşıyıcısı Olarak Hidrojen ve Hidrojen Üretim Yöntemleri, *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 2, 16-34.
- [10] Mutlu, N., Tolay, M., Karaca, C., Öztürk, H. H. Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisindeki Gelişmeler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15(2), 53-59.
- [11] Cakiryilmaz, N., Arbag, H., Oktar, N., Dogu, G., & Dogu, T. (2019). Catalytic performances of Ni and Cu impregnated MCM-41 and Zr-MCM-41 for hydrogen production through steam reforming of acetic acid. *Catalysis Today*, 323, 191-199.
- [12] Thaicharoensutcharittham, S., Meeyoo, V., Kitiyanan, B., Rangsunvigit, P., & Rirksomboon, T. (2011). Hydrogen production by steam reforming of acetic acid over Ni-based catalysts. *Catalysis Today*, 164(1), 257-261.
- [13] Iwasa, N., Yamane, T., Takei, M., Ozaki, J. I., & Arai, M. (2010). Hydrogen production by steam reforming of acetic acid: comparison of conventional supported metal catalysts and metal-incorporated mesoporous smectite-like catalysts. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(1), 110-117.

- [14] Hu, X., Zhang, L., & Lu, G. (2012). Pruning of the surface species on Ni/Al₂O₃ catalyst to selective production of hydrogen via acetone and acetic acid steam reforming. *Applied Catalysis A: General*, 427, 49-57.
- [15] Lemonidou, A. A., Vagia, E. C., & Lercher, J. A. (2013). Acetic acid reforming over Rh supported on La₂O₃/CeO₂-ZrO₂: catalytic performance and reaction pathway analysis. *ACS Catalysis*, 3(9), 1919-1928.
- [16] Cakiryilmaz, N., Arbag, H., Oktar, N., Dogu, G., & Dogu, T. (2018). Effect of W incorporation on the product distribution in steam reforming of bio-oil derived acetic acid over Ni based Zr-SBA-15 catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(7), 3629-3642.
- [17] Ibrahim, S. A., Ekinci, E. K., Karaman, B. P., & Oktar, N. (2021). Coke-resistance enhancement of mesoporous γ -Al₂O₃ and MgO-supported Ni-based catalysts for sustainable hydrogen generation via steam reforming of acetic acid. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(77), 38281-38298.
- [18] Karaman, B. P., Cakiryilmaz, N., Arbag, H., Oktar, N., Dogu, G., & Dogu, T. (2017). Performance comparison of mesoporous alumina supported Cu & Ni based catalysts in acetic acid reforming. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(42), 26257-26269.
- [19] Eryıldırım Busra, Katalitik etan dehidrojenasyonu ile hidrojen ve etilen üretimi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019
- [20] Çakıryılmaz N., Biyokütle kaynağından alternatif yakıt üretimi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018
- [21] Arbag, H. (2018). Effect of impregnation sequence of Mg on performance of mesoporous alumina supported Ni catalyst in dry reforming of methane. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(13), 6561-6574.
- [22] Meric, G. G., Arbag, H., & Degirmenci, L. (2017). Coke minimization via SiC formation in dry reforming of methane conducted in the presence of Ni-based core-shell microsphere catalysts. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(26), 16579-16588.
- [23] Bae, J. W., Kang, S. H., Lee, Y. J., & Jun, K. W. (2009). Effect of precipitants during the preparation of Cu-ZnO-Al₂O₃/Zr-ferrierite catalyst on the DME synthesis from syngas. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15(4), 566-572.
- [24] Jung, J. W., Lee, Y. J., Um, S. H., Yoo, P. J., Lee, D. H., Jun, K. W., & Bae, J. W. (2012). Effect of copper surface area and acidic sites to intrinsic catalytic activity for dimethyl ether synthesis from biomass-derived syngas. *Applied Catalysis B: Environmental*, 126, 1-8.

- [25] Song, F., Tan, Y., Xie, H., Zhang, Q., & Han, Y. (2014). Direct synthesis of dimethyl ether from biomass-derived syngas over Cu–ZnO–Al₂O₃–ZrO₂ (x)/ γ -Al₂O₃ bifunctional catalysts: effect of Zr-loading. *Fuel Processing Technology*, 126, 88-94.
- [26] Erkal D., *Tungstosforik asit içerikli mezogözenekli alümina katalizörleri ile sentez gazından doğrudan dimetil eter üretimi: basınç, sıcaklık ve katalizör oranının etkisi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2019
- [27] Semelsberger, T. A., Borup, R. L., & Greene, H. L. (2006). Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel. *Journal of Power Sources*, 156(2), 497-511.
- [28] Bayat, A., & Dogu, T. (2016). Optimization of CO₂/CO ratio and temperature for dimethyl ether synthesis from syngas over a new bifunctional catalyst pair containing heteropolyacid impregnated mesoporous alumina. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(44), 11431-11439.
- [29] Celik, G., Arinan, A., Bayat, A., Ozbelge, H. O., Dogu, T., & Varisli, D. (2013). Performance of silicotungstic acid incorporated mesoporous catalyst in direct synthesis of dimethyl ether from syngas in the presence and absence of CO₂. *Topics in Catalysis*, 56(18), 1764-1774.
- [30] Pekmezci Karaman, B., Oktar, N., Doğu, G., & Doğu, T. (2020). Bifunctional silicotungstic acid and tungstophosphoric acid impregnated Cu–Zn–Al & Cu–Zn–Zr catalysts for dimethyl ether synthesis from syngas. *Catalysis Letters*, 150(9), 2744-2761.
- [31] Ozcan, M. C., Karaman, B. P., Oktar, N., & Dogu, T. (2022). Dimethyl ether from syngas and effect of CO₂ sorption on product distribution over a new bifunctional catalyst pair containing STA@ SBA-15. *Fuel*, 330, 125607.
- [32] Mortensen, P. M., Grunwaldt, J. D., Jensen, P. A., Knudsen, K. G., & Jensen, A. D. (2011). A review of catalytic upgrading of bio-oil to engine fuels. *Applied Catalysis A: General*, 407(1-2), 1-19.
- [33] Wang, S., Cai, Q., Wang, X., Guo, Z., & Luo, Z. (2013). Bio-gasoline production from co-cracking of hydroxypropanone and ethanol. *Fuel Processing Technology*, 111, 86-93.
- [34] Wang, S., Cai, Q., Chen, J., Zhang, L., Zhu, L., & Luo, Z. (2015). Co-cracking of bio-oil model compound mixtures and ethanol over different metal oxide-modified HZSM-5 catalysts. *Fuel*, 160, 534-543.
- [35] Wang, S., Chen, J., Cai, Q., Zhang, F., Wang, Y., Ru, B., & Wang, Q. (2016). The effect of mild hydrogenation on the catalytic cracking of bio-oil for aromatic hydrocarbon production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(37), 16385-16393.

- [36] Mentzel, U. V., & Holm, M. S. (2011). Utilization of biomass: Conversion of model compounds to hydrocarbons over zeolite H-ZSM-5. *Applied Catalysis A: General*, 396(1-2), 59-67.
- [37] akmak, A., zcan, H., 2018. "Oxygenated Fuel Additives to Gasoline", *Journal of Polytechnic*, 21(4), 831-840.
- [38] Yitao, S., Shuai, S., Jianxin, W., & Jianhua, X. (2009). Optimization of gasoline hydrocarbon compositions for reducing exhaust emissions. *Journal of Environmental Sciences*, 21(9), 1208-1213.

“

Bölüm 6

**BİTKİLERDE HASTALIK DİRENCİNİN
GELİŞTİRİLMESİNDE RNAİ VE CRISPR/
CAS PERSPEKTİFİNDEN GENETİK
MÜHENDİSLİĞİ**

Oksal MACAR¹

¹ Öğr. Gör. Dr., Giresun Üniversitesi, Şebinkarahisar Uygulamalı Bilimler
Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü., oksal.macar@giresun.edu.tr

”

Giriş

Bitkiler sesil olduklarından sık sık farklı türlerde biyotik ve abiyotik streslere maruz kalırlar. Bu stresler, mahsul verimindeki azalma nedeniyle ekonomik kayıplara ve gıda güvenliği tehditlerine yol açmaktadır. Ancak bitkiler bu stres faktörleri ile mücadele etmek için pek çok strateji kullanırlar. Bu stratejiler, bitkinin strese karşı toleransını artıran ve bitkinin stres koşullarında hayatta kalmasına yardımcı olan epigenetik düzenlemeler ile biyokimyasal, morfolojik ve moleküler modifikasyonları içerebilir (Sharma et al., 2022).

2050 yılına kadar dünya nüfusunun yaklaşık 10 milyara ulaşması beklenmekte (United Nations, 2017) ve günümüzde dahi besleyici gıdaya erişimi olmayan yaklaşık 821 milyonluk bir nüfus olduğu bilinmektedir (FAO, 2018). Biyotik bir stres kaynağı olan bitki hastalıkları, tarımın ilk günlerinden itibaren gıda, lif ve biyoyakıt bitkilerinde verim ve kalitenin düşmesi sonucunda tarım üzerinde ciddi bir sorun olmuştur. Mahsul kayıplarının zaten gıda güvencesizliğinden muzdarip bölgelerde en yüksek seviyelerde olduğu bilinmektedir (Savary et al., 2019). Zararlılar ve patojenler nedeniyle küresel mahsul kaybı yaklaşık %11-30 olarak tahmin edilmektedir (Savary et al., 2019; Chaudhary et al., 2022). Patojen bakteri ve mantarlar mahsul verimini yaklaşık %15 azaltırken; virüslere bağlı mahsul kayıpları %3'ü bulmaktadır (Dong and Ronald, 2019).

Patojenlere karşı bitki savunmasının iki ana mekanizması, direnç ve tolerans olup; direnç konağın, patojen çoğalmasını sınırlama yeteneği iken, tolerans; konağın, patojen çoğalma seviyesinden bağımsız olarak enfeksiyonun etkisini azaltma yeteneğidir. Bu durumda direnç, enfeksiyon riskini ve/veya patojenin konakçıdaki replikasyon oranını azaltırken, tolerans azaltmaz (Pagán and García-Arenal, 2018).

Hastalıklar ile mücadele için yaygın ve bilinçsiz olarak kullanılan ilaçlara karşı fitopatojenler giderek daha da direnç kazanmaktadır. Zira ilaçlar için bir alternatif arayan araştırmacılar, bitkilerin genetik bileşiminde mikrobiyal enfeksiyonlara karşı direnci arttıracak değişikliklere yönelmişlerdir (Dong and Ronald, 2019). Patojen enfeksiyonlarına karşı direnci artırmak için yapılan bu genetik değişiklikler, pestisitlerin uygulanmasına göre önemli avantajlara sahiptir. Bu çalışma böceklerin de dahil olduğu bitki patojenlerine karşı geliştirilen genetik temelli mekanizmaları derlemeyi amaçlamıştır.

Patojenlere Karşı Dayanıklı Bitkilerin Geliştirilmesi: Genetik Temel Bitkiler-Patojen İlişkisi: Tanıma ve Savunma

Yaklaşık 10.000 yıllık geçmişe sahip olan tarım devrimi, insanlığın

bitkilerle olan ilişkisini yoğunlaştırmıştır. Hayatta kalma büyük ölçüde verime bağlı olduğundan, ilk çiftçiler bitkileri hastalıklara karşı direnme yetenekleri gibi faktöre göre seçmişlerdir. Antik çağda kaydedilen çoklu bitki hastalıkları genellikle doğaüstü nedenlere bağlanmış olsa da fitopatolojik gözlemler milattan önce 4. yüzyıldan itibaren yapılmıştır. 19. yüzyılda, Heinrich Anton de Bary tarafından patojenik etkenlerin bitki hastalıklarına neden olduğu gösterilmiştir. 20. yüzyılın başlarında genetik biliminin gelişmesi, araştırmacıların bitkiler tarafından kullanılan ve direnç genleri (R genleri) olarak adlandırılan kalıtsal direnç kaynaklarını tanımlamasına olanak sağlamıştır (Andersen et al., 2018).

Bitkiler patojen istilalarını tespit etmek için iki ana tespit sistemine sahiptir:

a. Örüntü-tanım reseptörleri (PRR'ler) olarak bilinen bir reseptör sınıfı; flagellin, bakteriyel uzama faktörü Tu ve kitin gibi patojen moleküllerini algılamak için hücre dışı ortamı izler. Bu sınıf aynı zamanda patojen virülansını artıran hücre dışı efektörleri de tanımaktadır (Boutrot and Zipfel, 2017).

b. Hücre içi patojen efektörleri, yapısal olarak bir nükleotid bağlanma bölgesi (NBS) ve lösün bakımından zengin tekrarlar (LRR) ile karakterize edilen ve NOD-benzeri reseptör (NLR) proteinleri olarak bilinen geniş bir protein ailesini oluşturan başka bir reseptör sınıfıdır. Bitkilerdeki bu reseptör ailesi; N terminallerindeki özelliklere göre iki ana gruba ayrılır: bir grup Toll/interlökin-1 reseptör-benzeri (TIR) bir alana ve diğer grup ise önemli bir sinyal kapasitesi sağlayan bir sarmal sarmal (CC) alana sahiptir (Jones et al., 2016). Bazı NLR'ler, ağır metalle ilişkili bağlanma alanları, WRKY alanları ve RPM1-etkileşen protein 4 gibi efektör hedeflerine benzeyen/içeren entegre alanlara sahiptir. Bazı patojenler, yanlış patojene karşı bir bağışıklık tepkisi üretmek üzere konak bağışıklık sistemini yanlış yönlendirerek bitkinin savunmasını kendisine karşı kullanır. Örneğin, bazı patojen bakteriler Koronatine duyarsız protein 1 (COI1) jasmonat reseptörünü ele geçirerek, savunma tepkilerini jasmonat tepkilerini aktive edecek ve aynı zamanda daha etkili olan salisilik asit savunma yolunu baskılayacak şekilde yeniden düzenler (Van Esse et al., 2020). Bitki bağışıklık sistemi hakkındaki bilgiler, patojen algılama noktasına müdahale etmek için yeni stratejiler geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Geliştirilmiş veya yeni oluşturulmuş tanıma kapasitesi sağlamak için, farklı tanıma özgüllüğüne sahip başka bitkilerden reseptörler ekleme; patojen tarafından hedeflenen NLR'lerdeki entegre alanları modifiye etme (Maqbool et al., 2015); veya yeni yardımcı NLR'lerin eklenmesi yoluyla efektörler tarafından devre dışı bırakılan NLR genlerini yeniden etkinleştirme gibi stratejiler kullanılabilir (Wu et al., 2017).

Bitkiler, evrimsel süreçleri boyunca, patojenleri tanıyan ve bitkiye herhangi bir zarar gelmesini önlemek için hızla tepki veren çok sayıda karmaşık savunma mekanizması geliştirmiştir. Bitkilerdeki savunma sistemleri genel olarak yapısal savunma (bitki hücre duvarı, kalın ve mumsu epidermis, trikomlar, dikenler) ve kimyasal savunma (ikincil metabolitlerin, proteinlerin ve sindirim enzimlerinin üretimi) olmak üzere iki türe ayrılır (Freeman and Beattie, 2008). Bu sistemler iki farklı bağışıklık tepkisiyle bağlantılıdır: patojenle ilişkili moleküler model (PAMP) ile tetiklenen bağışıklık (PTI; bazal direnç olarak da bilinir) ve efektörle tetiklenen bağışıklık (ETI; doğuştan gelen bağışıklık olarak da bilinir) (Chaudhary et al., 2022). PTI, patojen istilasını azaltmada ve bitki yaprağındaki endofitik yaprak mikrobiyotasının homeostazını korumada önemli bir rol oynar. İstila ve çoğalmayı kolaylaştırmak için, bakteriler, mantarlar ve nematodlar gibi birçok patojen, konak bağışıklığını baskılamak için, efektörler gibi virülansla ilişkili molekülleri bitki hücrelerine veya apoplasta iletir. Patojen virülansıyla mücadele etmek için bitkiler, efektörlerin doğrudan veya dolaylı olarak tanınması üzerine, ETI olarak bilinen ikinci ve genellikle daha güçlü bir bağışıklık sinyalini aktive eder (Yuan et al., 2021). ETI sinyalizasyonu, patojen efektörlerinin NLR'ler tarafından doğrudan veya dolaylı olarak tanınmasının ardından başlatılır ve ETI'nin aktivasyonu, artan direnç ve aşırı duyarlı yanıt ile sonuçlanır (Cui et al., 2015).

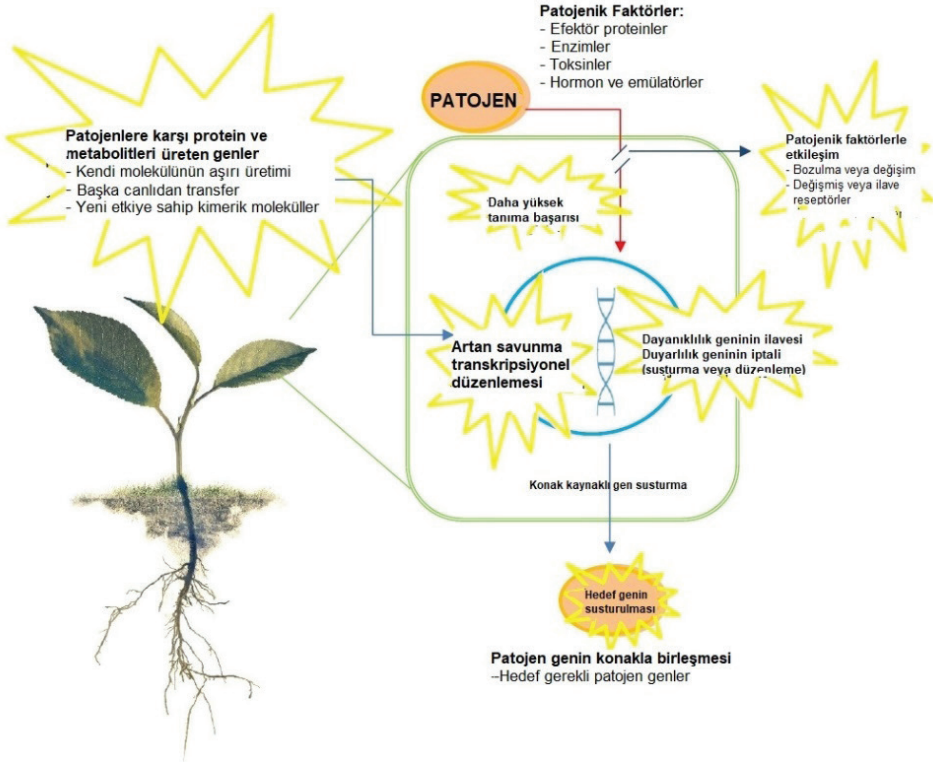
Dirençli Bitkilerin Geliştirilmesinde Modern Genetik Mühendisliği

Dirençli bitki çeşitleri; geleneksel ıslah yöntemleri ya da modern genetik mühendisliği ile elde edilebilmektedir. Geleneksel ıslah; sadece birbiriyle çiftleşebilen bitkiler arasında yapılabilmesi, genetik çaprazlamalar ve soy seçiminin aşırı emek ve zaman alıcı olması ve yöntemin yeterli genetik varyasyona sahip bitki popülasyonlarına bağımlılığı bakımından modern yöntemle göre daha kısıtlı olanaklara sahiptir. Ayrıca, hedeflenen direnç özelliği ile birlikte genellikle verim üzerinde istenmeyen etkileri olan başka birçok özellik de hedef bitkiye taşınmış olmaktadır. Bu nedenle, özellikle küresel iklim değişikliği çağında, sürekli değişen patojenlere ve artan gıda talebine ayak uydurmak geleneksel ıslah için zordur (Yin and Qiu, 2019; Gao, 2018).

Hastalığa dirençli bitki çeşitlerinin genetik mühendisliği yöntemleri ile geliştirilmesi hem sürdürülebilir tarım için etkili hem de çevre dostu bir yöntemdir. Genetik mühendisliği, rekombinant DNA (rDNA) olarak adlandırılan DNA'yı laboratuvarındaki bir organizmanın genomuna entegre etmek için moleküler biyoloji araçlarını kullanır. Entegre edilen rDNA aynı türden, aynı türün diğer çeşitlerinden, farklı türlerden ve hatta farklı bir alemde gelen organizmalardan gelebilir (Mackelprang and Lemaux,

2020). Bir organizma genetik materyalinin biyoteknoloji kullanılarak doğrudan değiştirilmesini ifade eden genetik mühendisliği; geleneksel ıslah yöntemlerine göre çeşitli avantajlara sahiptir. Bir ya da birden fazla genin bir bitkinin genomuna eklenmesini sağlayan bu teknik ile ilk kez 1996’da ticari olarak bitki yetiştirilmiştir (Mackelprang and Lemaux, 2020). Genetiđiyle oynanmış ilk meyve ürünü olan transgenik Flavır Savır™ domates’te pektin çözünürlüğünü tetikleyen bir genin regülasyonu ile meyve yumuşaması geciktirilmif ve böylece meyvenin raf ömrünün uzaması sağlanmıştı. Daha sonra; genetik mühendisliği ile geliştirilmif özelliklere sahip domates (*Solanum lycopersicum*), papaya (*Carica papaya* L.), biber (*Capsicum annuum*), erik (*Prunus domestica*), patlıcan (*Solanum melongena* L.), elma (*Malus domestica* Borkh.), kavun (*Cucumis melo* L.) ve ananas (*Ananas comosus* L. Merr.) gibi meyveler dünyanın farklı yerlerinde, insan gıdası veya hayvan yemi olarak, ticarileştirilmek üzere onay aldı (Lobato-Gómez et al., 2021).

Genetik mühendisliğinin mahsullerin iyileştirilmesi için hedefleri; a) tohum proteinlerini değiştirerek besin değerini artırmak, b) azot fiksasyonunu teşvik ederek azotlu gübrelerin kullanımını azaltmak, c) fotosentezi geliştirerek üretkenliği artırmak, d) mahsul kayıplarını ve üretim maliyetlerini azaltmak, e) stres toleransını geliştirerek çevre güvenliğini arttırmak ve f) bitkilerin haşerelere ve patojenlere karşı direncini geliştirmek olarak öngörölmüştü. Bu alandaki ilk başarılar çoğunlukla, büyük miktarlarda mahsul için herbisit veya böcek direncine odaklanan şirketlerce elde edildi. Bununla birlikte, kâr amacı gütmeyen küçük bir ekip, patojene dirençli ilk çok yıllık mahsulü geliştirdi ve ticarileştirdi. Bu ürün Hawaii’deki papaya endüstrisini kurtardığı kabul edilen “Papaya halkalı leke virüsüne (PRSV) dirençli papaya” idi (Pixley et al., 2019). Hastalığa karşı direnci olan ilk transgenik bitki çeyrek asır önce geliştirilmif olsa da günümüzde ticari olarak piyasada olan bu özelliğe sahip transgenik mahsul çeşidi son derece azdır. Bu ürünlerin yaygınlaşmasında sosyal ve politik engeller olsa bile; asıl sorun, bitki – patojen etkileşimlerinin, konak ve konakçı arasındaki silahlanma yarışından doğan, karmaşık bir biyolojiye sahip olmasıdır (Şekil 1) (Collinge and Sarrocco, 2022).



Şekil 1. Bitki-patojen etkileşimlerine genel bakış (Collinge and Sarrocco, 2022).

Patojenden Kaynaklanan Direnç ve RNAi Tekniği

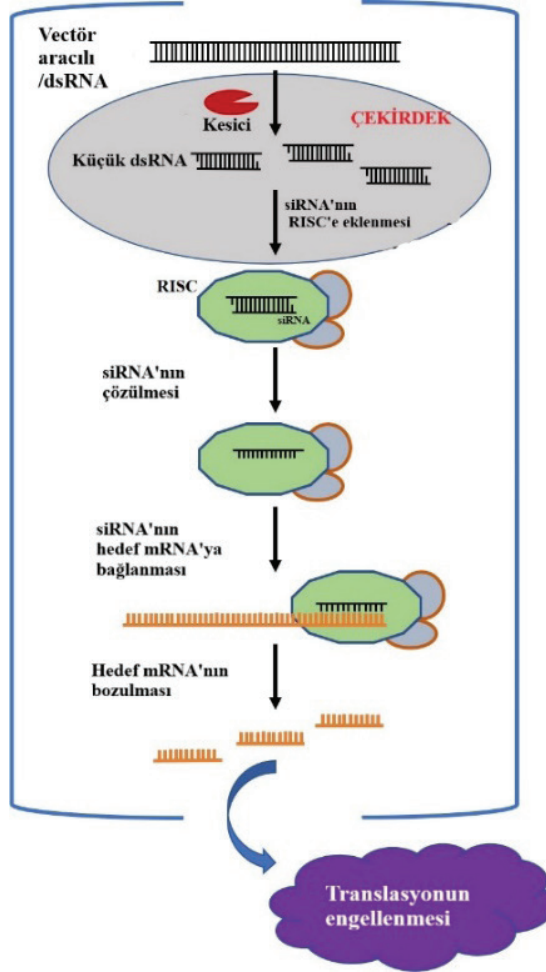
RNA'lar, gen ifadesinin düzenlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. RNA susturma mekanizmasının keşfiyle bitki patojenlerinin kontrolü için RNA'dan yararlanılmıştır. 20 yıldan uzun bir süre önce çift sarmallı RNA (dsRNA: double-strand RNA) kullanılarak gen ekspresyonunun susturulmasının ilk kez gösterilmesinden bu yana, tarımsal haşere yönetimi için RNA interferansı (RNAi) yöntemlerinin geliştirilmesinde çok sayıda ilerleme olmuştur. RNA susturma veya RNAi, transkripsiyonu baskılayarak veya diziyeye özgü RNA'nın bozulmasıyla transkript miktarını düzenleyen yenilikçi mekanizmalardır. RNAi; transkripsiyon, mRNA stabilitesi veya translasyon seviyelerinde gen ekspresyonunun sekansa özgü inhibisyonu ile sonuçlanan çeşitli RNA temelli süreçleri ifade eden epigenetik bir mekanizmadır (Mann et al., 2008; Saraswat et al., 2017). Keşfi tıp alanında Nobel Ödülü aldıktan sonra, ortaya çıkan RNAi aracılı sistemler, tarımsal mahsul korumadaki ve üretimindeki uygulamalarla tarım üzerinde potan-

siyel büyük etkiler göstermektedir (Zotti et al., 2018). Bu yaklaşım uygulamada ilk kez, bir vakuolar ATPaz ekspresyonunu inhibe eden ve böylece *Diabrotica virgifera virgifera* (batı mısır kök kurdu) beslenmesini azaltan dsRNA'yı ifade eden transgenik mısır bitkilerinde gösterilmiştir. 2017 yılında, *D. virgifera virgifera* Snf7 (*Sucrose non-fermenting 7*) genini hedef alan bir dsRNA ifade eden ilk transgenik mısır çeşidi olan Smartstax PRO, Amerika Birleşik Devletleri'nde ticari üretim için onaylanmıştır (Chung et al., 2021). Yöntem; daha sonra soya fasulyesi, buğday ve arpa gibi çeşitli mahsullerde, çeşitli besleyici olmayan faktörleri azaltarak veya lezzeti artırarak iyileştirme için de kullanılmıştır (Sharma et al., 2022). RNAi temelli stratejiler, özellikle bitki virüslerine karşı bitki mühendisliğinde sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin; genetiği değiştirilmiş soya fasulyesi hatları, bu teknoloji sayesinde, Potyvirus suşlarına karşı gelişmiş ve stabil direnç göstermiştir (Weinhold, 2018). Bitkileri enfekte eden virüslerin çoğu, genetik materyal olarak tek sarmallı RNA'ya sahiptir ve genomlarını bitki hücresi sitoplazmasında dsRNA ara ürünleri aracılığıyla çoğaltırlar. Bu nedenle, bitki virüslerine karşı direnç kazandırmak için kullanılacak kavramsal bir yaklaşım, bitkilerin belirli bir viral RNA'ya karşı aktif bir RNAi savunmasına sahip olacak şekilde, bitki bu virüs tarafından ele geçirilmeden önce programlanmasıdır. Daha sonra, bitki virüsle karşı karşıya kaldığında, zaten aktif olan RNAi, virüs çoğalmadan ve yerleşik hale gelmeden önce gelen viral RNA'yı tanyacak ve bozacaktır (Kuo and Falk, 2020).

Bitkilerin genetik olarak tasarımında genleri bitki hücrelerine doğal olarak aktaran ve taç hastalığına neden olan, *Agrobacterium tumefaciens* adlı toprak bakterisi kullanılabilir. *A. tumefaciens*, yaralı bir bitki hücresiyle karşılaştığında, bakteride bulunan Ti plazmidinin bir kısmı olan T-DNA'yı bitki hücresindeki kromozoma aktarır ve yerleştirir; melez bitki hücresi bu aşamadan sonra T-DNA üzerindeki genleri de ifade etmeye başlar (Lacroix and Citovsky, 2019). Yabani tip T-DNA, bitki hormonlarını kodlayan genler içerir; bu genlerin dönüştürülmüş hücrelerde ifade edilmesi, enfeksiyon bölgesinde gelişen safralarla sonuçlanır. Ancak Ti plazmid, safra oluşumuna yol açan genleri çıkarmak için genetik olarak tasarlanabilir (silahsızlandırılmış Ti plazmid) ve bunun yerine arzu edilen genleri içerecek ve ifade edecek şekilde değiştirilebilir; antiviral direnç için bu, viral RNA genomuna karşı RNAi aktivitesini indüklemek için tasarlanmış RNA'yı ifade edecek şekilde mühendislik anlamına gelir. *A. tumefaciens* bu genleri tek tek bitki hücrelerine aktarmak için kullanılabilir ve dönüştürülmüş tek tek bitki hücreleri, bütün bitkileri yeniden oluşturmak için in vitro olarak kültürlenebilir. Bitkinin her hücresi orijinal dönüştürülmüş hücreden geldiği için, tüm hücreler artık kromozomal DNA'larında transgeni içerecek ve nesiller boyunca stabil kalabilecektir (Kuo and Falk, 2020).

RNAi teknolojileri kullanılarak birçok virüse karşı dirençli transgenik bitki geliştirilirken; bu teknolojilerin bitki verimi üzerinde olumsuz bir etkisinin olup olmadığı üzerinde tartışmalar doğmuştur. Soya fasulyesinde virüse karşı direnç kazandırmak için tasarlanan farklı virüs yapılarının etkileri üzerine yapılan bir çalışmada olumsuz etkilere dair hiçbir kanıt bulunamamıştır (Zhang et al., 2014). Patates virüsü Y'ye dirençli patates ile yapılan benzer bir çalışmada yine benzer sonuçlara varılmıştır (Bravo-Almonacid et al., 2012). İnterferans yapan RNA'ları ifade eden transgenik bitkiler de diğer transgenik bitkiler gibi düzenlemelere tabidir, ancak RNAi ifade eden bitkilerde yeni bir protein üretilmediği ve RNAi'nin oldukça sekansa özgü etki şekli nedeniyle potansiyel olarak daha az güvenlik endişesi yaratması beklenmektedir (Mezzetti et al., 2020).

Transgenik bitkilerde esas olarak dsRNA oluşumu yoluyla transgen tarafından indüklenen transkripsiyon sonrası gen susturulması nedeniyle elde edilen direnç, RNA susturma olarak adlandırılır. RNA susturma, diğer genlerin ekspresyonunu etkilemeden maksimum doğrulukla gen ekspresyonunun aşağı regülasyonunu sağlayan bir mekanizmadır. Örneğin aflatoksin sentezine ve birikimine dahil olan beş genin susturulmasının yer fıstığında funguslara karşı direnç sağladığı gösterilmiştir (Arias et al., 2015). Direnç tam olarak RNA genomunu hedefler ve RNA aracılı direnç / RNAi olarak anılır. RNAi mekanizması, ilk olarak bitkilerde gösterilmiş ve bu süreçte çiçek pigmentasyonundan sorumlu kalkon sentaz geninin ek kopyalarının eklenmesi; sekans spesifik- hedefin ve endojen RNA'nın baskılanmasıyla sonuçlanmıştır. Daha sonra, çiçeklerde azaltılmış ya da ortadan kaldırılmış pigmentasyon sağlamak için transgenik hatlar geliştirilmiştir. RNAi, kendi kendini tamamlayan dsRNA'ya benzer ekspresyon vektörleri vererek bitkilerde indüklenebilir (Şekil 2) (Dandhi et al., 2021).

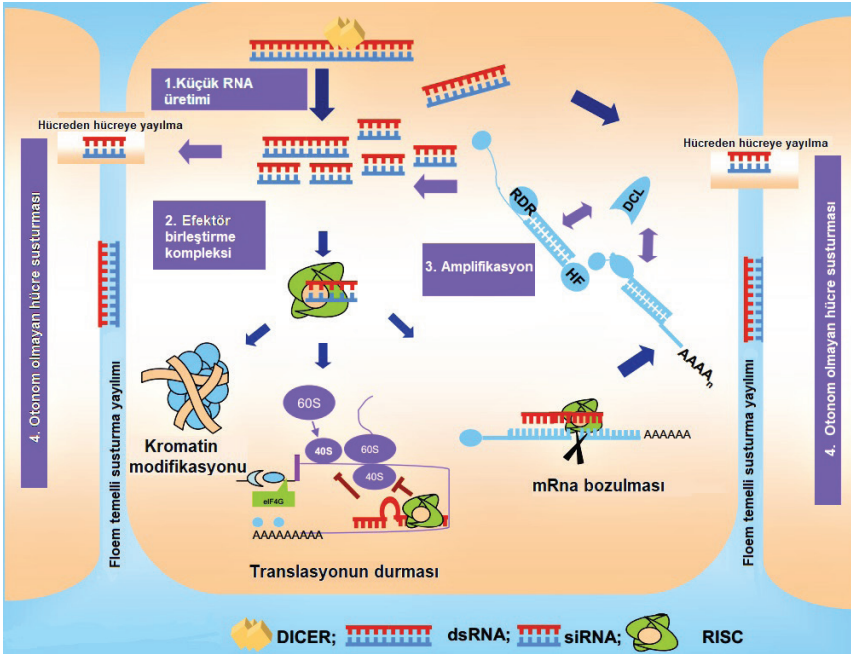


Şekil 2. Bitkilerde RNAi mekanizmasının şematik gösterimi: RISC (RNA ile indüklenen susturucu kompleks) (Dandhi et al., 2021).

Bitki biyoteknolojisi alanında RNAi, CRISPR/Cas gibi genom düzenleme teknolojilerine kıyasla çeşitli geliştirme için ıslahçılara ek fırsatlar sunan bazı benzersiz özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden biri, RNAi'nin dsRNA seçimine (uzunluk ve dizi) bağlı olarak tam bir nakavt yerine bir gen nakavt etkisine yol açabilmesidir (Mezzetti et al., 2020).

RNAi süreci gen ifadesini aşağı doğru düzenlemek için küçük RNA'ların (21-26 nükleotid) üretimini ve Argonaute protein (RISC molekül kompleksinin çekirdek yapısında yer alan proteinler) ailesinin bir veya daha fazla üyesini kullanır. RNAi, Dicer adı verilen ribonükleaz III benzeri bir enzim tarafından 21-24 nükleotidlik RNA dublekslerine işlenen dsRNA ara ürünlerinin etkisini tetikleyerek çalışır. Üretildikten sonra, bu küçük RNA molekülleri veya kısa interferans RNA'lar (siRNA'lar) RNA ile in-

düklenen susturma kompleksi veya RISC adı verilen çok alt birimli bir komplekse dahil edilir. RISC, diğer bileşenlerin yanı sıra bir siRNA ve bir endonükleaz tarafından oluşturulur. RISC içindeki siRNA'lar, tamamlayıcı mesajcı RNA'ların (mRNA'lar) bozulmasını hedeflemek için bir kılavuz görevi görür. Konak genomu, endojen gen susturmada sorumlu olan miRNA adı verilen küçük RNA'ları kodlar. Bitkilerde RNA susturmanın ilginç bir özelliği, belirli bir hücrede tetiklendiğinde, hareketli bir sinyalin üretilmesi ve tüm bitkiye yayılarak tüm bitkinin susturulmasına neden olmasıdır. siRNA molekülleri bitkinin damar sistemi boyunca taşınarak üretim noktasından bitkinin diğer kısımlarına kadar bitki içinde hareket edebilmektedir (Mezzetti et al., 2020). RNA susturma tetiklendikten sonra, hareketli sinyal molekülleri, dsRNA'ların sentezi veya bunların ikincil siRNA'lara bölünmesi yoluyla daha da artabilir (amplifikasyon). dsRNA'lar; RNA'ya bağlı RNA polimeraz (RDR) enziminin etkisiyle oluşturulur ve çoklu siRNA dublekslerini üretmek üzere Dicer-benzeri proteinler (DCL) tarafından defalarca işlenir (Şekil 3) (Mann et al., 2008; Rosa et al., 2018; Hung and Slotkin, 2021).



Şekil 3. Bitkilerde RNAi'nin basitleştirilmiş çalışma modeli. (1: Dicer ile 21-30 nükleotidlik küçük dubleks RNA'ların üretimi, 2: Kromatinin yeniden şekillenmesine, translasyonun durmasına ve mRNA'ların bozulmasına yol açan RISC etkör kompleksinin birleşmesi, 3: Daha fazla susturmayı sağlayacak yeni dsRNA kaynaklarının amplifikasyonu, 4: Susturmanın başladığı bölgelerin daha ötesinde otonom-olmayan susturma) (Mann et al., 2008).

Koruyucu sekonder metabolitlerin detoksifikasyonunda yer alan böcek genleri de RNA susturma için etkili adaylardır. Son örnekler, *Brassicaceae* familyası için karakteristik olan bir savunma metabolitleri sınıfı olan glukozinolatların detoksifiye edilmesinin önemini göstermektedir. *Arabidopsis*'te dsRNA'nın ifadesi ile bir glutasyon S-transferazını kodlayan *GSTs5* geninin yıkılması, *Bemisia tabaci*'yi glukozinolatlara karşı daha duyarlı hale getirmiştir (Eakteiman et al., 2018). *Plutella xylostella* (elmas sırtlı güve) sülfatazları, glukozinolatların desülfasyonuna yol açarak bitki mirosinaz enzimleri tarafından aktivasyonlarını önlemektedir. *Arabidopsis thaliana*'da tütün çingirak virüsü kullanılarak virüs kaynaklı gen susturma, *P. xylostella* larvalarında sülfataz gen ekspresyonunu azaltmış, larval hemolenfte glukozinolatların toksik izotiyosiyanat parçalanma ürünlerinin seviyelerini arttırmış ve larva büyüme hızını azaltmıştır (Sun et al., 2018). Floemle beslenen böcekler, temel işlevleri, özellikle amino asitlerin ve vitaminlerin biyosentezini sağlayan endosimbiont bakterilere sahiptir. Simbiyozla ilişkili böcek genlerini hedefleyen dsRNA'ları ifade eden transgenik bitkiler üzerinde hiçbir çalışma olmamasına rağmen, simbiyozla ilişkili iki gen olan *AmiD* ve *LdcA1*'i hedefleyen dsRNA'nın *Acyrtosiphon pisum* (bezelye yaprak biti) yapay diyete eklenmesi; hem *Buchnera aphidicola* simbiyontlarının bolluğunu hem de afit büyümesini önemli ölçüde azaltmıştır (Chung et al., 2018).

Bitki Patojenlerine Karşı CRISPR-Cas Tekniği

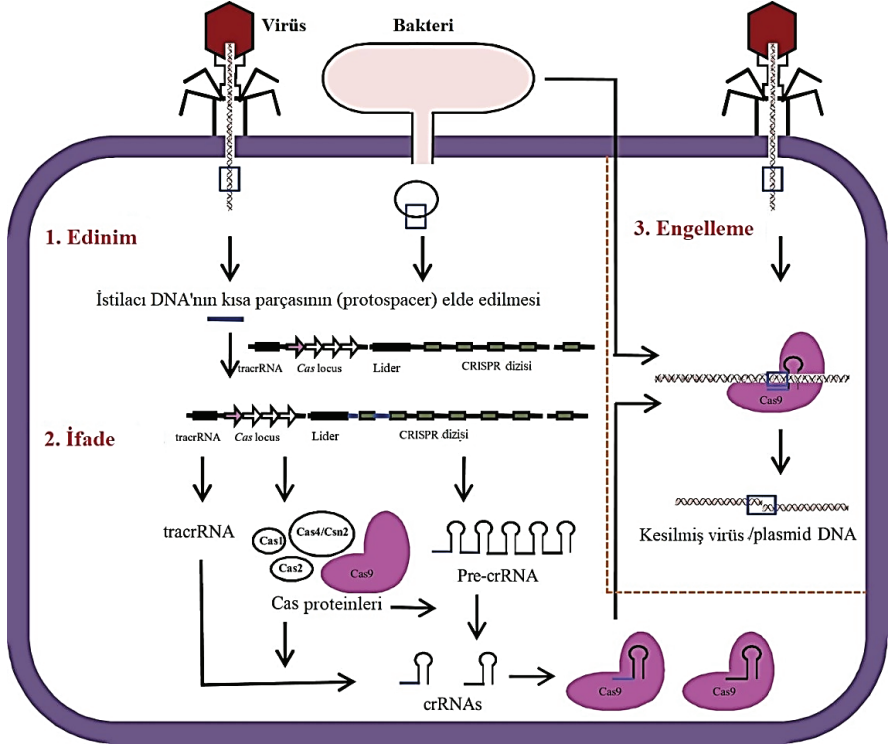
Bitki virüsleri, enfeksiyon/yaşam döngüsünü tamamlamak için büyük ölçüde konakçalarına dayanan, minimum kodlama kapasitesine sahip, zorunlu hücre içi parazitlerin bir sınıfıdır. Diğer patojenlerin aksine, enfekte edici bir bitki virüsünü konak hücreleri rahatsız etmeden ortadan kaldıracak etkili antibiyotikler veya diğer kimyasallar hemen hemen yoktur. Bu nedenle moleküler bitki ıslahı, tarımsal üretimde bitki virüslerini önlemek ve kontrol etmek için virüs bağışıklığı, virüs direnci veya virüse toleranslı bitkiler oluşturmada çok önemli bir rol oynar (Cao et al., 2020). Son yıllarda, bakteriyel ya da arkeal olarak türetilen kümelenmiş düzenli aralıklı kısa palindromik tekrarlar (CRISPR)- CRISPR-ilişkili (Cas) teknolojisinin istilacı bitki virüslerine karşı direnç mühendisliği için umut verici bir yaklaşım olduğu kanıtlanmıştır (Dong and Ronald, 2019; Varanda et al., 2021). CRISPR-Cas, 2013 yılında bitkilerdeki ilk uygulamalarından bu yana, çeşitli ürün türlerinde genom düzenleme için kullanılmış ve bunların birçoğuna değerli tarımsal özellikler kazandırmıştır (Zhu et al., 2020). CRISPR-Cas, birçok bakteri türünün (%48) genomunda antiviral savunma mekanizması olarak görev yapan bu sistemin çoğu arke (%90)'de de mevcut olduğu bildirilmiştir. Hedefi, istilacı patojenlerin DNA veya RNA'sı olan bu CRISPR-Cas sistemindeki Cas proteinleri, RNaz ve/veya

DNaz aktivitesine sahiptir (Kumar and Jain, 2015). Cas1 ve Cas2 proteinleri, CRISPR-Cas sisteminin tüm varyantlarında bulunur. Cas1 proteini, dizi özgünlüğü olmayan metale bağımlı bir DNazdır ve aralayıcı (spacer) DNA'nın CRISPR lokusuna entegrasyonunda rol oynar. Cas2 proteini de metale bağımlı bir endonükleazdır, ancak bu proteinin kesin rolü hala belirsizdir. Cas3 proteini, çift sarmallı oligonükleotitler üzerinde metale bağlı nükleaz aktivitesine sahip bir domain içerir. Cas4, aralayıcı ediniminde yer alan bir nükleazdır. Cas5 ve Cas6, en az bir RNA tanıma motifi ve karakteristik glisin açısından zengin bir döngü içeren, tekrarlarla ilişkili gizemli proteinler (RAMP'ler) olarak adlandırılan Cas proteinlerini temsil eder (Makarova et al., 2006).

Tanımlanan üç farklı CRISPR-Cas sistemi ortak olarak Cas1 ve Cas2 proteinlerine sahiptir (Makarova et al, 2011). Bununla birlikte, crRNA (CRISPR RNA)'ya bağlanan ve bölünmeyi tetikleyen efektör kompleksi, farklı CRISPR-Cas sistemleri arasında farklılık gösterir. Tip I sistem hem bakterilerde hem de arkelerde bulunur ve Cas3 proteininin endonükleaz aktivitesinin yardımıyla DNA dizilerini hedefler. Tip II CRISPR-Cas sistemi yalnızca bakterilerde rapor edilmiştir. Bu sistem Cas1 ve Cas2'ye ek olarak, çok işlevli bir imza proteini olarak Cas9'u içerir (Kumar and Jain, 2015).

Geçtiğimiz birkaç yılda, CRISPR/Cas sistem aracılı gen düzenleme teknolojisi, virüslere ve diğer patojenlere karşı direnç oluşturmak için bitki genetik mühendisliğine hızla dahil edilmiştir (Cao et al., 2020). Bu süreçte, RNA güdümlü bir nükleaz (genellikle bir Cas proteini), substrat viral DNA veya RNA üzerindeki belirli hedef bölgelerde bölünerek bunların parçalanmasına yol açar. Bölünmenin özgüllüğü, CRISPR RNA ile hedef DNA veya RNA molekülleri arasındaki baz tamamlayıcılığı tarafından yönetilir. Sekansa özgü nükleaz aktivitesine sahip bir dizi Cas proteini tanımlanmıştır (Wu et al., 2018).

Tip II CRISPR-Cas sistemi patojenlerin genetik materyalini üç aşamalı bir süreçle tanıyıp hedefler. İlk aşama olan *edinim*, yabancı DNA'nın CRISPR lokusu içinde spacer olarak tanınmasını ve entegrasyonunu içerir. Protospacer, genel olarak, DNA parçasının (spacer) alınması için bir tanıma motifi olarak işlev gören korunmuş nükleotidlerin (PAM'ler) kısa bir uzantısını (2-5 baz çifti) içerir. Yaklaşık 30 baz çiftinden oluşan tek bir spacer kopyasının eklenmesi CRISPR dizisinin lider tarafında gerçekleşir ve bunu duplikasyonu izler. CRISPR-Cas sisteminin ikinci aşaması olan *ifade* aşamasında, uzun ön-CRISPR RNA (pre-crRNA) CRISPR lokusundan aktif olarak kopyalanır ve spesifik Cas proteinlerinin yanı sıra trans-aktive edici crRNA (tracrRNA) yardımıyla crRNA'lara işlenir. Üçüncü aşama olan *engelleme*'de, yabancı genetik elementin belirli bir dizisi hedeflenir ve parçalanır. CrRNA, Cas9 proteinini virüslerin ve plazmidlerin DNA'sının tamamlayıcı hedef bölgesine bölünmesi için yönlendirir (Şekil 4) (Kumar and Jain, 2015).

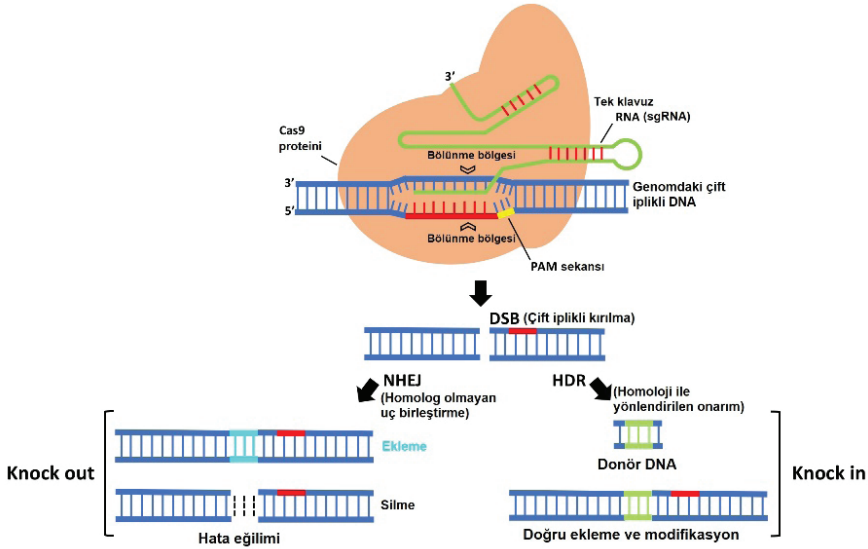


Şekil 4. Patojen saldırısına karşı koruma sağlayan bakteriyel CRISPR-Cas sisteminin diyagramatik gösterimi. CRISPR-Cas sistemi, istilacı patojenlerin genetik materyalini edinim, ifade ve engelleme olmak üzere üç aşamalı süreç yoluyla tanıyıp hedefler (Kumar and Jain, 2015).

Bitkilerde CRISPR/Cas9'un ilk adımları, tek bir RNA kimerasını (sgRNA), CRISPR için gerekli iki kodlanmayan RNA'yı, crRNA ve tracrRNA'yı içerir. crRNA, genomik tamamlayıcı bölgedir, yani Cas için hedeftir (kullanıcı tarafından tanımlanan programlanabilir kısım) ve tracrRNA, Cas'ı bağlamak için kök döngü yapısını sağlayan RNA dizisidir. Bu, CRISPR/Cas9 kullanarak gen düzenlemeyi basitleştirmiştir; artık aynı hücreye sgRNA ve Cas proteini olmak üzere iki bileşen eklemek mümkün olmaktadır (Varanda et al., 2021).

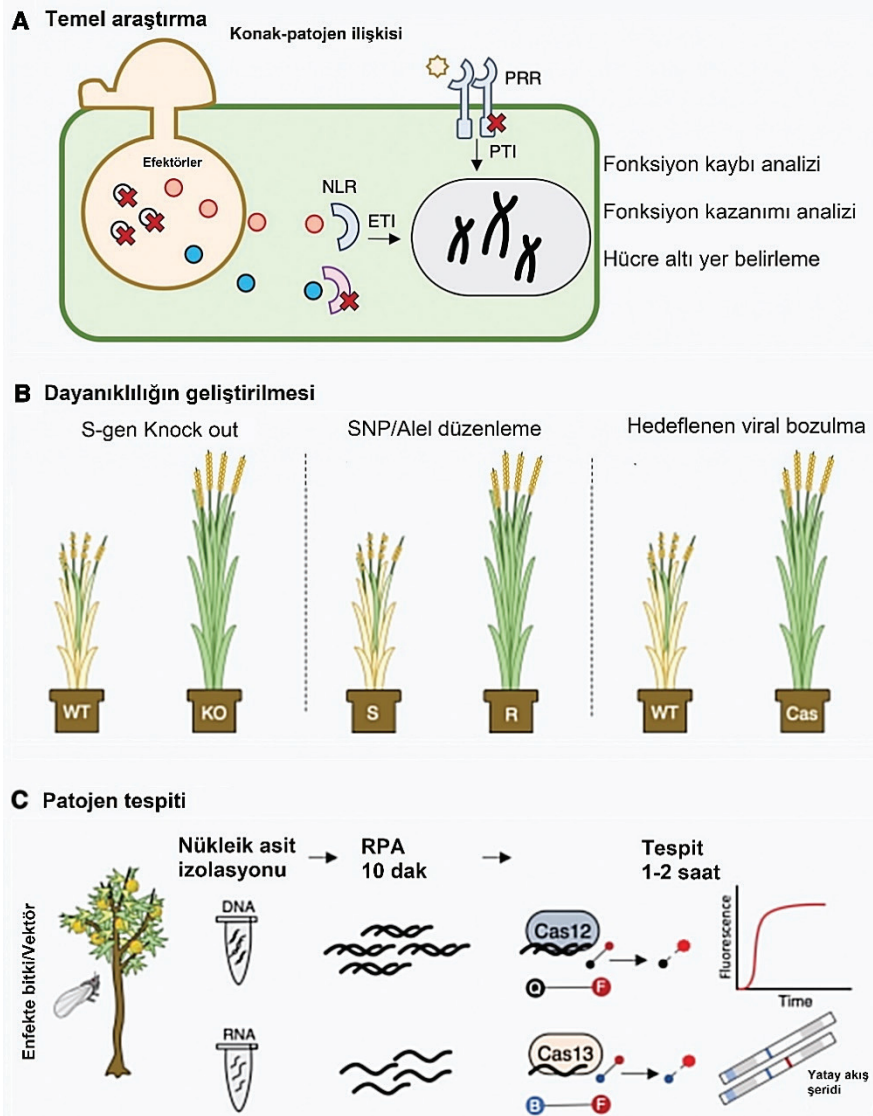
Bitkilerde CRISPR/Cas9 aracılı genetik mühendisliği sisteminde (Şekil 5), ilk olarak Cas9 sgRNA'ya bağlanarak katalitik olarak aktif hale gelen ve RNA güdümlü DNA endonükleaz Cas9'u hedefe yönlendiren Cas9-sgRNA dubleksini oluşturur. Hedefin tanınması ve bölünmesi için, Cas9 türüne bağlı olarak farklılık gösteren hedef dizinin 3' ucunun 3-4 nükleotid aşağısında konumlandırılmış bir PAM (Protospacer Adjacent Motif) bulunması gereklidir. PAM sekansı Cas9-sgRNA kompleksi tarafından ta-

nındığında ve sgRNA içindeki crRNA kısmı Watson-Crick baz eşleşmesi yoluyla genomik DNA'ya bağlandığında, PAM'ın üç baz yukarıdaki her iki DNA ipliğini de keserek hedef bölgede diziyeye özgü kör uçlu çift iplikli kırılmalar (DSB'ler) oluşturur. DNA'da bir DSB oluştuğunda, konak hücre bunu hataya eğilimli homolog olmayan uç birleştirme (NHEJ) ve homoloji ile yönlendirilen onarım (HDR) gibi evrimsel olarak korunmuş DNA yolları aracılığıyla onarır. NHEJ, hedef bölgede, protein kodlama bölgesi içindeyse, gen ifadesini ortadan kaldıran bir çerçeve kayması mutasyonuna neden olabilen ve gen **"Knock out"**a yol açan eklemeler veya silmeler oluşturur. HDR, DSB onarımı için daha kesin bir yöntemdir; sgRNA ve Cas'ın yanı sıra, hedef bölge dizisinin her bir sınırına homolog uçlara sahip bir donör onarım şablonu gerektirir. Bir onarım şablonu sağlandığında, HDR kırılma bölgesinde yeni dizilerin ortaya çıkmasına neden olur ve bir **"Knock in"** meydana gelir (Yang et al., 2020). İstenilen mutasyonları ve genomik değişimi üretmek için, DSB'ler HDR yolu ile onarılmalıdır (Varanda et al., 2021). Aslında bitkiler de dahil olmak üzere yüksek ökaryotlar DSB'leri ağırlıklı olarak NHEJ yolu ile onarırken, birçok mantar NHEJ onarım sürecini takip etmeme eğilimindedir. Bazı mantarların DSB onarımı için büyük ölçüde HDR'ye dayandığı, diğer mantarların ise hem NHEJ hem de HDR yeteneğine sahip olduğu gösterilmiştir (Vyas et al., 2018).



Şekil 5. Bitkilerde CRISPR/Cas9 aracılı genetik mühendisliği mekanizması (Varanda et al., 2021).

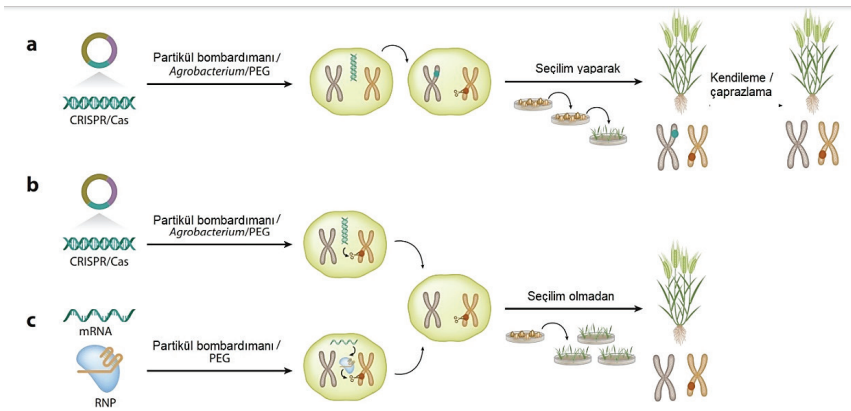
CRISPR/Cas bitki patolojisi ve hastalık teşhisindeki temel kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir. (a) Konakçı-patojen etkileşimlerinin temel araştırmaları için, (b) Bitkilerde hastalık direncinin geliştirilmesi için c) Patojen tespiti için (Şekil 6) (Wheatley and Yang, 2021).



Şekil 6. Bitki hastalıklarının teşhis ve tedavisinde CRISPR/Cas'ın başlıca kullanımları (Wheatley and Yang, 2021).

Geleneksel DNA transformasyon yöntemleri temelinde, CRISPR/Cas DNA'sı *Agrobacterium* aracılı transformasyon veya parçacık bombardımanı ile alıcı hücelere iletilir ve bir işaretleyici gen seçilerek DNA bitki genomuna entegre edilir ve genom düzenlemesini sağlamak için ifade edilir (Şekil 7a). Bu strateji çoğu bitki genomu düzenleme türü için kullanılmıştır. Ancak CRISPR yapıları ve işaretleyici genler genoma entegre olabilir ve hedef dışı değişikliklerin artması gibi ticari uygulamaları sınırlayabilecek yan etkilere neden olabilir (Chen et al., 2019). CRISPR reaktiflerinin

geçici gen ekspresyonu, transgensiz düzenlemeyi başarmak için alternatif bir yöntemdir (Şekil 7b). Bu yöntemde, herbisitler veya antibiyotikler kullanılarak yapılan seçim adımları ortadan kaldırılır, böylece rejenere edilmiş bitkilerin bir kısmı genoma herhangi bir yabancı DNA entegrasyonu olmadan düzenlenir. Bu yöntem ilk olarak buğdayda rapor edilmiştir. Bir CRISPR/Cas9 plazmidi, partikül bombardımanı yoluyla olgunlaşmamış buğday embriyolarına verilmiş ve ortaya çıkan bitkiler, doku kültürü yoluyla rejenerasyon için gereken süreyi 3-4 hafta azaltarak, seçim baskısı olmadan rejenere edilmiştir (Zhang et al., 2016). CRISPR/Cas DNA'nın geçici ifadesi, transgen entegrasyonunu azaltmada başarılı olsa da bu riski tamamen ortadan kaldırmaz; ayrıca, bozulmuş DNA fragmentleri bitki genomuna hala entegre edilebilir. Bu nedenle Cas9 ve sgRNA'ların in vitro transkriptleri partikül bombardımanı ile olgunlaşmamış buğday embriyolarına aktarılmış ve DNA'sız düzenlenmiş buğday üretilmiştir (Şekil 7c). Son yöntemde düzenleme verimliliği, belki de RNA'nın kararsızlığından dolayı, DNA ekspresyon sistemini kullanmaktan daha düşüktü. Ancak bu RNA aktarma yönteminde hedef dışı etkiler azaltılmıştır. Cas9/sgRNA'nın plazmit ve haberci RNA (mRNA) bazlı ekspresyonunun dezavantajlarından kaçınmak için, bitkilerde Cas9/sgRNA RNP (Ribonükleoprotein)'leri kullanılarak verimli bir DNA içermeyen genom düzenleme sistemi geliştirilmiştir (Şekil 7c). Cas9/sgRNA RNP'leri, plazmit bazlı ekspresyon sistemleri kadar verimlidir ve hücrelerde düşük hedef dışı frekansa sahiptir. RNP, hücre transkripsiyonuna ve translasyon mekanizmasına ihtiyaç duymadan aktarımdan hemen sonra hedefi parçalayabildiğinden ve daha sonra hızlı bir şekilde bozduğundan, DNA bazlı ekspresyondan daha düşük hedef dışı bölünme eğilimine sahiptir (Chen et al., 2019).



Şekil 7. CRISPR/Cas sistemlerini bitkilere teslimat için stratejileri. (a) Herbisit veya antibiyotik seçimi ile birlikte CRISPR/Cas DNA için geleneksel dağıtım yöntemleri. Transgen içermeyen bitkiler, kendi kendine ve çaprazlama yoluyla

genetik ayırım yoluyla elde edilebilir. (b, c) Transgensiz ve DNA'sız genom düzenlemesi için geçici dağıtım sistemleri. CRISPR reaktifleri arasında DNA, mRNA ve RNP bulunur. Geçici ifadeden sonra, CRISPR/Cas DNA, mRNA veya RNP bozulur ve düzenlenen bitkiler seçim baskısı olmadan yeniden oluşturulabilir. Kısaltmalar: mRNA, haberci RNA; PEG, polietilen glikol; RNP, ribonükleoprotein (Chen et al., 2019).

Bitki hastalık direncinin geliştirilmesinde CRISPR/Cas'ın en umut vaat edici kullanım şekillerinden biri hedeflenmiş mutagenез yoluyla duyarlılık genlerinin (S genleri) veya bitki bağışıklığının negatif düzenleyicilerinin iptal edilmesi aracılığıyla başarılıdır (Zaidi et al., 2018).

APATELA2/ERF süper ailesine dahil olan faktörler streslere karşı çeltikte önemli rol oynarlar. Bu ailenin üyesi olan *OsERF922*'nin ifadesi çeltik yanığına sebep olan *Magnaporthe oryzae* tarafından da indüklenir. RNAi yöntemi ile bu faktörün işlevsiz bırakılmasının hastalığa karşı direnci arttırdığı görülmüştür. Devam eden çalışmalarda CRISPR/Cas tekniğı ile *OsERF922* Knock out mutantları üretilerek pirinç yanığına direnci arttırılmış pirinçler üretilmiştir (Liu et al., 2012; Wang et al., 2016).

Sonuç

Bitkilerde hastalıklara ve farklı streslere karşı direnci ve verimi arttırmak için hedefe yönelik genetik modifikasyonlarda, RNAi aracılı gen düzenlemesi ve bölgeye özgü nükleaz temelli CRISPR/Cas sistemi önemli ilerlemeler sağlamıştır. Bu iki yöntem, genetik varyasyonlar oluşturmak ve ıslah çabalarını hızlandırmak için genom dizilerinin hassas ve hedefli modifikasyonu için güçlü birer araç olarak ortaya çıkmışlardır. Bu derlemede RNAi ve CRISPR/Cas temelli yaklaşımların bitki patojen ve hastalıklarına karşı kullanımları özetlenmiştir. Her ne kadar gelişme aşamasında bulunsalarda ve kullanımlarına dair endişeler olsa da bu teknolojilerin dünyadaki gıda güvenliği ve gıda teminine olumlu katkılar yapabileceğı ortadadır.

KAYNAKÇA

- Andersen, E. J., Ali, S., Byamukama, E., Yen, Y., & Nepal, M. P. (2018). Disease resistance mechanisms in plants. *Genes*, 9(7), 339.
- Arias, R. S., Dang, P. M., & Sobolev, V. S. (2015). RNAi-mediated control of aflatoxins in peanut: method to analyze mycotoxin production and transgene expression in the peanut/*Aspergillus* pathosystem. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (106), e53398.
- Boutrot, F., & Zipfel, C. (2017). Function, discovery, and exploitation of plant pattern recognition receptors for broad-spectrum disease resistance. *Annual review of phytopathology*, 55, 257-286.
- Bravo-Almonacid, F., Rudoy, V., Welin, B., Segretin, M. E., Bedogni, M. C., Stowicz, F., Criscuolo, M., Foti, M., Gomez, M., López, M., Serino, G., Cabral, S., Santos, C. D., Huarte, M., & Mentaberry, A. (2012). Field testing, gene flow assessment and pre-commercial studies on transgenic *Solanum tuberosum* spp. *tuberosum* (cv. Spunta) selected for PVY resistance in Argentina. *Transgenic research*, 21(5), 967-982.
- Cao, Y., Zhou, H., Zhou, X., & Li, F. (2020). Control of plant viruses by CRISPR/Cas system-mediated adaptive immunity. *Frontiers in Microbiology*, 11, 2613.
- Chaudhary, A., Teotia, S., & Singh, D. (2022). Tools for engineering resistance against pathogens in plants. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 1-30.
- Chen, K., Wang, Y., Zhang, R., Zhang, H., & Gao, C. (2019). CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture. *Annual Review of Plant Biology*, 70(1), 667-697.
- Chung, S. H., Feng, H., & Jander, G. (2021). Engineering pest tolerance through plant-mediated RNA interference. *Current opinion in plant biology*, 60, 102029.
- Chung, S. H., Jing, X., Luo, Y., & Douglas, A. E. (2018). Targeting symbiosis-related insect genes by RNAi in the pea aphid-*Buchnera* symbiosis. *Insect biochemistry and molecular biology*, 95, 55-63.
- Collinge, D. B., & Sarrocco, S. (2022). Transgenic approaches for plant disease control: status and prospects 2021. *Plant pathology*, 71(1), 207-225.
- Cui, H., Tsuda, K., & Parker, J. E. (2015). Effector-triggered immunity: from pathogen perception to robust defense. *Annual Review of Plant Biology*, 66(487), 10-1146.
- Dong, O. X., & Ronald, P. C. (2019). Genetic engineering for disease resistance in plants: recent progress and future perspectives. *Plant physiology*, 180(1), 26-38.
- Eakteiman, G., Moses-Koch, R., Moshitzky, P., Mestre-Rincon, N., Vassão, D. G., Luck, K., Sertchook, R., Malka, O., & Morin, S. (2018). Targeting detoxification genes by phloem-mediated RNAi: a new approach for controlling phloem-feeding insect pests. *Insect biochemistry and molecular biology*,

100, 10-21.

- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO (2018). The state of food security and nutrition in the world 2018: building climate resilience for food security and nutrition. Food & Agriculture Org.
- Freeman, B. C., & Beattie, G. A. (2008). An overview of plant defenses against pathogens and herbivores. *Plant health instructor*, 1-12.
- Gao, C. (2018). The future of CRISPR technologies in agriculture. *Nature reviews molecular cell biology*, 19(5), 275-276.
- Hung, Y. H., & Slotkin, R. K. (2021). The initiation of RNA interference (RNAi) in plants. *Current opinion in plant biology*, 61, 102014.
- Jones, J. D., Vance, R. E., & Dangl, J. L. (2016). Intracellular innate immune surveillance devices in plants and animals. *Science*, 354(6316), aaf6395.
- Kumar, V., & Jain, M. (2015). The CRISPR–Cas system for plant genome editing: advances and opportunities. *Journal of experimental botany*, 66(1), 47-57.
- Kuo, Y. W., & Falk, B. W. (2020). RNA interference approaches for plant disease control. *BioTechniques*, 69(6), 469-477.
- Lacroix, B., & Citovsky, V. (2019). Pathways of DNA transfer to plants from *Agrobacterium tumefaciens* and related bacterial species. *Annual review of phytopathology*, 57, 231.
- Liu, D., Chen, X., Liu, J., Ye, J., & Guo, Z. (2012). The rice ERF transcription factor OsERF922 negatively regulates resistance to *Magnaporthe oryzae* and salt tolerance. *Journal of experimental botany*, 63(10), 3899-3911.
- Lobato-Gómez, M., Hewitt, S., Capell, T., Christou, P., Dhingra, A., & Girón-Calva, P. S. (2021). Transgenic and genome-edited fruits: background, constraints, benefits, and commercial opportunities. *Horticulture research*, 8(166).
- Mackelprang, R., & Lemaux, P. G. (2020). Genetic engineering and editing of plants: an analysis of new and persisting questions. *Annual review of plant biology*, 71, 659-687.
- Makarova, K. S., Grishin, N. V., Shabalina, S. A., Wolf, Y. I., & Koonin, E. V. (2006). A putative RNA-interference-based immune system in prokaryotes: computational analysis of the predicted enzymatic machinery, functional analogies with eukaryotic RNAi, and hypothetical mechanisms of action. *Biology direct*, 1(1), 1-26.
- Makarova, K. S., Haft, D. H., Barrangou, R., Brouns, S. J., Charpentier, E., Horvath, P., Moineau, S., Mojica, F. J. M., Wolf, Y. I., Yakunin, A. F., van der Oost, J., & Koonin, E. V. (2011). Evolution and classification of the CRISPR–Cas systems. *Nature reviews microbiology*, 9(6), 467-477.
- Mann, S. K., Kashyap, P. L., Sanghera, G. S., Singh, G., & Singh, S. (2008). RNA interference: an eco-friendly tool for plant disease management. *Transgenic plant journal*, 2(2), 110-126.
- Maqbool, A., Saitoh, H., Franceschetti, M., Stevenson, C. E. M., Uemura, A., Kanzaki, H., Kamoun, S., Terauchi, R., & Banfield, M. J. (2015). Structural basis of pathogen recognition by an integrated HMA domain in a plant NLR immune receptor. *Elife*, 4, e08709.

- Mezzetti, B., Smagghe, G., Arpaia, S., Christiaens, O., Dietz-Pfeilstetter, A., Jones, H., Kostov, K., Sabbadini, S., Opsahl-Sorteberg, H. G., Ventura, V., Taning, C. N. T., & Sweet, J. (2020). RNAi: What is its position in agriculture?. *Journal of pest science*, 93(4), 1125-1130.
- Pagán, I., & García-Arenal, F. (2018). Tolerance to plant pathogens: theory and experimental evidence. *International journal of molecular sciences*, 19(3), 810.
- Pixley, K. V., Falck-Zepeda, J. B., Giller, K. E., Glenna, L. L., Gould, F., Mal-lory-Smith, C. A., Stelly, D. M., & Stewart Jr, C. N. (2019). Genome editing, gene drives, and synthetic biology: will they contribute to disease-resistant crops, and who will benefit?. *Annual review of phytopathology*, 57, 165-188.
- Rosa, C., Kuo, Y. W., Wuriyangan, H., & Falk, B. W. (2018). RNA interference mechanisms and applications in plant pathology. *Annual review of phytopathology*, 56, 581-610.
- Saraswat, S., Yadav, A. K., Sirohi, P., & Singh, N. K. (2017). Role of epigenetics in crop improvement: water and heat stress. *Journal of plant biology*, 60(3), 231-240.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature ecology & evolution*, 3(3), 430-439.
- Sharma, S., Chauhan, A., Dobbal, S., & Kumar, R. (2022). Biology of plants coping stresses: epigenetic modifications and genetic engineering. *South African journal of botany*, 144, 270-283.
- Sun, R., Jiang, X., Reichelt, M., Gershenzon, J., Pandit, S. S., & Vassão, D. G. (2019). Tritrophic metabolism of plant chemical defenses and its effects on herbivore and predator performance. *ELife*, 8, e51029.
- United Nations (2017). World population prospects: the 2017 revision, key findings and advance tables. Working paper No. ESA/P/WP/248.
- Van Esse, H. P., Reuber, T. L., & van der Does, D. (2020). Genetic modification to improve disease resistance in crops. *New phytologist*, 225(1), 70-86.
- Varanda, C. M., Félix, M. D. R., Campos, M. D., Patanita, M., & Materatski, P. (2021). Plant viruses: from targets to tools for CRISPR. *Viruses*, 13(1), 141.
- Vyas, V. K., Bushkin, G. G., Bernstein, D. A., Getz, M. A., Sewastianik, M., Bar-rasa, M. I., Bartel, D. P., & Fink, G. R. (2018). New CRISPR mutagenesis strategies reveal variation in repair mechanisms among fungi. *MSphere*, 3(2), e00154-18.
- Wang, F., Wang, C., Liu, P., Lei, C., Hao, W., Gao, Y., Liu, Y. G., & Zhao, K. (2016). Enhanced rice blast resistance by CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the ERF transcription factor gene OsERF922. *PloS one*, 11(4), e0154027.
- Weinhold, A. (2018). Transgenerational stress-adaption: an opportunity for ecological epigenetics. *Plant cell reports*, 37(1), 3-9.

- Wheatley, M. S., & Yang, Y. (2021). Versatile applications of the CRISPR/Cas toolkit in plant pathology and disease management. *Phytopathology®*, 111(7), 1080-1090.
- Wu, C. H., Abd-El-Haliem, A., Bozkurt, T. O., Belhaj, K., Terauchi, R., Vossen, J. H., & Kamoun, S. (2017). NLR network mediates immunity to diverse plant pathogens. *Proceedings of the national academy of sciences*, 114(30), 8113-8118.
- Wu, W. Y., Lebbink, J. H., Kanaar, R., Geijsen, N., & Van Der Oost, J. (2018). Genome editing by natural and engineered CRISPR-associated nucleases. *Nature chemical biology*, 14(7), 642-651.
- Yang, H., Ren, S., Yu, S., Pan, H., Li, T., Ge, S., Zhang, J., & Xia, N. (2020). Methods favoring homology-directed repair choice in response to CRISPR/Cas9 induced-double strand breaks. *International journal of molecular sciences*, 21(18), 6461.
- Yin, K., & Qiu, J. L. (2019). Genome editing for plant disease resistance: applications and perspectives. *Philosophical transactions of the royal society B*, 374(1767), 20180322.
- Yuan, M., Ngou, B. P. M., Ding, P., & Xin, X. F. (2021). PTI-ETI crosstalk: an integrative view of plant immunity. *Current opinion in plant biology*, 62, 102030.
- Zaidi, S. S. E. A., Mukhtar, M. S., & Mansoor, S. (2018). Genome editing: targeting susceptibility genes for plant disease resistance. *Trends in biotechnology*, 36(9), 898-906.
- Zhang, X., Zhao, P., Wu, K., Zhang, Y., Peng, M., & Liu, Z. (2014). Compositional equivalency of RNAi-mediated virus-resistant transgenic soybean and its nontransgenic counterpart. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62, 4475-4479.
- Zhang, Y., Liang, Z., Zong, Y., Wang, Y., Liu, J., Chen, K., Qui, J. L., & Gao, C. (2016). Efficient and transgene-free genome editing in wheat through transient expression of CRISPR/Cas9 DNA or RNA. *Nature communications*, 7(1), 1-8.
- Zhu, H., Li, C., & Gao, C. (2020). Applications of CRISPR-Cas in agriculture and plant biotechnology. *Nature reviews molecular cell biology*, 21(11), 661-677.
- Zotti, M., Dos Santos, E. A., Cagliari, D., Christiaens, O., Taning, C. N. T., & Smaghe, G. (2018). RNA interference technology in crop protection against arthropod pests, pathogens and nematodes. *Pest management science*, 74(6), 1239-1250.

“

Bölüm 7

ZOONOTİK HASTALIKLAR

Adile Akpınar¹

¹ Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü 27310
Şehitkamil. Gaziantep, aozdemir@gantep.edu.tr

”

Giriş

İnsanoğlu doğası gereği hayvanlarla iç içe belirli bir ekosistemde yaşamak zorundadır. Bu nedenle sürekli hayvanlarla ve doğa ile temas halindedir. Hayvanlar ile temas, yanında pek çok sorunları da getirmektedir, bunların başında hayvansal kaynaklı enfeksiyonlar gelmektedir. Ki özellikle pandemiye neden olan Corona virüs ve yaklaşık bir yıldır pek çok ülkede gözlenen maymun (Monkeypox) çiçeği hastalığı ile birlikte hayvansal kaynaklı hastalıklar daha da dikkat çeker hale gelmiştir.

Günümüzde hayvanlardan insanlara taşınan hastalıklar, zoonoz olarak tanımlansa da bu tanımlama sonrasında FAO/WHO ortak kurul kararı ile ‘Doğal olarak hayvanlardan insanlara, insanlardan da hayvanlara geçen hastalıklar’ olarak değiştirilmiştir (WHO, 2020). Her iki grup tarafından da bulaşabilen bu hastalıkta kaynak, enfekte olmuş hayvana, hayvansal ürünlere, hayvansal kaynaklı gıdalara, hayvanların kanlarına, salgılarına, kürk, derileri gibi kontamine kısımlarına dolaylı veya doğrudan temas etmek ve en önemlisi de bu hayvansal gıdaların tüketilmesidir (Lipkin vd, 2015; Petersen vd,2018). İnsanoğlu doğası gereği yaşam alanlarında, iş ortamlarında veya evlerde çoğu kez hayvanlarla temas halindedir. Ayrıca beslenmede önemli olan hayvansal gıdaların elde edilmesi, hazırlanması, paketlenmesi süreçlerinde de insan faktörü kaçınılmazdır ve bu şekilde enfekte olunabilmektedir. Bu kadar çok bulaşı nedeni olan zoonotik kaynaklı hastalıklar tüm dünyada ve Türkiye’de önemli halk sağlığı sorunlarına neden olabilmektedir.

Bugün Türkiye’de etkenleri farklı olsa da 100’ün üzerinde zoonoz kaynaklı hastalık belirlenmiştir. Ülkemiz coğrafi konumu ve yaşam koşulları gereğince pek çok hayvansal kaynaklı hastalığa maruz kalabilmektedir (İnci vd, 2018).

Zoonozlar Neden Önemlidir?

- Hastalık belirli bir bölgeye bağlı değildir her bölgede görülebilir.
- Kitlese hareketler olarak nitelendirilen göçler, afetler ve bölgelerin demografik yapıları zoonotik kaynaklı hastalık yayılımında etkilidir.
- Hastalık etkeni veya vektörü evcil, yabani hayvanlar olup bu etkenler ile karşılaşma olanağı yüksektir.
- Hastalık ülkelerin ekonomilerine verdiği zarar bakımından oldukça önemlidir.
- Hayvansal kaynaklı hastalıklar belirli meslek gruplarının (çiftçi, veteriner, kasap vs) karşılaşabileceği hastalıklar olup beslenme ve halk sağlığı bakımından önemlidir.
- Çoğunlukla tek etkenli değil, çok etkenlidirler.

Zoonoz Hastalıklar Nasıl Sınıflandırılır?

Zoonozların en eski sınıflandırılması anthroozoonoses (hayvanlardan insanlara bulaşan hastalık), zooanthroponoses (insanlardan hayvanlara bulaşan hastalık), amphizoonoses (insandan hayvana, hayvandan insana bulaşan hastalık) şeklindedir (Hubalek, 2003).

Etiyolojik bakımdan zoonotik hastalıklar;

Bakteriyel zoonozlar (Brusellozis, Leptospirozis, Lyme Hastalığı, Şarbon, Tularemi ve Tüberküloz (Verem)),

Viral zoonozlar (Kuş gribi, Kuduz, Yalancı Veba, Hanta Virüs hastalığı, Kırım Kongo Kanamalı Ateşi, Batı Nil Ateşi Humması ve AIDS),

Paraziter zoonozlar (Giardiyozis, Amipli Dizanteri, Hidatidozis, Toxoplazmosis, amipli dizanteri, sıtma),

Gıda kaynaklı zoonozlar (*E. coli*, Trişineloz, Listeriyozis),

Şeklinde kategorize edilmektedir (Çiftçi vd, 2014; Meşe vd, 2019).

Dünya genelinde son yıllarda bilinen ve tanımlanan bu zoonozların yanı sıra, zoonotik kaynaklı yeni enfeksiyonlar tanımlanmış ve salgın halini almıştır. Bunlar; SARS olarak bilinen şiddetli akut solunum sendromu, Ebola virüs hastalığı, Orta Doğu Solunum Sendromu (MERS)'dir. Bu hastalıklar belirli coğrafyalarda ortaya çıksa da sonrasında küresel boyutlara ulaşmıştır. Dünyada tanımı yapılmış insan patojenlerinin % 60 'dan fazlası zoonotik kökenlidir (Rahman vd, 2020).

Sığır kaynaklı zoonotik patojenlerin yaklaşık %42'sinin bakteriyel, %22'sinin viral, %29'unun parazitik, %5'inin mantar ve %2'sinin prion kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir (McDaniel vd, 2014). Benzer şekilde, hem DNA hem de RNA virüslerinin zoonozlardan sorumlu olduğu bilinmektedir; ancak, DNA ile karşılaştırıldığında, RNA virüsleri zoonozlarla daha sık bağlanır (Bae ve Son, 2011).

Zoonoz Kaynaklı Etmenlerin Bulaşı Yolları

Patojenler, hayvanlardan doğrudan veya dolaylı olarak insanlara bulaşabilir. Hayvanlardan hava gibi ortamlar yoluyla doğrudan insanlara bulaşan hastalıklar doğrudan zoonozlar olarak tanımlanabilirler (Mortimer, 2019). Doğrudan zoonozların klasik bir örneği, hayvanlardan insanlara damlacıklar yoluyla yayılan viral bir hastalık olan kuş gripidir.

Enfekte hayvanlar, en ölümcül zoonotik hastalıklardan biri olan kuduz vakasında olduğu gibi, patojenleri ısırıklarla doğrudan duyarlı insanlara da aktarabilir. Kuduz bir hayvan (köpek, yaras, maymun, kocarca vs.) bir insanı ısırıldığında, virüs tükürük yoluyla doğrudan insan vücuduna geçer.

Vektörler, Dang humması ile patojenler insana bulaşabilmektedir. Sivrisinekler ve keneler gibi eklembacaklılar genellikle tek vektör olarak kabul edilir; ancak patojenleri insana aktarma potansiyeline sahip herhangi bir hayvan bir vektör olarak kabul edilebilir (Huang vd, 2019).

Patojenlerin bulunduğu ekosisteme bağlı olarak zoonotik hastalıklar farklı kategorilere ayrılır. Bunlar; Sinantropik zoonozlar ve ekzoantropik zoonozlar olarak sınıflandırılır. Sinantropik zoonozlar, kentsel kuduz ve zoonotik saçkıran gibi evcil hayvan kaynaklı döngü ile oluşan hastalıktır. Ekzoantropik zoonozlar ise genellikle yaban hayatı kuduzları ve Lyme hastalığı gibi insan habitatlarının dışındaki doğal alanlardaki oluşur (Pavlovsky, 1996). Bunların yanı sıra bazı zoonozlar ise hem kentsel hem de doğal alanlarda da görülebilir. Örneğin, sarıhumma, Chagas hastalığı. Ayrıca, eklembacaklılar ile yiyecekler aracılığıyla, kemirgenler tarafından bulaşabilen ve bazıları da su kaynaklı olan başka zoonotik hastalıklar da tanımlanmıştır (Beaty ve Marquardt, 1996).

Zoonoz hastalıkların bulaşısında genel kanı, hayvanlardan insanlara bulaşmasıdır. Ancak bazı raporlar insanların hayvanları enfekte ettiği yönündedir (Olayemi vd,2020; Messenger vd,2014). Bu tür hastalıklar ters zoonoz olarak bilinir. Bu tür patojenlerin örnekleri arasında metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Salmonella enterica*, *Campylobacter* spp., *Serovar Typhimurium*, influenza A virüsü, *Giardia duodenalis*, *Cryptosporidium parvum*, *Ascaris lumbricoides* bulunur.

Dünyada Sık Görülen Zoonoz Hastalıklar

Brusella: Brusella her yıl dünya genelinde yaklaşık 500,000 den fazla insanı etkileyen en sık görülen bakteriyel zoonotik hastalıktır (Hull ve Schumaker, 2018). Brusellozis genel olarak ‘peynir hastalığı’, ‘koyun hastalığı’ olarak bilinir. Brusellanın insanlara yaygın olarak bulaşma nedeni pastörize edilmemiş süt ve süt ürünleri tüketmektir, nadiren insandan insana da bulaşır. Süt çiftliği çalışanları, bakıcılar, mezbaha çalışanları, veterinerler ve köy halkı bruselloz enfeksiyonu için yüksek risk altındadır. İnsanlarda bruselloz esas olarak grip benzeri enfeksiyonlara, zatürree ve menenjit, endokardit, septisemi, ciddi halsizlik, ağrı gibi diğer komplikasyonlar kas ve eklemler, aşırı baş ağrısı, ateş ve gece terlemeleri şeklindedir. Hayvanlarda bruselloz düşüklere neden olur, topallık, apse, süt üretiminde azalma ve yeni doğanların hayatta kalma şanslarında azalma gibi durumlar gözlenir (Bae, 2011; Rahman vd,2006).

Leptospirozis: Pek çok evcil veya yabani hayvanda görülen bu hastalığın etkeni bakteridir. Leptospiraların neden olduğu bu hastalık su birikintilerinden yayılır. Hastalığı geçirmiş hayvanlar, hastalık etkenini idrarla dışarı atarlar ve suda da canlı kalabilen bu etkenler, sağlam hayvanların derilerindeki yara ve sıyrıklardan vücuda girerler. Hastalık, nadiren de olsa

insandan insana bulaşabilir. İnsan vakalarında bulaşma ise kemirgen ısırıkları, laboratuvar kazaları, emzirme ve temas sırasında olabilir (Çiftçi, 2014).

Lyme Hastalığı: *Ixodes* sp. türü kenelerle bulaşan, *Borrelia* cinsi spiroketlerin neden olduğu hastalıktır. Vücutlarında taşıyan kedi köpek gibi hayvanlarda hastalığı yayarlar. Amerika da ortaya çıkan hastalık son yıllarda ülkemizde de sık görülmektedir (Yemişen vd, 2013).

Salmonellozis: *Salmonella* grubu bakteriler tarafından bulaşan yaygın bakteriyal hastalıktır. Kümes hayvanları başta olmak üzere domuz, sığır, sürüngenler ve insanlara hastalık bulaştırarak enfekte kaynağını oluşturan bakterilerdir. Dışkı ile kontamine olan gıda ve suların tüketilmesi (meyve, sebzeler, yumurta sarısı, dondurma, süt vs) hastalığın bulaşımını etkiler (Cesare, 2018). Bu bakteriler fiziki koşullara dirençli olup uzun süre dışkıda, atık sularda, dondurulmuş gıdalarda canlı kalabilirler. Tüm dünyada halk sağlığı sorunlarına neden olabilmektedir (Ochoa ve Cleary, 2019).

Şarbon (Antraks): *Bacillus anthracis* bakterisinin etken olduğu hastalıktır. Özellikle sığır, koyun, keçi gibi otçul hayvanlar tarafından doğrudan veya dolaylı olarak insanlara taşınabilir. Ayrıca insanlar kontamine et ve kana temas ile de hastalığa yakalanırlar. Dünya genelinde biyolojik silah olarak ta kullanılmaktadır (Çiftçi, 2014)

Tularemi (Avcı Hastalığı): *Franciella tularensis* etkenli zoonotik hastalıkta kemiriciler başta olmak üzere hayvanların patojeni olup insanlara da bulaşmaktadır. Türkiye 'de son yıllarda sular aracılığı ile salgınlaşmıştır. Dünyada farklı isimlerle anılmaktadır; geyik sineği hastalığı, pazarıcı hastalığı, su sıçanı avcı hastalığı gibi. Kene, sinek ısırması ile insanlara bulaşabilir (Ellis vd, 2002)

Tüberküloz (Verem): Hem hayvanlarda hem de insanlarda akciğerleri etkileyen etmeni bakteri olan hastalıktır. İnsandan insana bulaşı fazladır. Hastalık, hayvansal üretimde ciddi ekonomik kayıplara önemli ölçüde neden olmuştur. *Mycobacterium bovis*, *M. tuberculosis* veya nadiren *M. caprae* gibi (Torgerson, 2010; Bayraktar vd, 2011). Tüm insan tüberkülozunun yaklaşık %5-10'una *M. bovis* neden olmuştur (hastaların %25'i çocuktu). Tüm vakaların yaklaşık %53'ü, uygun tüberküloz bölgesinin akciğer dışı yol olduğunu göstermiştir (Samad,2011). Çoğu insan, pastörize edilmemiş kontamine sütü elleleyerek veya sağarak veya enfekte hayvanların öksürmesinden kaynaklanan aerosoller yoluyla tüberkülozdan etkilenir (Moda vd,1996). Daha da önemlisi, *M. bovis* enfeksiyonu insanların ürogenital sisteminde de meydana gelebilir ve insanlardan solunum salguları yoluyla hayvanları etkileyebilir (Ocepek vd, 2005) Bununla birlikte, enfekte hayvanların çiftlik çalışanları, veterinerler, mezbaha çalışanları veya köy halkı gibi insanlarla doğrudan teması önemli bir risk oluşturabilir.

Batı Nil Ateşi (Humması): Tek tırnaklı hayvanlar olan at, eşek gibi hayvanlarda, insanlarda, kuşlarda gözlenen sivrisineklerce bulaşan hastalıktır. Hastalık insandan insana kan, doku nakilleri ile geçmektedir (Çiftçi, 2014).

Hantavirüs Hastalığı: Kemiriciler aracılığı ile bulaşan viral hastalıktır. İnsandan insana bulaşan tek türü mevcuttur. Uzun süren ateş ile seyri belirgindir (Bente, 2015).

Kırım Kongo Kanamalı Ateşi: Virüslerin insanlara keneler yoluyla taşındığı hastalıktır. Enfekte olan kişilerden nazokomiyal yolla bulaşta olabilmektedir Dünya genelinde yaygın bir hastalıktır. Hastalık Türkiye’de önemli sağlık sorunlarından biri olup 2002 yılından bu yana görülmektedir (Elaldı, 2004).

Kuduz: Virus etmenli zoonoz hastalık olan kuduz, enfekte hayvanların salyalarından ısırık yolu ile bulaşabilmektedir. Ayrıca virüs barındıran salyalar ile doğrudan temas ile bulaşır (Bassin vd, 2015; Tekin Koruk vd, 2015). İnsanlarda ve bazı memeli hayvanlarda ölüm ile sonuçlanır. Dünya genelinde en fazla bulaşma köpekler ile olmaktadır (Rupprecht vd, 2002).

Kuş Gribi (Avian İnfluenza): H5N1 tipi başta olmak üzere A1 tipi olarak bilinen kuş gribi 21. Yüzyılın en önemli halk sağlığı sorunlarından biri olmuştur (Hampson 2006; Juckett 2006). Dünya genelinde pek çok sayıda insan ve kanatlı hayvanı öldürmüştür (Wu ve Yan 2006).

Yalancı Veba: Özellikle kanatlılarda ölüme neden olan bir virüs etkenli hastalıktır. Özellikle tavuklarda gözlenir (Çiftçi, 2014).

Amipli Dizanteri: Entamoeba histolytica’nın etken olduğu, dünyada yaygın olarak görülen ve bütün yaş gruplarını etkileyen hastalıktır (Revdin ve Stauffer, 2005). Amip kist formunda alınır ve hastalık yapmadan da bağırsaklarda yaşayabilir, enfeksiyon bazen kana geçebilmektedir. Tropikal ve subtropikal bölgelerde amipli dizanteri sık görülür. Enfeksiyon taşıyıcılarının temizliğe dikkat etmemesi, insan dışkısının tarımsal gübre olarak kullanılması, eklembacaklılar hastalığının dağılmasına etken olur. Çoğunluk bulaşı yolu ağız ile olur (Toroğlu vd, 2018).

Giardiazis: Protozoalardan olan *Giardia intestinalis*’in neden olduğu enfeksiyondur. Sindirim sistemi rahatsızlıklarına neden olan dünyada en yaygın görülen hastalıklardan biridir (Hill vd, 2005). Hastalık insanlardan başka evcil hayvanlardan kedi, köpek yanı sıra koyun keçi, sığır, tavşan ile kuş ve sürüngenlerde de gözlenir (Çiftçi, 2014).

Leishmaniasis: Leishmania cinsi protozoanın neden olduğu ve tatarcık sineğinin ısırması ile bulaşan hastalıktır. Enfekte olan köpekler, kemirgenler ve insanlar önemli taşıyıcılarıdır. Dünya genelinde tedavisi ve

kontrolünün zor olmasından dolayı önemli halk sağlığı sorunudur (WHO, 2010).

Hidatidozis: Bilinen en eski zoonotik kaynaklı hastalıklardan biridir. Köpek hastalığı olarak bilinir. Hastalığın bilinen etkeni, *Echinonoccus* türleridir. Her yaş bireylerde görülmesine rağmen özellikle genç erkeklerde gözlenmektedir. Hayvancılıkla uğraşılan kırsal kesimlerde ve kontrolsüz kesim alanlarında sık rastlanmaktadır (Yüksel ve Kalaycı, 2001).

Toksoplazmozis: *Toxoplazma gondii* isimli parazitin neden olduğu yaygın bir hastalıktır. Parazitin eşeyssel dönemi kedilerin sindirim sistemlerinde gerçekleşir. Kediler dışkıları ile parazitin korunmuş formu olan ookistlerini atarlar ve bu hali ile toprakta 18 ay kadar kalabilir (Adler, 2002; Roberts vd, 1998). Toprak ve su ile enfeksiyöz ookistler koyun, keçi, sığır gibi hayvanları enfekte eder. Özellikle karaciğer, kas, dalak, lenf nodları ve merkezi sinir sistemine yayılabilir (Adler, 2002). *T. gondii* insanlara çoğunlukla enfekte olmuş etlere temas yoluyla, etlerin yeterince pişirilmeden yenmesiyle veya kedilerin dışkıları ile temas edilen sebze ve meyvelerin tüketilmesi ile bulaşmaktadır. Gebelikte de bebeğe geçebilir (Adler, 2002; Remington vd, 2001; Lynfield ve Guerina, 1997).

Listeriyozis: Listeriyozis, bakteriyel kaynaklı olup enfekte hayvanların dışkı, süt ve uterus içeriklerinden çıkan etkenlerin alınımından kaynaklanan hastalıktır. Hastalık etkeni olan bakteri, karaciğer, kemik iliği, dalak ve merkezi sinir sisteminde hastalık oluşturabilmektedir (Lorber, 1997).

Trişinelloz: *Trişinella* kistlerini barındıran çiğ etlerin tüketilmesi ile bulaşan, en yaygın paraziter hastalıklardan biridir (Murrell, 2016). İnsanlarda hastalık oluşturanlarda kaynak enfekte olmuş at ve domuz etleridir. Larvaları kaslarda, erişkinleri bağırsaklarda ciddi sorunlara neden olur (Pozio, 2001).

KAYNAKÇA

- Adler SP. (2002). *Toxoplasma gondii*. In: Jenson HB, Baltimore RS (eds). *Pediatric Infectious Diseases*, 2nd edition. Philadelphia: WB Saunders Company; p.114-17.
- Bae, S.E.; Son, H.S. (2011). Classification of viral zoonosis through receptor pattern analysis. *BMC Bioinform.* 12, 96
- Bassin SL, Rupprecht CE, Bleck TP. Rhabdoviruses. In: BennettJE, Dolin R, Blaser MJ, eds.(2015). *Mandell, Douglas, and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases*. 8th ed. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders, : 1984-94.
- Bayraktar, B.; Togay, A.; Gencer, H.; Kockaya, T.; Dalgic, N.; Bulut, E (2011). *Mycobacterium caprae* causing lymphadenitis in a child. *Pediatr. Infect. Dis. J.* , 30, 1012–1013.
- Beaty, B.J.(1996). Marquardt, W.C. *The Biology of Disease Vector*; University Press of Colorado: Niwot, CO, USA.
- Bente DA. (2015). California encephalitis, Hantavirus pulmonary syndrome and Bunyavirus hemorrhagic fever. In: Mandell,Douglas and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases. Bennett JE, Blaser MJ (eds) Eighth Ed. Philadelphia, Elsevier Saunders, 2025-30.
- Cesare AD.(2018). Salmonella in foods: a reemerging problem. *Adv Food Nutr Res.* 86: 137-179
- Çiftçi M.(2014). *Veteriner Halk Sağlığı Ve Zoonoz Hastalıklar Projesi*.
- Ellis J, Oyston PCF, Green M, Titball R. (2002). Tularemia, *Clin Microbial Rev.*15(4):631-46.
- Hampson AW (2006). Avian Influenza: A Pandemic Waiting in the Wings. *Emerg Med Australas*, 18, 420-429.
- Huang, Y.J.S.; Higgs, S.; Vanlandingham, D.L. (2019). Arbovirus-mosquito vector-host interactions and the impact on transmission and disease pathogenesis of arboviruses. *Front. Microbiol.* 10, 22
- Hubálek, Z.(2003). Emerging human infectious diseases: Anthroponoses, zoonoses, and saponoses. *Emerg. Infect. Dis.* 9, 403–404.
- Hull, N.C.; Schumaker, B.A. 82018). Comparisons of brucellosis between human and veterinary medicine. *Infect. Ecol. Epidemiol.* 8, 1500846.
- İnci A, Doğanay M, Özdarendeli A, Düzlü Ö, Yıldırım A. (2018). Overview of zoonotic diseases in Turkey: The one health concept and future threats. *Türkiye Parazitoloj Derg.* 42: 39-81.
- Juckett G (2006). Avian Influenza: Preparing for a Pandemic. *Am Fam Physician*, 74 (5), 783-790.

- Lipkin L W. Zoonoses (2015). Mandell, Douglas, and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases, Eighth edition, Canada: Elsevier, 2015:3554-3558.
- Lorber B. (1997). Listeriosis. Clin Infect Dis ;24:1-11
- Lynfield R, Guerina NG. (1997). Toxoplasmosis. Pediatr Rev.18: 75-83
- McDaniel, C.J.; Cardwell, D.M.; Moeller, R.B.(2014). Gray, G.C. Humans and cattle: A review of bovine zoonoses. Vector Borne Zoonotic Dis. 14, 1–19
- Meşe A. E, Kara F, İltter H, Topluoğlu S. (2019-2023). Türkiye zoonotik Hastalıklar Eylem Planı.
- Moda, G.; Daborn, C.J.; Grange, J.M.; Cosivi, O.(1996). The zoonotic importance of Mycobacterium bovis. Tuberc. Lung Dis. , 77, 103–108.
- Mortimer, P.P (2019). Influenza: The centennial of a zoonosis. Rev. Med. Virol. 29, e2030.
- Murrell KD. (2016). The dynamics of Trichinella spiralis epidemiology: Out to pasture? . Veterinary Parasitology. 231: 92–96.
- Ocepek, M.; Pate, M.; Žolnir-Dovč, M.; Poljak, M (2005). Transmission of Mycobacterium tuberculosis from human to cattle. J. Clin. Microbiol. 43, 3555–3557.
- Ochoa TJ, Cleary TG. Salmonella. Ed: Feigin RD. (2019). Textbook of Pediatric Infectious Diseases 8th Edition, pp.1066-1081. Saunders Elsevier Inc, Philadelphia, USA.
- Olayemi, A.; Adesina, A.S.; Strecker, T.; Magassouba, N.F.; Fichet-Calvet, E. (2020). Determining Ancestry between Rodent-and Human-Derived Virus Sequences in Endemic Foci: Towards a More Integral Molecular Epidemiology of Lassa Fever within West Africa. Biology. 9, 26.
- Pavlovsky, E.N. (1966). Natural Nidality of Transmissible Diseases with Special Reference to the Landscape Epidemiology of Zooanthroponoses; University of Illinois Press: Champaign, IL, USA.
- Petersen E, Petrosillo N, Koopmans M., et al.(2018). Emerging infection an increasingly important topic: review by the Emerging Infections Task Force. Clinical Microbiology and Infection.24: 369-75.
- Pozio E, (2001). New patterns of Trichinella infection. Vet Parasitol, 98(1-3):133-148.
- Rahman, M., Sobur, M., Islam, M., Ievy, S., Hossain, M., El Zowalaty, M. E., ... & Ashour, H. M. (2020). Zoonotic diseases: etiology, impact, and control. *Microorganisms*, 8(9), 1405.
- Rahman, M.S.; Han, J.C.; Park, J.; Lee, J.H.; Eo, S.K.; Chae, J.S. (2006). Prevalence of brucellosis and its association with reproductive problems in cows in Bangladesh. Vet. Rec..159, 180–182.
- Ravdin JI, Stauffer WM.(2005). Entamoeba histolytica (amoebiasis). In Mandell

- GL, Bennett JE, Dolin R, eds. Mandell, Douglas, and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases. 6th ed. Philadelphia, PA: Churchill Livingstone ;p. 3097-3111.
- Remington JS, McLeod R, Thulliez P, Desmonts G. Toxoplasmosis. In: Remington JS, Klein JO, (eds). (2001). Infectious Diseases of the Fetus and Newborn Infant. 5 th edition. Philadelphia: WB Saunders, p. 205- 346
- Roberts F, Boyer K, McLeod R. Toxoplasmosis. In: Katz SL, Gershon AA, Hotez PJ, (eds). (1998). Krugman's Infectious Disease of Children. 10th edition. St Louis: Mosby. p.538-70.
- Rupprecht CE, Hanlon CA (2002). Hemachudha T. Rabies re-examined. Lancet Infect Dis. 2(6): 327-43.
- Samad, M.A. (2011). Public health threat caused by zoonotic diseases in Bangladesh. Bangladesh J. Vet. Med. 9, 95–120.
- Tekin-Koruk S, Yardımcı C, Karaoğlan İ et al.(2011). Bir Ay İçinde Görülen Suriyeli İki Kuduz Olgusu. Klimik Dergisi.28(1): 38-41.
- Torgerson, P.R.; Torgerson, D.J. (2010). Public health and bovine tuberculosis: What's all the fuss about? Trends Microbiol. 18, 67–72.
- Toroğlu, S., Kılınç, F., Yılmaz, M., & Keskin, D. (2018). Entamoeba histolytica'nın İnsan ve Hayvan Sağlığı Açısından Önemi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 275-291.
- World Health Organization (2010). WHO Technical Report Series, 949; Control of the Leishmaniasis: report of a meeting of the WHO Expert Committee on the Control of Leishmaniasis, Geneva, 22-26 March 2010.
- World Health Organization.(2020). WHO Health Topic Page: Zoonoses. Available online: <https://www.who.int/topics/zoonoses/en/> (accessed on 20 July 2020).
- Wu G, Yan S (2006). Mutation Trend of Haemagglutinin of Influenza A Virus: A Review from a Computational Mutation Viewpoint. *Acta Pharmacol Sin*, 27 (5), 513-526.
- Yemişen, M., Bilgul, Mete, & Balkan, İ.(2013). Lyme hastalığı. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 29(3s), 169-174.
- Yüksel M, Kalaycı G.(2001). Akciğer kist hidatiğinin cerrahi tedavisi. In: Yüksel M, Kalaycı G eds. *Göğüs Cerrahisi*. İstanbul, Özlem Grafik Matbaacılık. 647-658.

“

Bölüm 8

EKONOMİK AÇIDAN ZARARLI GEOMETRIDAE TÜRLERİ HAKKINDA BİLGİLER

Mürşit Ömür KOYUNCU¹, Mehmet YARAN²

1 Öğrt. Gör. Dr. Mürşit Ömür KOYUNCU, Gaziantep Üniversitesi, Araban Meslek Yüksekokulu, Veteriner Sağlık ve Laborant Bölümü, Gaziantep, Türkiye, mursitkoyuncu@gantep.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0789-6925

2 Doç. Dr. Mehmet YARAN, Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, yaran@gantep.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-8136-8226

”

1. Giriş

Böcekler dünya üzerinde geniş yayılış gösteren canlılardır. Öyle ki kutuplar ve denizler dışındaki habitatlarda yaşayabilirler. Günümüzde bir milyondan fazla böcek türü olduğu bilinmektedir. Bu çeşitlilik hayvanlar aleminin %70'ni oluşturmaktadır (Gullan ve Cranston, 2014).

Her ne kadar böcekler akla ilk olarak zararlı bir grup olarak gelse de bu kadar geniş bir alana yayılmış olması ekolojik açıdan oldukça önemli olduğu bilinmelidir. Çürümüş organik atıkların doğaya kazandırılması, mantarların yayılışlarına katkı sağlaması, tozlaşma ve tohumların farklı noktalara dağıtılması ve böylece bitkilerin yayılması, aynı zamanda fitofag olan böceklerin bitkilerin aşırı yayılmasını engel olması, balık, sürüngen, kuş ve memeliler için önemi besin kaynağı olması, hastalıkların taşınmasında vektör rolü oynadığı için büyük hayvanların popülasyon dağılımında önemli rol oynamaktadır (Gullan ve Cranston, 2014). Bunun yanı sıra laboratuvar ortamında üretilen *Drosophila melanogaster* Meigen, 1830 hem genetik çalışmalar için hem de diğer canlılara besin olarak kullanılabilir (Şekil 1).



Şekil 1: Besi ortamında yetiştirilmiş *Drosophila melanogaster*.

Bazı böcekler insan hayatındaki yeri tartışılmayacak derecede önemlidir. Örneğin *Apis mellifera* (bal arısı) ve *Bombyx mori* (ipek böceği) gibi ekonomik açıdan oldukça değerli böceklerdir (Saruhan ve Tuncer, 2010). Bal arılarına baktığımızda ortalama olarak bir kovanda 15 bin kadar bal arısı bulunabilir. Arılar bal üretmek için günlük olarak 100 kadar çiçekten polen toplar ve günde ortalama 15 kez polen için kovandan çıkarlar. Polen ile bal yapan arıların bu ortalamalar ile tozlaşmaya katkılarının önemi görülmektedir. Aynı zamanda bal arılar için oldukça büyük öneme sahip olmasına karşı insan hayatı için de oldukça önemlidir. İçerisinde bulunduğu bileşenler ile bal antimikrobiyal ve antioksidan, sindirim sistemine, kanser ile tümör hücrelerinin etkisiz hale getirilmesinde etkisi bulunan

bir besindir (Mutlu vd.). İpek böceklerinden üretilen ipek ise giyim ve güvenlik alanlarında kullanılan kıymetli bir üründür. Aynı boyutlardaki çelikten çok daha sağlam olduğu bilinir ve bu yüzden çelik yelek gibi insan hayatını koruyan ürünlerde kullanılmaktadır.

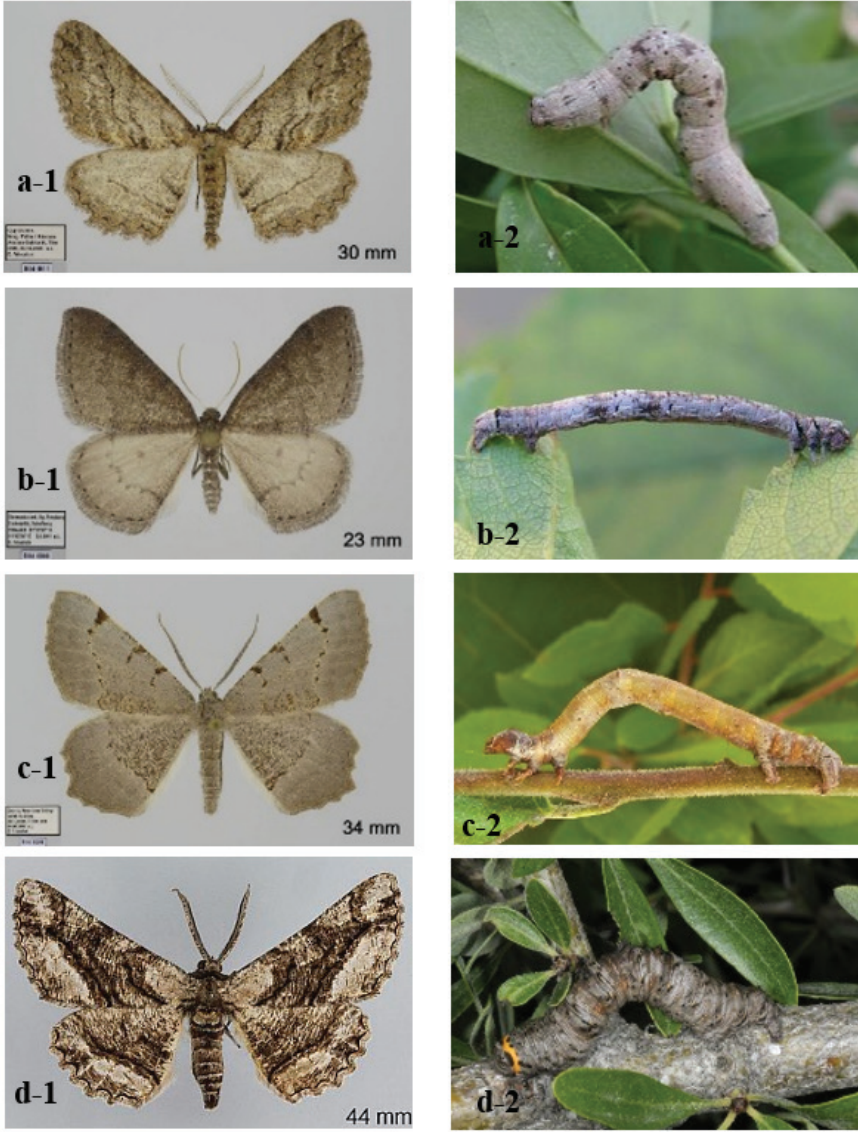
Böceklerin dünyamız için önemi büyüktür. Ancak her ne kadar önemli bir grup olsa da hem ekolojik olarak hem de tarımsal olarak bazı böcek türlerinin karşı mekanik, kimyasal ve biyolojik savaşlar yapılmaktadır. Örneğin 360 farklı ekonomik öneme sahip bitkiye zarar veren *Ceratitis capitata* Wiedemann, 1824 (Akdeniz meyve sineği) oldukça zararlı bir türdür (Liquido ve vd., 1991).

Lepidoptera takımına ait türler yumurta, larva, pupa ve ergin evreleri vardır. Bu evrelerden larva ve ergin formundayken beslenme davranışı gösterirler. Ergin formunda genelde polen ve su ile beslenirken, larva formunda ise bitkilerin dal, yaprak, çiçek ve meyveleri ile beslenmektedir. Larvanın yumurtadan çıktıktan sonra ve pupa evresine geçene kadar yaptığı en büyük iş beslenmek olmaktadır. Bu durumda bitkiler üzerinde oldukça fazla tahribata neden olabilmektedir.

Lepidoptera türleride meyve sineği türleri gibi yıkıcı etkiye sahip olabilir. Gerek tarım alanlarında gerekse depo ortamında ciddi zarar yapan güve türleri bulunur. Fakat bir kelebek ailesi olan Geometridae türlerinin daha çok orman ağaçları ve düşük yapılı bitkilerde zarar yaptığı bildirilmiştir (Okyar, 1995). Orman ağaçlarına zarar yapan türlerden en yaygını ise *Operophtera brumata*'dır (Mannai vd., 2016). Ancak ülkemizde ve dünyada son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında kültür bitkilerinde de zarar yapan türlerin de olduğu ortaya konmuştur (Bolu vd., 2005; Kaçar ve Özdemir 2015; Koyuncu ve Kütük, 2021).

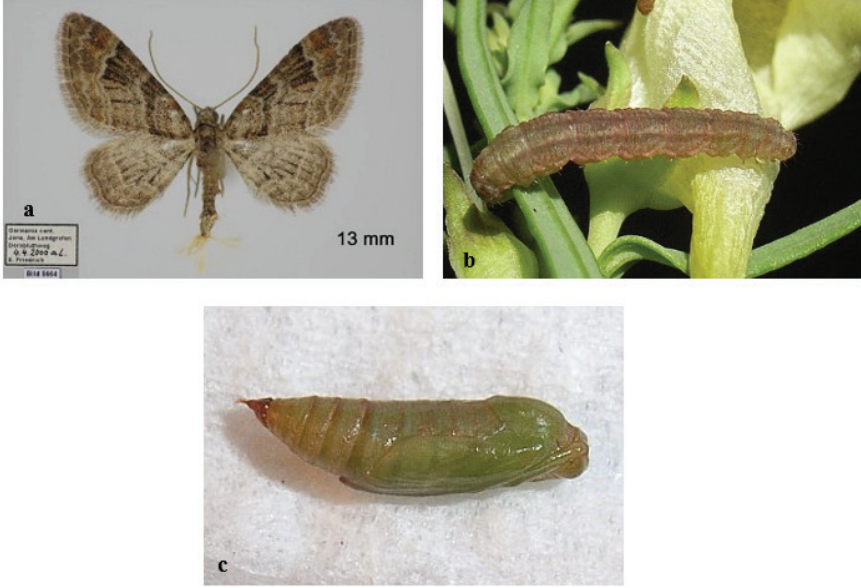
2. Ekonomik Açıdan Zararlı Geometridae Türleri

Ülkemizde yapılan çalışmalara baktığımızda; GAP bölgesinde bulunan illerde 1966-2004 yılları arası bazı araştırmacılar tarafından bitkiler üzerinden zararlı böcek türleri toplanmıştır. Bu zararlı böcekleri 2005 yılında değerlendiren Bolu vd. Noctuidae, Tortricidae, Gelechiidae ve Geometridae en çok tür içeren familyalar olduğu saptanmıştır. Geometridae familyasına bağlı *Agriopsis bajarania*, *Aleucis distinctata*, *Gnopharmia stevenaria*, *Nychiodes amygdalaria* bu türlerin hepsi badem ağaçlarında zarar yaptığını bildirmişlerdir (Şekil 2).



Şekil 2: Ekonomik zararlı bazı Geometridae türleri: *Agriopsis bajaria* (a-1 ergin, a-2 larva), *Aleucis distinctata* (b-1 ergin, b-2 larva), *Gnopharmia stevenaria* (c-1 ergin, c-2 larva), *Nychiodes amygdalaria* (d-1 ergin, d-2 larva) (*lepiforum.org, pyrgus.de*).

Kaçar ve Özdemir 2015 yılında yaptıkları çalışmada Adana, Gaziantep, Osmaniye, Hatay, Mersin, Kahramanmaraş ve Kilis illerinde bulunan zeytin bahçelerinden toplanan zarar yapan kelebek türlerini tespit etmişlerdir. Çalışmada zeytin üzerinde zarar yapan iki kelebek türü tespit edilmiş ve bunlardan biri Geometridae familyasına (*Gymnoscelis rufifasciata*) ait bir türdür.

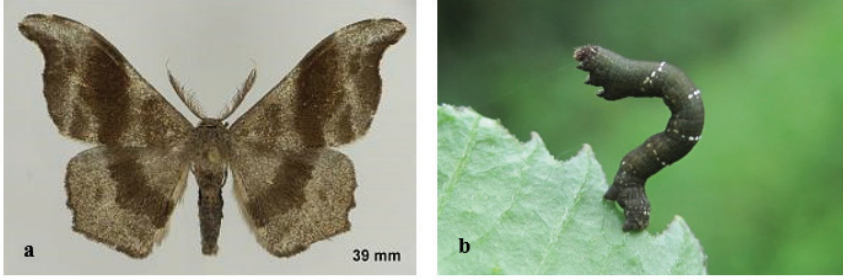


Şekil 3: Ekonomik zararlı bazı Geometridae tür: *Gymnoscelis rufifasciata* (a: ergin, b: larva, c: pupa) (lepiforum.org)

Gymnoscelis rufifasciata'nın zeytin bahçelerinde zarar yaptığı ilk kez bu çalışmayla ortaya konmuştur. Aynı zamanda polifag olan bu tür turuncgil, mısır ve sorgumda da zarar yaptığı bildirilmiştir. *Gymnoscelis rufifasciata* larva döneminde zeytin bitkisinde ise yaprak, çiçek ve meyve kısımlarından beslendiği gözlenmiş olup bitkilerin kurummasına sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Tolga 2018 yılında geniş kapsamlı olarak yaptığı doktora çalışmasına da Muğla ilinde badem ağaçları üzerinde bulunan böcek ve akar türlerinin tespitini yapmıştır. Çalışma sonucunda 312 böcek türü 6 akar türü tespit etmiştir. Bu böcek türlerinden biri olan *Neognopharmia stevenaria* Geometridae familyasına bağlı olup bu türün larvasının badem ağaçlarının yapraklarının tamamını tükettiğini bildirmiştir.

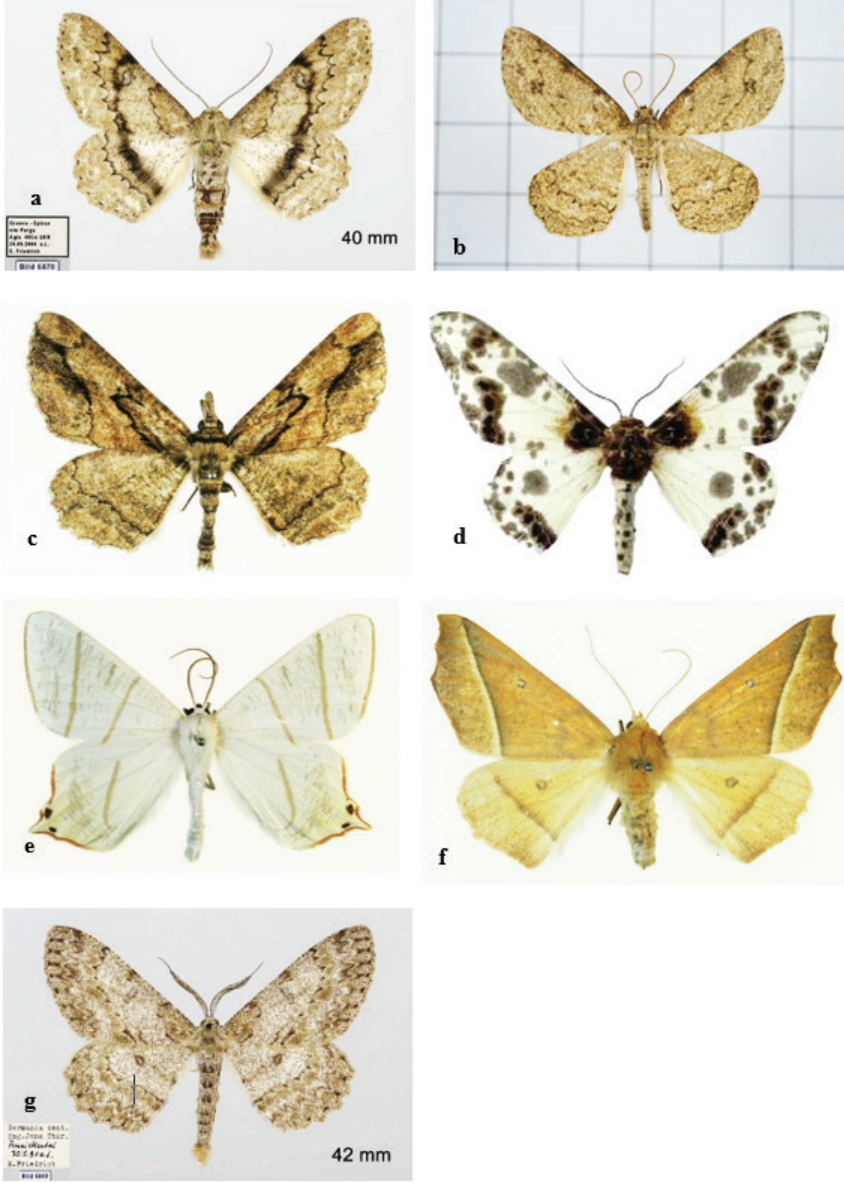
Yurt dışında yapılan çalışmalara baktığımızda ise Hindistan'da 2011 yılında Sinu vd. çay bitkisi üzerinde zarar yapan *Hyposidra talaca* Geometridae türünün yayılması hakkında bilgiler vermişlerdir (Şekil 4). Türün iklimsel değişikliklerden kaynaklı yayıldığını, çay bitkisine yaptığı zararların ve doğal düşmanlara karşı davranışının sonuçlanır incelenmiş ve sonuç olarak ilerleyen yıllarda bu türün Hindistan'da hızlı bir yayılış göstereceğini dile getirmişlerdir.



Şekil 4: Ekonomik zararlı bazı Geometridae tür: *Hyposidra talaca* (a: ergin, b: larva) (lepiforum.org)

Park vd. 2011 yılında Kore’de yaptıkları çalışmada turuncgillerde zarar yapan Geometridae türleri hakkında bilgiler vermiştir. Toplamda 7 türün (*Ascotis selenaria*, *Ectropis excellens*, *Menophra senilis*, *Biston panterinaria*, *Ourapteryx nivea*, *Odontopera arida*, *Hypomecis punctinalis*) mandalina bitkisinde ciddi zararlar verdiğini ortaya koymuşlardır (Şekil 5). Mandalina bitkisinde larvalar genel olarak yapraklara büyük tahribatlar verildiği bilinir ancak bu çalışmadaki bazı güvelerin meyvelere de zarar yaptığını sunmuşlardır.

Yukarıda bahsedilen Geomtridae türlerinden *Ascotis selenaria* çok önemli bir ekonomik zararlı bir güvedir. Tür incelendiğinde farklı ülkelerde farklı bitkilere zarar yaptığı görülmektedir. Örneğin İsrail’de avakoda bitkisine (Wysoki, ve Izhar, 1975), Kenya’da kahve bitkisine (Abasa,1972; Abasa ve Mathenge, 1972; Abasa,1975) ve Gürcistan, SSCB’de çay bitkisine (Evans, 1968), Güney Afrika’da portakallara (Shoeman, 1960), Madagaskar’da fıstık (Fletcher, 1962; Frappa, 1936), Macaristan’da yonca (Mészáros, 1972), elma ve İsrail’de cevizler (Shoham, 1965) ve Sicilya’da limonlar (Mariani, 1937).



şekil 5:Ekonomik zararlı bazı Geometridae türleri: a. *Ascotis selenaria*, b. *Ectropis excellens*, c. *Menophra senilis*, d. *Biston panterinaria*, e. *Ourapteryx nivea*, f. *Odontopera arida*, g. *Hypomecis punctinalis* (lepiforum.org, gbif.org, en.wikipedia.org, jpmoth.org).

3. Sonuç

Böcekler ekolojik dengenin olmazsa olmaz bir parçasıdır. Ayrıca ekonomik açıdan yararlı ve zararlı böcek türleri olduğu da bilinmektedir. İnsanlar yerleşik hayata geçip tarım ile uğraşmaya başlayınca bu yararlı ve zararlı böcek gruplarıyla tanışmış ve buna göre tarım yapmayı öğrenmişlerdir. Geçmişten günümüze kadar ise böceklerle ilgili birçok çalışma yapılarak sistematik kategoride yerini almışlardır.

Bu çalışmada daha çok orman ağaçları ve otsu bitkiler üzerinde zararlı olduğu düşünülen Geometridae ailesine bağlı bazı türlerinden ekonomik açıdan da zararlı olduğu ortaya konmuştur ve hangi bitkilere zarar verdiği sunulmuştur (Tablo 1). Zarara uğrayan bitkilerin gerek ülkemiz ekonomisinde gerekse dünya ekonomisindeki yeri oldukça önemli olduğu da görülmektedir. Yapılan çalışmalarda bu türlerin buldukları ülkelerde çeşitli sebeplerle yayıldığı ve ilerleyen dönemlerde daha fazla zarar yapabileceği ön görülmüştür.

Tablo 1 Çeşitli bitkilerde zarar yapan Geometridae türleri

Tür	Bitki
<i>Agriopsis bajaran</i>	Badem
<i>Aleucis distinctata</i>	
<i>Gnopharmia stevenaria</i>	
<i>Nychiodes amygdalaria</i>	
<i>Neognopharmia stevenaria</i>	
<i>Gymnoscelis rufifasciata</i>	Zeytin, turunçgil, mısır, sorgum
<i>Hyposidra talaca</i>	Çay
<i>Ascotis selenaria</i>	Turunçgil, Avakoda, Kahve, Çay, Portakal, Fıstık, Yonca, Elma, Cevizler, limon
<i>Ectropis excellens</i>	Turunçgil
<i>Menophra senilis</i>	
<i>Biston panterinaria</i>	
<i>Ourapteryx nivea</i>	
<i>Odontopera arida</i>	
<i>Hypomecis punctinalis</i>	

Çalışma kapsamında farklı ülkelerde farklı bitkilere zarar yapan Geometridae türleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bu türlerden büyük çoğunluğu monofagtır olduğu görülmüştür. Ancak pelin güvesi olarak bilinen *Ascotis selenaria* türü ise polifagtır. Örneğin bu tür İsrail'de avakoda bitkisinde dominant olarak zarar yaparken Kenya'da kahve Gürcistan'da çay bitkisine baskın olarak zarar vermektedir. Polifag olan bu türün bu ülkede ve çevre ülkelerde yayılma durumunu yüksek olduğu söylenebilir. İklim değişiklikleri çevresel koşullar bu türlerin yayılışını hızlandırabilir ve daha büyük tahribatların ortaya çıkmasına sebep olabilir.

3.1 Zararlı böceklerle karşı mücadele

Ekonomik ve tarım açısından önemli ve zararlı böcek türlerin ayrımının iyi yapılması gerekmektedir. Yararlı olan türlerin popülasyonlarının doğal ya da yapay ortamlarda çoğalmalarını desteklenmeli. Destekleme yapılmısa dahi doğadaki yararlı böceklerin habitatlarının tahrip edilmesi de önemli bir katkı sunacağı düşünölmektedir. Örneğın baharın aylarında bitki ve böcek hareketliliğı de başladığında tozlaşma için büyük öneme sahip bal arıların pestisitlere maruz kalmaması gerekmektedir. Çünkü polinasyonu en çok yapan bal arılarının pestisitlerden olumsuz etkilenmeleri söz konusudur.

Tarımsal olarak zararlı böcekler ile mücadele etmek günümüzde bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu böceklerle mücadele etmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunun başında en çok kullanılan yöntem pestisit kullanımınıdır. Kimyasal bir yöntem olmakla birlikte oldukça etkili olduğunu söylenebilir. Böcek popülasyonlarını önemli ölçüde azaltır ve ürün miktarını arttırabilen bir yöntemdir. Ancak bu yöntemle kullanılan pestisitler gerek ürün ve gerek bitkiler üzerinde kalabilir, yararlı böcekleri öldürebilir, toprağa karışıp toprağı daha tuzlu hale getirebilir ve topraktan yer altı su kaynaklarına geçerek içme sularına kadar ulaşabilir. Bu ihtimallerin sonucunda insanlara kadar ulaşp çeşitli hastalıklar ortaya çıkarabilir. Bu yüzden dikkatli ve özenli bir kullanım gerekmektedir. Bir diğeri yöntem ise mekanik yöntemdir zararlıyı gözle görüp uzaklaştırmak ya da budama parçalarını tarım alanların uzaklaştırarak yapılır. Bu bitki parçalarında zararlı yumurta, larva ya da pupa formunda kışı geçirip bahar aylarında tekrar aynı bitkiye zarar yapmak üzere bitkiden beslenebilir. Bir başka yöntem ise yine kimyasal olmakla birlikte pestisitler kadar zararlı değildir. Böceklerin zarar yapacağı muhtemel zamanlarda tarım alanlarına bırakılan yapışkanlı feromon tuzakları ile yapılmaktadır. Dişi bireyin kokusu emdirilmiş renkli kağıtların ortama asılıp erkek bireyleri cezbedip çekmesi mantığı ile çalışır. Ancak bu tuzaklar daha çok birey sayısını ortaya koymakla birlikte eşik değeri aşırsa pestisit kullanıma geçmek için fikir veren bir yöntemdir ve bu yöntem kelebeklerde çok kullanılmaktadır. Doğal şartlara en uygun yöntem ise av avcı ilişkisinden faydalanılarak yapılan olan biyolojik yöntemdir. Bu duruma verilebilecek en iyi örnek uğur böcekleridir ki bu böcekler yaprak bitleri ile beslenirler. Bir uğur böceğı günde yaklaşık 100 yaprak biti tüketebilmektedir. Ichneumonidae ailesine ait arı türleri kelebek larvalarını üzerine kendi yumurtalarını bırakır. Yumurtadan çıkan arı larvası kelebek larvası ile beslenir ve böylece zararlı kelebek türü larva formundayken biyolojik olarak ortadan kaldırılmış olur.

KAYNAKLAR

- Abasa, R.O. (1972). Field and laboratory studies on the adult of *Ascotis selenaria reciprocaria* Wlk. (Lep. Geometridae), a pest of arabica coffee in Kenya. Bull. ent. Res. 61: 559-563.
- Abasa, R.O. (1975). A review of the biological control of coffee insects in Kenya. E. Afr. agric. For. J. 40: 292-299.
- Abasa, R.O., Mathenge, W.M. (1972). Biological and ecological studies of the giant looper *A. selenaria* Wlk. Parts I and II. Kenya Coll. 37: 114-115; 116-117.
- Bolu, H., Yücel, A., Ayaz, T. (2005). GAP illeri meyve ağaçlarında zararlı Lepidoptera türleri üzerinde bir değerlendirme, 1360-1365 s. GAP IV. Tarım Kongresi 21-23 Eylül 2005.
- Evans, D.E. (1968). Lannate, a new insecticide for the control of the giant looper and other pests. Kenya Coll. 33: 193-194.
- Fletcher, D.S. (1962). Geometridae. Explor. Parc. natn. Albert deux. SOr. 15: 3-70.
- Frappa, C. (1936). Sur l'emploi des émulsions savonneuses d'huiles végétales contre les pucerons et les chenilles dans nos possessions coloniales. Agron. colon. 227: 141-145. [Rev. appl. Ent. (1937) 25: 314.].
- Gullan, P.J., ve Cranston, P.S. (2014). The Insect. 986s.
- Kaçar, G., Özdemir, M. (2015). Doğu Akdeniz bölgesi zeytinlerinde iki yeni Lepidopter, *Gymnoscelis rufifasciata* (Haworth) (Geometridae) ve *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) (Tortricidae)'nın yayılışı, zararı ve kısa biyolojisi üzerine gözlemler. Bitki Koruma Bülteni, 55(4): 255-264.
- Koyuncu, M.Ö. Kütük, M. 2021 (Fresenius Environ. Bull., 30(6), 7309-7320.
- Liquido, N.J., Shinoda, L.A., Cunningham, R.T. (1991). Host Plants of the Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) an Annotated World Review. Entomological Society of America, Miscellaneous Publications, 52 pp.
- Mannai, Y., Ezzine, O., Hausmann, A., Nouira, S., Jamâa, M.L.B. (2017). Budburst phenology and host use by *Operophtera brumata* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Geometridae) in three Mediterranean oak species. Annals of Forest Science, 74(1), 1-8.
- Mariani, M. (1937). [New species and forms of Sicilian Lepidoptera and a new pest of citrus.] G. Sci. nat. econ. Palermo 39(3): 1-13. (in Italian).
- Mészáros, S. (1972). [Investigations into the phenology and individual density of geometer species (Geometridae) injurious to lucerne.]Növénytermelés 21: 4545 2. (in Hungarian).
- Mutlu, C., Erbaş, M., Tontul, S.A. (2017). Bal ve diğer arı ürünlerinin bazı özellikleri ve insan sağlığı üzerine etkileri. 15(1), 75-83.
- Okyar, Z. (1995). Trakya bölgesi Geometridae türlerinin taksonomik ve faunis-

tik yönden araştırılması. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 177 s.

Park, Y.M., Choi, K.S., Kim, D.H. Kim, D.S. (2011). Seasonal Occurrence and Damage of Geometrid Moths with Particular Emphasis on *Ascotis selenaria* (Geometridae: Lepidoptera) in *Citrus* Orchards in Jeju, Korea. Kor. J. Appl. Entomol. 50(3): 203~208.

Saruhan, İ., Tuncer, C. (2010). Kültürel entomoloji. Anadolu Tarım Bilim. Derg., 25(1):21-27.

Shoeman, O.P. (1960). The biology, ecology and control of the citrus measuring worm, *Ascotis selenaria reciprocaria* Wlk. D.Sc. thesis, University of Pretoria, South Africa.

Shoham, Z. (1965) [The new pest of fruit trees.] Hassadeh 45: 1073-1075. (in Hebrew).

Sinu, P.A., Mandal, P., Antony, B. (2011). Range expansion of *Hyposidra talaca* (Geometridae: Lepidoptera), a major pest, to Northeastern Indian tea plantations: change of weather and anti-predatory behaviour of the pest as possible causes. International Journal of Tropical Insect Science Vol. 31, No. 4, pp. 242.

Tolga, M.F. (2018). Muğla ve Manisa İlleri Badem Ağaçlarında Böcek ve Akar Türleri, Önemli Zararlı Türlerin Popülasyon Değişiminin ve Mücadelesine Yönelik Bazı Biyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

www.en.wikipedia.org/ (Erişim tarihi: 30.09.2022).

www.gbif.org/ (Erişim tarihi: 30.09.2022).

www.jpmoth.org/ (Erişim tarihi: 30.09.2022).

(Erişim tarihi: 30.09.2022).

Wysoki, M. Izhar, Y. (1974). [Phenology and integrated control of the Giant Looper in avocado.] Research and field trials in Western Galilee. Israel Ministry of Agriculture, pp. 71-72. (in Hebrew).

“

Bölüm 9

**SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA
ARBÜSKÜLER MİKORİZAL
FUNGUSLAR VE BİYOGÜBRE OLARAK
KULLANIM POTANSİYELİ**

Aydın ATAKAN¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Gaziantep Üniversitesi, aydinatakan@gantep.edu.tr, ORCID; 0000-0001-9794-4427

”

1. Giriş

Biyogübreler, içeriğindeki canlı mikroorganizmalar sayesinde bitki rizosferini kolonize ederek hedef ürüne birincil besin ve/veya büyüme uyararını sağlayan ve bunların kullanılabilirliğini artıran maddelerdir. Esas olarak bitkilerin rizosferinde kolonize olan çok sayıda toprak bakterisi mevcuttur. Bu bakteriler bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) olarak bilinmektedir. Bazı PGPR, biyogübre işlevi görerek büyümeyi desteklemektedir. Biyogübrelerin ana kaynaklarını; azot bağlayıcı mikroorganizmalar, fosfat çözücü mikroorganizmalar ve mikorizalar oluşturmaktadır. Kimyasal gübrelerin alternatifi olarak, yenilenebilir ve çevre dostu bir bitki besin kaynağı olması açısından biyogübreler büyük potansiyele sahiptir. Tohum, kök veya toprağa uygulandığı zaman mikroorganizmaların aktif hale geçmesiyle bitki ve toprak sağlığına pozitif etkiler sağlamaktadır. Bunlara ek olarak, biyogübreler topraktaki bitki besinlerini biyolojik süreçler sonucunda alınamaz formdan alınabilir forma dönüştürebilme yeteneğine sahip farklı mikroorganizmaların canlı hücrelerini içeren mikrobiyal preparatlardır. Özellikle biyolojik aktiviteleriyle besinlerin alınabilirliğini arttıran, kayıp mikrofloranın yeniden oluşumuna ve genel olarak toprak sağlığını iyileştirmeye yardımcı olan biyogübreler, tarım sistemlerinin yenilikçi uygulamaları arasındadır (Ismail vd., 2014).

Biyogübreler, tamamlayıcı, yenilenebilir ve çevre dostu bitki besin kaynakları olmakla birlikte, Entegre Besin Yönetimi (INM) ve Entegre Bitki Besleme Sisteminin (IPNS) önemli bir bileşenini oluşturmaktadır (Raghuwanshi, 2012). Doğallıklarıyla dikkat çeken bu ürünler sadece verim artışı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda insan ve çevre sağlığı açısından da oldukça faydalıdır. Ayrıca, sürdürülebilir ekonomik kalkınmaya da önemli katkıları bulunmaktadır. (Mishra ve Dash, 2014).

Toprak, bir dizi dinamik mikroorganizmayı bir araya getiren biyolojik çeşitlilik havuzudur. Rizosferde çok sayıda mikroorganizma türü bulunmasına rağmen, toprak mikrobiyotası içerisinde fungus ve bakteriler daha baskındır (Bagyaraj vd., 2016). Funguslar, çok sayıda türe tek başına katkıda bulunan toprak sakinlerindedir. Toprak mikrobiyal çeşitliliğinin önemli bir bileşeni olarak funguslar, ekosistem düzenleyicileri, biyolojik denetleyiciler ve ayrıştırıcılar olarak işlev görebilmektedir. Ekosistem düzenleyicileri olarak funguslar, toprağın yapı oluşumundan sorumlu olan topraktaki fizyolojik süreçleri düzenlerken, biyokontrol fungusları diğer organizmaların gelişimini düzenlemektedir. Arbüsküler Mikorizal Funguslar (AMF), konukçu bitkinin büyüme ve gelişimini artıran ve bitkileri patojenlerden koruyan biyokontrol funguslarının önemli bir grubunu oluşturmaktadır (Frąc vd., 2018).

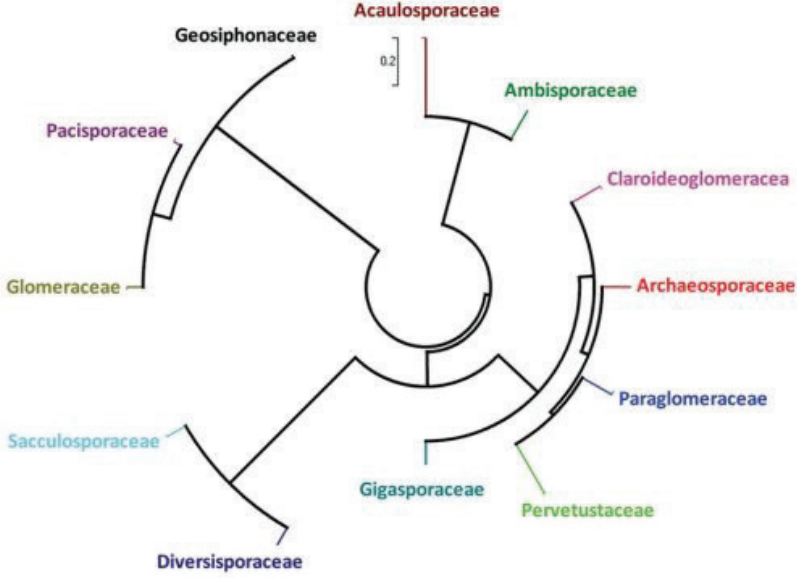
Geleneksel tarım sistemlerindeki mikrobiyal topluluklar, yoğun gübre, defoliant ve toksik madde girdisi nedeniyle değiştirildiğinden (Mcgonigle ve Miller, 1996; Sturz vd., 1997; Jeffries vd., 2003) mikorizosferik organizmaların doğal rolü konvansiyonel tarımda gitgide önemsizleşmektedir. Toprak mikroorganizmaları olarak AMF, bitkiler ve toprak mineral besinleri arasında önemli bir bağlantıyı temsil etmektedir. Bu sebeple, AMF'ın biyogübre olarak kullanılabilirliği artan bir ilgiye sahiptir (Anand vd., 2022).

Bu çalışmada, sürdürülebilir tarım için potansiyel mikroorganizmalar olan AMF'ın bazı özellikleri, yenilikçi uygulamalarda kullanımı hakkında bilgiler verilmiştir.

2. AMF'ın Genel Özellikleri ve Sürdürülebilir Tarımda Kullanımı

Mantarların ekosistemde birçok farklı rolü bulunmaktadır (Bal vd., 2017). Farklı beslenme biçimlerinin etkileri olarak mantarların ekolojik istekleri de değişmektedir (Sevindik vd., 2018). Bu özelliklerinin yanı sıra mantarların antioksidan, antimikrobiyal, antiproliferatif, DNA koruyucu gibi biyolojik etkileride bulunmaktadır (Akgül vd., 2016; Sevindik vd., 2016; Sevindik vd., 2017; Eraslan vd., 2021). Ayrıca farklı organizmalarla yaptıkları simbiyotik birlikteliklerle yaşam alanlarını genişletebilirler. Bu birliktelikteler den olan mikorizalar, karasal bitkilerin kökleri ile ilişkileri olan mutualistik funguslardır. Glomeromycota bölümünde yer alan AMF, çeşitli tarımsal ürünler de dâhil olmak üzere karasal bitki türlerinin yaklaşık %80'i ile karşılıklı ortak yaşam oluşturan, obligat simbiyontlardır (Schüßler vd., 2001).

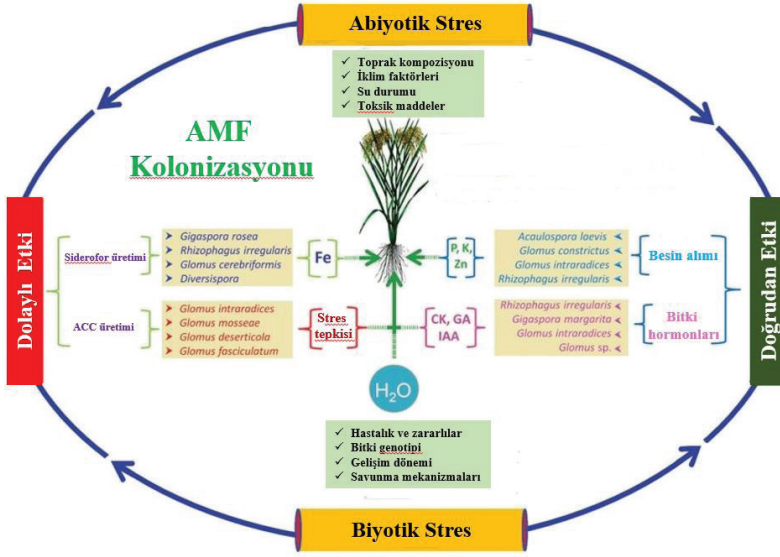
Günümüze kadar, AMF'ın küresel çeşitlilik sayısınının 340'a ulaştığı bildirilmiştir. Tüm AMF türleri, filogenetik olarak Archaeosporales, Glomerales, Diversisporales ve Paraglomerales olmak üzere dört takım ve 12 familyada (Şekil 1) sınıflandırılmaktadır (Anand vd., 2022).



Şekil 1. AMF familyalarının filogenetik profili (Anand vd., 2022).

Mikorizal funguslarlar, endomikorizal ve ektomikorizal funguslar olmak üzere iki tür kök biyotrofik birlik olarak kategorize edilmektedir (Kaur vd., 2014). Ektomikorizal funguslar kök hücrelerin etrafında gelişim gösterirken, endomikorizal funguslar bitki kökleri içerisinde gelişen kök kolonilezerleridir. Endomikorizal fungusların; arbusküler, arbutoid, monotropoid, erikoid ve orkide (orchidaceous) mikorizalar olmak üzere beş tipi bulunmaktadır (Barman vd. 2016). Bunlar arasında, daha önce Vesiküler Arbusküler Mikoriza (VAM) olarak bilinen AMF en çok çalışılan ve en iyi bilinen grubu temsil etmektedir (Kaur vd., 2014; Lehmann vd., 2017).

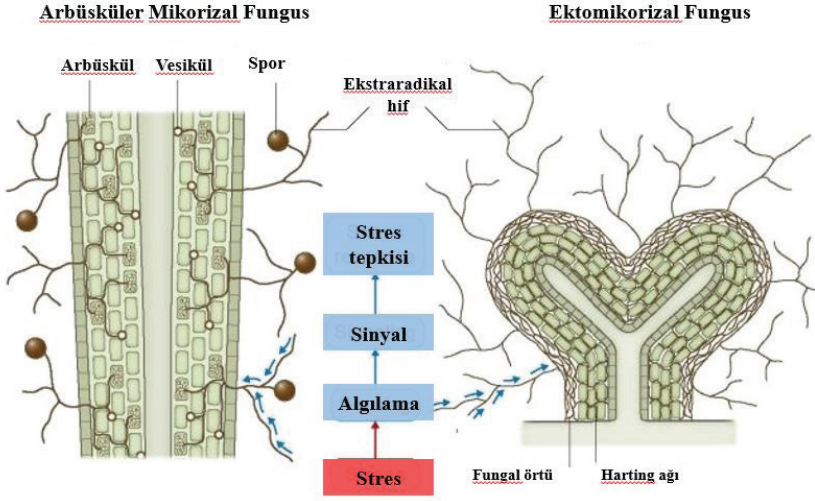
AMF, artan absorpsiyon, kuraklık ve tuzluluğa tolerans, diğer faydalı mikroorganizmalarla işbirliğine dayalı karşılıklı ilişkileri nedeniyle konukçularının büyüme ve gelişimi açısından büyük öneme (Şekil 2) sahiptir (Sreenivasa ve Bagyaraj, 1989). Konvensiyonel tarımla karşılaştırıldığında, toprak koşullarının sürdürülebilir tarımda AMF için daha elverişli olması muhtemeldir (Moricca ve Ragazzi, 2008).



Şekil 2. AMF kolonizasyonu ve bitki büyümesini teşvik etme, abiyotik/biyotik streslerin yönetimi ve besin maddelerinin alımındaki potansiyel rolleri (Anand vd., 2022).

Mikorizal birliktelik, konukçu bitkinin kuraklık gibi olumsuz toprak koşullarına karşı köklerin yüzey alanının arttırmasına yardımcı olmakta ve toprak biyotasının önemli bir fonksiyonel grubunu oluşturan bazı besinlerin alımını arttırmaktadır (Lehmann vd., 2017). Obligat simbiyontlar olan AMF, besinleri ve yaşam döngüleri için tamamen konukçu bitkiye bağımlıdır ve karşılığında AMF, bitkilere rekabet avantajı sağlamaktadır. (Smith ve Read, 2008). AMF, fosfor (P), potasyum (K), azot (N) gibi besinlerin ve su alımını artırmasının yanı sıra kök büyümesini destekleyen antimetabolitler ve hormonlar salgılayarak kök yüzey alanını genişletmeye yardımcı olduklarından kuraklık, tuzluluk, ağır metaller ve düşük/yüksek sıcaklık gibi abiyotik streslerin hafifletilmesine önemli katkılar sunmaktadırlar (Feddermann vd., 2010; Igiehon ve Babalola, 2017).

Abiyotik ve biyotik stresler, AMF'in ekstraradikal hifleri tarafından algılanır ve miselyum yoluyla sinyal oluşturularak konukçu hasarını hafifleten ve/veya onaran (Şekil 3) stres tepkileri oluşturulur (Branco vd., 2022).



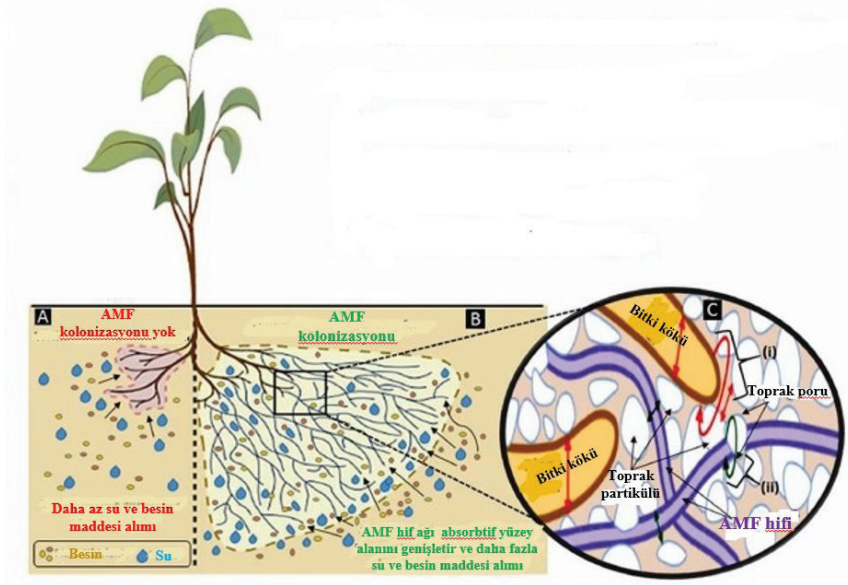
Şekil 3. Mikorizal fungusların strese tepkileri (Branco vd., 2022)

Bitki kökleri üzerinde AMF miselyumu, köklerin yüzey alanlarını genişleterek erişilemeyen toprak hacimlerinden bitki besin maddelerinin alımını sağlamaktadır (Smith vd. 2000). Ayrıca, köklerden çok daha ince yapıları nedeniyle fungus hifleri daha küçük gözeneklere ulaşabilmektedir (Allen, 2011). Karbonhidratlar ve mineral besinler daha sonra bitki ve fungus arasındaki ara yüz boyunca köklerin içinde uygun formlara dönüştürülür. AMF hifleri, yalnızca kök korteksini kolonize eder ve hücre içinde, besin değişiminin fonksiyonel bölgesi olarak kabul edilen arbuskül adı verilen dallanmış yapılar meydana getirirler (Balestrini vd., 2015). Böylece AMF, yetersiz besin kaynağının neden olduğu bitki büyümesindeki sınırlamayı hafifletmektedir (Nouri vd., 2014).

Yukarıda bahsedilen özelliklere ek olarak, AM etkileşimleri, bitkilere gelişmiş kuraklık ve tuzluluk toleransı (Augé, 2001, 2004; Li vd., 2006; Porcel vd., 2011; Augé vd., 2015) ve hastalık direnci (Pozo ve Azcon-Aguilar, 2007) gibi faydalar da sağlamaktadır. Son yıllarda abiyotik strese (kuraklık, tuzluluk) bitki tepkisi üzerine AMF'nin etkisini incelemek için bazı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, bitkilerin strese karşı artan toleransından sorumlu mekanizmalar henüz tamamen aydınlatılmış değildir. (Augé, 2001; Ruiz-Lozano, 2003; Bárzana vd., 2015; Augé vd., 2015; Sánchez-Romera vd., 2015). Demir (Fe), bakır (Cu) ve çinko (Zn) gibi metaller, birkaç hücre altı kompartımanda temel roller oynarlar, ancak bunlar, yüksek konsantrasyonlarda toksik olan oldukça reaktif elementler grubunu oluşturmaktadır (Tamayo vd., 2014). AMF konukçu bitkilerde ağır metal toksisitesini hafiflettiği ve topraktaki yüksek metal konsant-

rasyonlarını tolere edebildiği bilinmektedir (Tamayo vd., 2014; Meier vd., 2015; Atakan vd., 2018; Atakan ve Özgönen Özkaya, 2021).

AMF, toprak yapısını ve agregasyonunu iyileştirdiklerinden ve bitki topluluklarının yapısını ve üretkenliklerini yönlendirdikleri için ekosistem üzerinde doğrudan etkilere sahiptirler (Leifheit vd., 2015; Rillig vd., 2015). AMF, işlevleri (Şekil 4) nedeniyle ekosistemin ekolojik olarak önemli bir organizması olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, bu fungusların ürün verimliliğini artırmak için biyogübre olarak kullanması oldukça mantıklı bir fikir olarak ileri sürülmüştür. Biyogübre, verim artışı ve sürdürülebilirlik için tarımın temel ihtiyacı olarak görülmektedir (Anand vd., 2022).



Şekil 4. AMF işlevlerinin şematik gösterimi: (A), AMF kolonizasyonu olmadan bitki kökü etrafındaki bölge, bitkinin besin ve su alımı için sınırlı emici yüzey; (B) bitki kökü etrafındaki geniş AMF ağı (mikorizosfer), bitkinin besin ve su alımı için genişletilmiş emici yüzey; (C). daha büyük çaplı bitki kökü, ince gözeneklerden toprak parçacıklarına erişemez, AMF hifleri daha incedir, daha ince toprak gözeneklerinden geçebilir (i) ve su potansiyelinin düşük olduğu durumda su emilimi artar (ii) (Kuila ve Ghosh, 2022).

3. AMF'in Kolonizasyon Mekanizmaları

Obligat biyotrof olan AMF'in, kolonizasyon mekanizmaları; konukçu arayışı, penetrasyon ve son olarak birkaç genin aktivitesini içeren birlik oluşturma olmak üzere üç ana aşamadan oluşmaktadır (Parniske, 2000). İlk aşamada, bitkiler strigolaktonlar (AMF'in konukçularını tanınmasına yardımcı olan ve büyümelerini ve dallanmalarını uyaran sinyal molekü-

lü) gibi bazı biyoaktif moleküller salgılar (Oldroyd, 2013; van der Heijden vd., 2015). Buna karşılık olarak, AMF, kendilerinin N fikse edici bakteriler ile iletişimde önemli bir rol oynayan ve mikorizal faktörler (Myc) olarak bilinen bir dizi bileşenler salgılamaktadır. (Feddermann vd., 2010; Miransari, 2011). Ayrıca, bazı genlerin (SYM genleri; CYCLOPS) indüksiyonu ile AMF-bitki etkileşimi kurulur. Konukçunun Myc faktörü reseptörleri Myc sinyallerini algıladığında, sitozolik kalsiyum (Ca) ve ikincil membran proteinlerinin (SYMPK) salgılanmasını indükleyen kök hücreleri aktive edilir. Bu protein, AMF sinyallerini doğrudan ve dolaylı olarak tanıma potansiyeline sahip reseptör benzeri kinazı kodlamaktadır. Daha sonra SYMPK, kinaz alanları aracılığıyla bilinmeyen bir substratı fosforile ederek gelen sinyalleri sitoplazmadan çekirdeğe iletir. Sitoplazmada bulunan tüm akış bileşenleri, çekirdeğe hızlı sinyal iletimini aktive eder ve Ca iyonunun (Ca^{2+}) salınımı tekrarlanır. Bu tekrarlanan salınımlar, sitoplazmada ve çekirdekte, SYM genlerinden birinin ürünü olan kalmoduline bağımlı bir protein kinaz tarafından çözülen Ca^{2+} kanallarının ve taşıyıcılarının alternatif aktivitesi yoluyla meydana gelir. Bütün bunlar, diğer genlerin regülasyonuna ve son olarak kök kolonizasyonunun gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Başlatma ve kimyasal tanımadan sonra, fungus hifleri konukçunun kökleri ile etkileşime girerler. Etkileşim sonrasında, hifler yavaş yavaş çoğalmaya başlar ve konukçu köklerinde hifopodyum (loblu hücrelerden oluşan hif ayağı) oluşturur. Bu adım birçok genin aktive olmasını sağlar ve hücre zarı bütünlüğünü bozmadan fungusların bitki içinde gelişimini sağlayan ön penetrasyon yapısı geliştirilir. Son olarak, arbuskül adı verilen yapının oluşumu başlar. Bu yapı, AMF'nin konukçu hücrenin sitoplazmasına yerleşmesine yardımcı olur (Barman vd. 2016; Anand vd., 2022).

AMF ve bitkilerin bu simbiyotik birlikteliği, her ikisi için de fayda sağlamaktadır. AMF için, bitki fotosentetik ürünleri olan heksoz ile birlikte karbon sağlar. Heksoz, fungus sitoplazmasının arbusküler kısmına taşınır, daha sonra uzun mesafeli fungal ağlarda kolayca taşınabilen glikojen ve triasilgliserol gibi uygun karbonhidrat formlarına dönüştürülür. Bitki için, AMF, kök yüzey alanını genişleterek su ve besin alımını artırmaktadır (Miransari, 2011; Zabihi vd., 2011).

4. AMF'nin Biyogübre Olarak Gelişimi ve Uygulanabilirliği

Bitki büyümesini teşvik etmeleri gibi faydaları dikkate alındığında, AMF sürdürülebilir tarımda önemli bir rol oynamaktadır. Başta P ve N olmak üzere farklı mineralleri harekete geçirdiği ve bitkilerde abiyotik stresi hafiflettiği daha önceleri de bildirilen bu mikroorganizmaların biyogübre olarak geliştirilmesi ve tarım alanlarında kullanımı (Mensah vd., 2015) oldukça önemli bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. AMF'nin, biyogübre olarak geliştirilmesi için en uygun türlerin seçiminde bazı faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir. AMF, tek başına yaşayamayan, endofit-

lerle değişebilen bir kombinasyon halinde yaşayan mikroorganizmalardır. Biyogübre potansiyeline sahip olan AMF, hızlı bir gelişim için gerekli olan yüksek bir ışık toleransına sahip olmalıdır. Aynı zamanda, toprakların çoğunda bulunabilen ve kısa sürede fazla miktarda inokulum üretebilme özelliğine sahip olmalıdır (Wood vd., 1984). Seçilen potansiyel türler, yaygın olarak kullanılan, substratsız üretim ve *in vitro* üretim sistemi ile seri olarak üretilebilir olmalıdır (Berruti vd., 2016).

Mikorizal fungus hiflerinin toprak içerisinde geniş alanlara yayılarak, besin bölgelerine rahatlıkla ulaşabilmeleri nedeniyle, immobil elementlerin alımı 60 kata kadar artmaktadır. Özellikle, konukçu köklerinde artan N, P, K, Zn, Fe, Cu, Ca, kükürt (S), magnezyum (Mg) ve mangan (Mn) alımı, AMF'nin başlıca avantajlarını ifade etmektedir (Hamel, 2004; Smith ve Read, 2010). Mikorizal bitkiler su ve besinlerini topraktan daha iyi alabildiği için çevresel streslere karşı daha dirençlidirler (Ernst, 1996). Bu nedenle, bu fungal simbiyontlar biyogübre olarak kullanılabilirdiği gibi ürünlerin korunmasında da bazı önemli rollere sahiptirler. AMF'nin, kök hastalıklarına ve sekonder patojen enfeksiyonlarına karşı direnci arttırması konukçu bitkinin hastalık direnciyle ilgili bazı savunma mekanizmalarının uyarılmasından kaynaklanmaktadır. AMF tarafından salgılanan bazı kimyasallar ile toprak tekstürü geliştirilerek toprak erozyonunun azaltılması sağlanmakta ve humusun sıkışması engellenmektedir. Bu durum toprağı daha gözenekli hale getirerek ve kök geçirgenliğini kolaylaştırmaktadır. AMF'nin etkin olarak kullanımı yalnızca çiftçilerin gelirini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda ürün verimini de artırır. Besin ve su alımı; fotosentez ve metabolizma süreçlerindeki pozitif etkileri sonucunda bitki büyüme ve gelişmesindeki artışla birlikte verim artışı sağlanmaktadır. Ayrıca biyogübre olarak AMF'nin kullanıldığı tarım sistemlerinde kimyasal gübre kullanımı ciddi miktarlarda azalacaktır. (Anand vd., 2022).

5. Sonuç

Geleneksel tarım sistemlerinde ürün verimini arttırmak için kimyasal gübrelere aşırı kullanım, çevre sağlığının bozulması ve toprak kirlilik gibi ciddi sorunları beraberinde getirmektedir. Sürdürülebilir tarımın gelişimi, kısmen geleneksel kimyasal gübrelerin ve pestisitlerin kullanımının azaltılmasına bağlıdır (Philippot vd., 2013; Babalola 2014; Alori vd., 2017). Kimyasal gübrelerin ekosistem üzerindeki zararlı etkileri dikkate alındığında, sürdürülebilir tarım ve çevre konusunda farkındalık yaratma ihtiyacı zorunlu hale gelmektedir. Biyogübreler, tarımın çeşitli çevresel streslerle karşı karşıya olduğu bir zamanda artan küresel nüfusu besleme sorununun çözülmesine yardımcı olabilir. Anand vd. (2022) belirttiği gibi kimyasal gübrelerin sürdürülebilir alternatiflerden biri olarak biyogübreler artık tarım alanlarında önemli bir girdi haline gelmiştir ve bu ürünlere olan talep günden güne artmaktadır. Bu sebeple, biyogübrelerin avantajlarının üreticiler ve tarım sektörüne aktarılarak sürdürülebilir tarım sistemlerine entegrasyonunun hızlandırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akgül, H., Nur, A. D., Sevindik, M., Doğan, M. (2016). *Tricholoma terreum* ve *Coprinus micaceus*' un bazı biyolojik aktivitelerinin belirlenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2), 158-162.
- Allen, M.F. (2011). Linking water and nutrients through the vadose zone: a fungal interface between the soil and plant systems: linking water and nutrients through the vadose zone: a fungal interface between the soil and plant systems. *J. Arid Land*, 3, 155-163.
- Alori, E.T., Dare, M.O., Babalola, O.O. (2017). Microbial inoculants for soil quality and plant health. *Sust Agric Rev*, 281-307.
- Anand, K., Pandey, G.K., Kaur, T., Pericak, O., Olson, C., Mohan, R., Yadav, A., Devi, R., Kour, D., Rai, A.K., (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi as a potential biofertilizers for agricultural sustainability. *J. Appl. Biol. Biotechnol*, 10, 90–107.
- Atakan A., Ozgonen Ozkaya H. (2021). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Glomalin. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 9(12), 2371-2375
- Atakan A., Ozgonen Ozkaya H., Erdoğan O. (2018). Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) on Heavy Metal and Salt Stress. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(11), 1569-1574.
- Augé, R.M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, 3-42.
- Augé, R.M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Can. J. Soil Sci.* 84, 373-381.
- Augé, R.M., Toler, H.D., Saxton, A.M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, 25, 13-24.
- Babalola, O.O. (2014). Does nature make provision for backups in the modification of bacterial community structures? *Biotechnol Genet Eng Rev*, 30, 31-48.
- Bagyaraj, D.J., Nethravathi, C.J., Nitin, K.S. (2016). Soil biodiversity and arthropods: Role in soil fertility. In: Chakravarthy AK, Sridhara S, editors. Economic and Ecological Significance of Arthropods in Diversified Ecosystems: Sustaining Regulatory Mechanisms. Singapore: Springer, 17-51.
- Bal, C., Akgul, H., Sevindik, M., Akata, I., Yumrutas, O. (2017). Determination of the anti-oxidative activities of six mushrooms. *Fresenius Envir Bull*, 26(10), 6246-6252.
- Balestrini, R., Lumini, E., Borriello, R., Bianciotto, V. (2015). "Plant-soil biota interactions," in Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry, ed E. A. Paul (London: Academic Press; Elsevier), 311-338.

- Barman, J., Samanta, A., Saha, B., Datta, S. (2016). Mycorrhiza. *Resonance*, 21, 1093-1104.
- Bárzana, G., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J.M. (2015). Localized and non-localized effects of arbuscular mycorrhizal symbiosis on accumulation of osmolytes and aquaporins and on antioxidant systems in maize plants subjected to total or partial root drying. *Plant Cell Environ.* 38, 1613-1627.
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., Bianciotto, V. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: Let's benefit from past successes. *Front Microbiol*, 6,1559.
- Branco, S., Schauster, A., Liao, H. L., Ruytinx, J. (2022). Mechanisms of stress tolerance and their effects on the ecology and evolution of mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 235(6), 2158-2175.
- Eraslan, E. C., Altuntas, D., Baba, H., Bal, C., Akgül, H., Akata, I., Sevindik, M. (2021). Some biological activities and element contents of ethanol extract of wild edible mushroom *Morchella esculenta*. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 39(1), 24-28.
- Ernst, W. (1996). Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants. *Appl Geochem*, 11, 163-167.
- Feddermann, N., Finlay, R., Boller, T., Elfstrand, M. (2010). Functional diversity in arbuscular mycorrhiza-the role of gene expression, phosphorous nutrition and symbiotic efficiency. *Fungal Ecol*, 3, 1-8.
- Fraç, M., Hannula, S.E., Bełka, M., Jędryczka, M. (2018). Fungal biodiversity and their role in soil health. *Front Microbiol*, 9, 707.
- Hamel, C. (2004). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on N and P cycling in the root zone. *Can J Soil Sci*, 84, 383-395.
- Igiehon, N.O., Babalola, O.O. (2017). Biofertilizers and sustainable agriculture: Exploring arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl Microbiol Biotechnol*, 101, 4871-4881.
- Ismail, E.G., Walid, W.M., Salah, K., Fadia. E.S. (2014). Effect of manure and bio-fertilizers on growth, yield, silymarin content, and protein expression profile of *Silybum marianum*. *Adv. Agric. Biol.* 1(1), 36-44.
- Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K., Barea, J.M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol Fert Soils*, 37, 1-16.
- Kaur, R., Singh, A., Kang, J. (2014). Influence of different types mycorrhizal fungi on crop productivity. *Curr Agric Res J*, 2(1), 51-54.
- Kuila, D., Ghosh, S. (2022). Aspects, problems and utilization of Arbuscular Mycorrhizal (AM) application as bio-fertilizer in sustainable agriculture. *Current Research in Microbial Sciences*, 100107.
- Lehmann, A., Leifheit, E., Rillig, M. (2017). Mycorrhizas and soil aggregation. In: Johnson N, Gehring C, Jansa J, editors. *Mycorrhizal Mediation of Soil*.

Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 241-262.

- Leifheit, E.F., Verbruggen, E., Rillig, M.C. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi reduce decomposition of woody plant litter while increasing soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.* 81, 323-328.
- Li, H.Y., Yang, G.D., Shu, H.R., Yang, Y.T., Ye, B.X., Nishida I, (2006). Colonization by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus versiforme* induces a defense response against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in the grapevine (*Vitis amurensis* Rupr.), which includes transcriptional activation of the Class III chitinase gene VCH3. *Plant Cell Physiol*, 47, 154-163.
- Mcgonigle, T.P., Miller, M.H. (1989). Development of fungi below ground in association with plants growing in disturbed and undisturbed soils. *Soil Biol Biochem*, 28, 263-269.
- Meier, S., Cornejo, P., Cartes, P., Borie, F., Medina, J., Azcón, R. (2015). Interactive effect between Cu-adapted arbuscular mycorrhizal fungi and biotreated agrowaste residue to improve the nutritional status of *Oenothera picensis* growing in Cu-polluted soils. *J. Plant Nutr: Soil Sci.* 178, 126–135.
- Mensah, J.A., Koch, A.M., Antunes, P.M., Kiers, E.T., Hart, M., Bücking, H. (2015). High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi is associated with differences in phosphate and nitrogen uptake and fungal phosphate metabolism. *Mycorrhiza*, 25, 533-546.
- Miransari, M. (2011). Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol*, 89, 917-930.
- Mishra, P., Dash, D. (2014). Rejuvenation of Biofertilizer for Sustainable Agriculture and Economic Development. *Consilience: The Journal of Sustainable Development*, 11(1), 41-61.
- Moricca, S., Ragazzi, A. (2008). Fungal endophytes in Mediterranean oak forests: A lesson from *Discula quercina*. *Phytopathology*, 98, 380-386.
- Nouri, E., Breuillin-Sessoms, F., Feller, U., Reinhardt, D. (2014). Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in *Petunia hybrida*. *PLoS ONE*, 9, e90841.
- Oldroyd, G.E. (2013). Speak, friend, and enter: Signalling systems that promote beneficial symbiotic associations in plants. *Nat Rev Microbiol*, 11, 252-263.
- Parniske, M. (2000). Intracellular accommodation of microbes by plants: A common developmental program for symbiosis and disease? *Curr Opin Plant Biol*, 3, 320-328.
- Philippot, L., Raaijmakers, J.M., Lemanceau, P., Van Der Putten, W.H. (2013). Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nat Rev Microbiol* 11, 789-799.
- Porcel, R., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J.M. (2011). Salinity stress alleviation using

- arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 181-200.
- Pozo, M.J., Azcón-Aguilar, C. (2007). Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Curr. Opin. Plant Biol.* 10, 393-398.
- Raghuwanshi, R. (2012). Opportunities and challenges to sustainable agriculture in India, *NEBIO* 3(2), 78-86.
- Rillig, M.C., Aguilar-Trigueros, C.A., Bergmann, J., Verbruggen, E., Veresoglou, S.D., Lehmann, A. (2015). Plant root and mycorrhizal fungal traits for understanding soil aggregation. *New Phytol.* 205, 1385-1388.
- Ruiz-Lozano, J.M. (2003). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza*, 13, 309-317.
- Sánchez-Romera, B., Ruiz-Lozano, J.M., Zamarreño, Á.M., García-Mina, J.M., Aroca, R. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and methyl jasmonate avoid the inhibition of root hydraulic conductivity caused by drought. *Mycorrhiza*, 26(2), 111-122.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105, 1413-1421.
- Sevindik, M., Akgül, H., Günal, S., Doğan, M. (2016). *Pleurotus ostreatus*' un doğal ve kültür formlarının antimikrobiyal aktiviteleri ve mineral madde içeriklerinin belirlenmesi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 16(1), 153-156.
- Sevindik, M., Akgul, H., Akata, I., Alli, H., Selamoglu, Z. (2017). *Fomitopsis pinicola* in healthful dietary approach and their therapeutic potentials. *Acta alimentaria*, 46(4), 464-469.
- Sevindik, M., Akgul, H., Bal, C., Selamoglu, Z. (2018). Phenolic contents, oxidant/antioxidant potential and heavy metal levels in *Cyclocybe cylindracea*. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 52(3), 437-441.
- Smith, F.A., Jakobsen, I., Smith, S.E. (2000). Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. *New Phytol.* 147, 357-366.
- Smith, S.E., Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*, 3rd Edn. London: Academic.
- Smith, S.E., Read, D.J. (2010). *Mycorrhizal Symbiosis*. San Diego: Academic Press.
- Sreenivasa, M., Bagyaraj, D. (1989). Use of pesticides for mass production of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculum. *Plant Soil*, 119, 127-132.
- Sturz, A., Carter, M., Johnston, H.A. (1997). Review of plant disease, pathogen interactions and microbial antagonism under conservation tillage in temperate humid agriculture. *Soil Tillage Res.* 41, 169-189.

- Tamayo, E., Gómez-Gallego, T., Azcón-Aguilar, C., Ferrol, N. (2014). Genome-wide analysis of copper, iron and zinc transporters in the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis*. *Plant Traffic Transp*,5, 547.
- van der Heijden, M.G., Martin, F.M., Selosse, M.A., Sanders, I.R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. *New Phytol*, 205, 1406-1423.
- Wood, T., Bormann, F., Voigt, G. (1984). Phosphorus cycling in a northern hardwood forest: Biological and chemical control. *Science*, 223, 391-393.
- Zabihi, H., Savaghebi, G., Khavazi, K., Ganjali, A., Miransari, M. (2011). *Pseudomonas* bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions. *Acta Physiol Plant*, 33,145-152.

“

Bölüm 10

GIDA İŞLETMELERİNDE ENTEGRE YÖNETİM SİSTEMLERİ¹

Haydar Kurt², Seval Andiç^{3}*

1 Bu çalışma Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD’da Doç. Dr. Seval Andiç danışmanlığında Haydar Kurt tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinin bir kısmıdır

2 Tarım ve Orman Bakanlığı, İstanbul Tarım ve Orman İl Md, Gıda ve Yem Şubesi, ORCID ID: 0000-0002-0256-4710

3* Sorumlu Yazar: Yüzüncü Yıl Üniv. Mühendislik Fak. Gıda Mühendisliği Böl. Van. ORCID ID: 0000-0002-8306-0222

”

GİRİŞ

Kalite kelimesi sözlüklerde; bir nesnenin iyi veya kötü olma özelliği yani ürüne değer katan, yapım, dış manzara, renk, tat gibi ona ait özellikler olarak tanımlanır. Burada ifade edilen herhangi bir bakımdan üstünlük ve eksikliklerdir. Halk genellikle, kalite kavramını bir nesnenin diğer nesnelere göre üstünlüğü, iyiliği yani artı değerleri olarak algılar.

İnsanlık tarihi kadar eski bir kavram olan kalite kavramı zaman içerisinde gelişerek, basit tanımı ile müşteri memnuniyetini sağlamanın ötesinde sürekli iyileştirmeyi öngören ve çalışanların motivasyonunu artırmayı teşvik eden bir anlam kazanmıştır. Bu yeni tanım kalitenin çevre ve iş güvenliği kavramları ile bütünsellik içerisinde hareket etmesi gerektiği sonucunu doğurmuştur. Buna göre ürün/hizmetin uygunluğunu sağlama hedefi tek başına yeterli olmayıp aynı zamanda ürünün üretimi esnasında oluşabilecek etkilerin tanımlanması ve önlemlerinin alınması ile çalışanların motivasyonunu artırmaya yönelik çalışma ortamı koşullarının oluşturulması hedeflenmiştir (Parlak, 2004).

Bu çerçevede uygulamada aslında yasal zorunluluğu bulunmayan fakat gıda güvenliğinin ve kalitesinin güvence altına alınmasını sağlayan ISO 22000; üretilen şeyin çevreye olan etkilerini değerlendiren ISO 14000; işletmelerde işin yürütülmesi kapsamında ortaya çıkan tehlikelerden, korunmak ve daha iyi bir iş ortamı yaratmak amacıyla OHSAS 18000 gibi kalite yönetim sistemlerinin şirketler açısından önemi artmaktadır. Bazı durumlarda, örneğin bazı Avrupa ülkelerine yapılacak gıda ihracatlarında, zorunlu olduğu için BRCGS (British Retail Consortium Food Safety Global Standarts), IFS (International Featured Standart) gibi standartlar da önem kazanmaktadır. Bu nedenlerle işletmelerin hem uluslararası piyasalarda rekabet edebilmeleri, hem de tüm piyasalarda tüketici sağlığını koruyarak güvenini kazanabilmeleri açısından bu standartların uygulanması ve belgelendirilmesi rekabet gücünün sürdürülebilirliği açısından bir zorunluluk haline gelmiştir (Uludemirciler, 2011).

Müşteri ihtiyaç ve taleplerinin çeşitliliği, aynı anda kuruluşta birden çok yönetim sisteminin işletilmesini gerektirmektedir. Bu sistemlerin farklı yapılarda ve bakış açılarında kurulmuş olması, sistemlerin yönetilmesinde güçlükler yaratmaktadır. Ayrıca farklı sistemlerin ayrı ayrı yönetilmesi de ilave yönetim ve denetim maliyeti getirmektedir. Bu nedenle karşılaşılabilecek sorunların aşılması için sistemler Entegre Yönetim Sistemi (EYS) olarak kurulabilir ya da mevcut sistemler sonradan entegre hale getirilebilir (Jørgensen ve ark., 2006).

Entegre yönetim sistemleri, kalite, çevre, iş sağlığı ve güvenliği vb. konulardaki yönetim sistemlerinin tek bir çatı altında toplanarak bir bütünlük içinde yönetilmesi amacıyla kurulan sistemlerdir. Entegre yönetim

sistemleri ile şletmelerde uygulanacak olan kalite yönetim sistemleri bir araya getirilerek koşul, gereklilik veya standartların ortak olarak karşılanmasına yönelik el kitabı, prosedür veya talimatlar oluşturulur. Sistem kurulurken ortak koşullar bir araya getirilir detaylar ise genel koşullara eklenti olarak ilave edilir (Maier ve ark., 2015). Ürün, çevre, insan sağlığı ve güvenliği konusundaki maddeleri içeren yönetim sistemi standartlarının hepsinde entegrasyonu kolaylaştırıcı ortak maddeler bulunmaktadır. Politika, üst yönetimin gözden geçirilmesi faaliyetleri, eğitim, düzeltici faaliyetler, önleyici faaliyetler ve uygulamaları, iç denetimler, sürekli iyileştirme, yasal gerekliliklere uyum, dokümanların ve kayıtların kontrolü vb. gibi ortak maddeler söz konusu yönetim sistemlerinin yaklaşık %70'lik bir bölümünü oluşturmaktadır. Sistemlerdeki ortak özelliklerin fazla olması, EYS kurularak uygulanması ve denetimi söz konusu olduğunda; planlama, uygulama ve uygunluk sağlamada birçok avantaj sağladığından şletmeler için EYS geçiş bir gereklilik haline gelmektedir (Sanz-Calcedoa ve ark., 2015).Entegre yönetim sistemlerine geçiş ile diğer gereklilikler de yerine getirilerek ürün kalitesi müşteri istekleri doğrultusunda en yüksek noktaya çıkarılabilir.

Kalite kavramının evrimine bakıldığında; Kalite Kontrol, Kalite Güvencesi ve Toplam Kalite Yönetimi kavramları ile karşılaşılır.

Kalite Kontrol: Müşteriler tarafından tanımlanmış gerçek ihtiyaçlara göre geliştirilmiş ürünlerin test edilmesi sürecidir. İşletmede ürün tasarımı için üretimden ayrı olarak görev yapan uzmanlaşmış kalite kontrol bölümü vardır. Üretim sürecinin sonunda kontrol yapılarak problemler saptanır. Kalite kontrol, kalite isteklerini sağlamak için kullanılan uygulama teknikleri ve faaliyetleridir. Yani ürün özelliklerinin ölçüm işlemi, ölçülen değerlerin standartlarla karşılaştırılması, standartlara uygun değil ise düzeltici faaliyetlerin yapılmasıdır. Kalitenin korunması, kalitenin geliştirilmesi ve üretimi en düşük maliyetle gerçekleştirmek amacıyla üretim öncesi, üretim aşaması ve üretim sonrası süreçlerinde uygulanan işlemlerin toplamıdır (Juran, 2005; Ishikawa 1989).

Kalite Güvencesi: Müşteriler tarafından tanımlanmış gerçek ihtiyaçlara göre geliştirilmiş ürünlerin, üretim aşamasında üretim süreci ile bütünleştirilerek kalite kontrollerini yapma ve kalite sorumluluğunun taşınmasıdır. İşletmelerin ürün veya hizmetleri ile müşterilerini sürekli olarak tatmin edeceklerine dair güvence vermesidir (Wu ve ark., 2009).

Toplam Kalite Yönetimi: Toplam Kalite Kavramı ilk kez Dr. Armand V. Feigenbaum tarafından ortaya atılmıştır. Feigenbaum toplam kaliteyi işletmenin bütün birimleri ve çalışanları ile yürütülen bir çalışma olarak tanımlarken herkesin görevi olan kalitenin, hiç kimsenin görevi olmaması haline dönüşmesinden korkmuştur. Bu nedenle kalite kontrol uzmanları

tarafından yürütülen kalite kontrolünü desteklemiştir (Feigenbaum, 1997).

Toplam Kalite Yönetimi iç ve dış müşteri beklentilerinin karşılanmasını temel alarak, çalışanların bilgilendirilip yetkilendirilmesini ve takım çalışmalarıyla tüm süreçlerin sürekli iyileştirilmesini hedefleyen bir yönetim düşüncesidir ve ilk olarak 1960'larda imalat sanayi işletmelerinde uygulanmıştır (Hackman ve Wageman, 1995; Scrabec, 2000; Lagrosen ve ark., 2004).

Toplam Kalite Yönetimi, ürünün elde edilmesinde işletme personelinin kullanımının sağlanması temeline dayandığından, en azından uzun dönemde sıfır hata ile ürünün kalitesinin yükseltilmesini, maliyetlerin düşürülerek israfın önlenmesini, ürünün tüketicilere zamanında ve yerinde teslimini satış sonrasında kalite sorumluluğunun üstlenmesini ve ürüne ilişkin hizmetlerin sağlanarak tüketicilerin yüzde yüz doyuma ulaşılmasını temel ilke olarak kabul eder. Kalitenin toplam yönetimi uygulanması, kalite kontrol ve kalite güvencesi uygulamalarını kapsar. Ancak, bu kapsamdaki kalite kontrol ve kalite güvencesi kavramları önceki dar kapsamlarından kurtarılmıştır. Böylece kalite kontrol; tüketiciyi daima memnun edecek (en ekonomik, en kullanışlı vb.) özelliklere sahip ürünlerin tasarlanması, geliştirilmesi, üretilmesi ve satış sonrası hizmetlerin verilmesi aşamalarında kalitenin sağlanması ve korunması demektir (Güleş ve Bülbül, 2004).

Kalite güvencesi ile sorunlar değil bu sorunları oraya çıkaran nedenler ortadan kalkacaktır. Kalitenin toplam yönetiminde, kalite kontrol ve kalite güvencesi uygulamalarına rağmen, müşteriye kadar ulaşmış kalite problemi olan bir ürün olabileceği de düşünülmüştür. Böyle bir durumda müşterilerin kalitesiz ürünler ile ilgili gizli şikâyetlerinin ortaya çıkarılması gerekir. Öncelikle işletmeler, müşterilerin şikâyetlerine samimiyetle açık olduklarını topluma ulaştırmak ve onları buna teşvik etmek zorundadırlar. Müşteri şikâyetlerinin, işletme yönetimine ulaşması konusunda bilgi akış sistemi oluşturulmalıdır. Şikâyetler ulaştığında ise; durum incelenmeli, tüketicilerin ellerindeki ürün en hızlı şekilde kalitelisi ile değiştirilmeli, müşteri memnuniyetsizliği giderilmelidir. Ürünler için garanti sürelerinin verilmesi, servis istasyonlarının kurulması kullanma kılavuzu ve yedek parça temini konularında satış teşkilatı ile sürekli bilgi akışı sağlanmalıdır.

Toplam Kalite Yönetimi, sadece ürün/hizmet kalitesi ile ilgili olmayıp tüketicilerin ihtiyaçlarının belirlenmesinden başlamak üzere, tasarlanan ve geliştirilen ürün ve/veya hizmetin tüketiciye sunumuna ve sunum sonrası hizmetlere kadar üstün ve sürekli yenilenen yüksek kaliteyi hedef alır. Toplam Kalite Yönetimini uygulayan işletmelerin örgüt içi ve örgüt dışında başarıyı esas almaları gerekir. Böylece kalite politikası mal ve hizmetin tasarım aşamasında başlayıp, üretim süreci ve üretim sonrası hizmetlerle sürekli devam eder. Kalitesiz bir ürünün tüketiciye ulaşmış olması ciddi bir

sorundur. Böyle bir durumda derhal kalitesizliğe neden olan durum saptanmalı ve ortadan kaldırılmalıdır. Durumu saptama her zaman kolay değildir. Bu nedenle sonuçtan başlayarak aşama aşama nedene doğru gidilir. Esas neden bulunur ve ortadan kaldırılır. Böylece, bir sistem anlayışı ile sağlanan toplam kalite yine aynı bütünlük içinde sorunları da çözer (Parlak, 2004).

Toplam Kalite Yönetimi bir firmada uygulandığında işletmenin maliyetinin minimizasyonu, piyasa koşullarına uygun olarak üretim, müşterilerin ihtiyaçlarının karşılanması ve personelin motivasyonu sağlar. Yani bu sistemle bir firma piyasada rekabet üstünlüğünü yakalayabilir.

Toplam kalite yönetimi ile sağlanacak faydalar Şekil 1’de verilmiştir (Gözlü, 1994).

Toplam Kalite Yönetimi ile sağlanacak faydalar	Doğru kaynak kullanımı ile israfın azaltılması,
	Ürün ve hizmet kalitesinde artış,
	Doğru bir işbirliği ile verimlilikte artış,
	Uygun bir organizasyon ile işgücünün teşvik edilmesi,
	Tasarım, üretim, ve dağıtım süreçlerinde kısalma,
	Müşteri odaklı üretim,
Değişen taleplere göre esnek üretim	

Şekil 1. Toplam Kalite Yönetimi ile sağlanacak faydalar

GIDA SEKTÖRÜNDE KALİTE YÖNETİMİ

Gıda sektörü, tarım ürünlerinin değerlendirilmesi, beslenme olanaklarının sağlanması ve dış ticarete konu olması bakımından önemli bir sanayi dalıdır. Bu sanayi dalının, fonksiyonlarını tam olarak gerçekleştirmesini sağlayan faktörlerden biri de kalite yönetimidir. İşletmelerin kalite hedefleri ve politikaları, bu hedeflere ulaşmak için kullandıkları yöntemler, kalite konusunda pazarın mevcut yapısı ve yasal çerçeve kalite yönetimini oluşturan unsurlardır.

Gıda güvencesinin ve gıda güvenirliliğinin sağlanması, gerek gelişmiş gerekse gelişmekte olan ülkeler açısından çözüm bekleyen bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu sorunun çözümünde en önemli unsurlardan biri gıda üretim ve tüketiminde kalite düzeyinin geliştirilmesi ve sürekliliğinin sağlanmasıdır. Yaşam koşullarının değişimine paralel olarak, tüketim alışkanlıklarının farklılaşması, işlenmiş gıda ürünleri talebinin artması, tü-

ketici beklentilerinin sağlıklı ve güvenli gıda yönünde değişmesi, teknoloji ile birlikte üretim olanaklarının gelişmesi yurtiçi ve yurtdışı rekabetin artması, hükümetlerin bu konuya öncelik vermesi gibi birçok faktör, gıda sektöründe kalitenin vazgeçilmez bir unsur olmasına neden olmuştur. Gıda işletmeleri üretim süreçlerinin ve ürünlerinin belirlenen spesifikasyon ve standartlara uygunluğunu sağlamak ve gerekli düzeltmeleri yapmak üzere farklı alternatiflerden yararlanarak işleme teknolojisinde, taşımada, ambalajlamada, kalite güvencesini sağlayacak uygun yöntemleri kullanmaktadırlar. Bu yöntemler işletmenin üretim ve pazarlama hedeflerine, kalite anlayışına, mevcut fiziksel ve teknolojik olanaklarına göre basit anlamdaki kalite kontrolden, kalitenin güvence altına alınmasını sağlayan sistemlere kadar değişebilmektedir. Gıda işletmelerinde kalite yönetimi, kalite anlayışının gelişimine paralel olarak değişim göstermektedir. Hatalı ürünlerin tespit edilmesine yönelik ürün test ve kontrolleri ile sürecin uygunluğunu belirleyen kalite kontrolleri gıda sanayinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak kaliteyi kontrol etmek yerine kaliteyi üretmenin daha ekonomik olduğu görüşünden hareketle işletmeler artık kaliteyi garanti altına alacak sistemleri kullanmaya yönelmektedirler. Kalite güvence sistemlerinin müşterilere verdiği güven, rekabet içindeki işletmeleri kalite sistemi kurmak konusunda hem zorlamakta ve hem de motive etmektedir. Kalite yönetimi kapsamında, gıda sektörüne has kalite güvence sistemlerinin kullanılması işletmelerin kalite düzeylerine ve özellikle dış pazar olanaklarını geliştirmelerine katkıda bulunmaktadır.

Gıda işletmelerinin, kalite sağlamaya yönelik olarak kullandıkları yöntemlerin başında malın kabul ya da reddedilmesi, kalitesinin değerlendirilmesi ve ürün homojenliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan kalite kontrol çalışmaları gelmektedir. Kalite kontrol süreci; standartların belirlenmesi, standartlara uygunluğun kontrol edilmesi, düzeltici kararların alınması ve geliştirme çalışmalarının yapılması aşamalarını kapsamaktadır (Ulusoy, 2001).

Gıda işletmelerinde ürün kontrollerinin yanı sıra sürecin devamlı kontrol altında tutulmasını sağlayan istatistiksel kalite kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. İstatistiksel tekniklerle, bozuk ürünlerin belirlenip ayrıldığı denetleme tekniğinin aksine ürün değil süreç kontrol edilmektedir. Yaygın biçimde kullanılan temel istatistiksel teknikler veri toplama, histogram, neden-sonuç analizi, pareto analizi, gruplandırma, dağılım diyagramı ve proses kontrol çizelgelerinden oluşmaktadır (Ulusoy, 2001).

Bir başka kalite aracı olan kalite kontrol çemberleri, işletme içinde kendi alanlarıyla ilgili konularda çeşitli sorunların belirlenmesi, incelenmesi ve çözümüne yönelik öneriler sunulması amacıyla oluşturulan gruplar olarak tanımlanmaktadır. Kalite kontrol çemberleri, katılımcı yönetim

ilkesinin benimsendiği bir organizasyon kültürünün var olduğu yerlerde etkin biçimde kullanılabilmektedir. Bu emberler, Japonların “kalite herkesin işidir” gerçeğinin kavranmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Kalite kontrol çemberlerinin uygulanması endüstri işletmelerinde önemli ölçüde verimlilik artışı ve para tasarrufu sağlamaktadır (Brannen ve Hranac, 1986). Bu amaçlarla, kalite yönetimi çerçevesinde kalite çemberlerinden yararlanan gıda işletmeleri bulunmaktadır.

Gıda Sektöründe Kaliteyi Geliştirmeye Yönelik Uygulamalar

İşletmelerde, gıdaların güvenliği ve yarayışlılığını garanti altına almak amacıyla kullanılan uygulama standartlarından biri iyi üretim pratikleridir. (Good Manufacturing Practices, GMP) Bu standartlar işletmedeki, kazanılan deneyimleri, tasarım ve yapısal olanakları, proses ve depolama koşullarının, sanitasyon ve kontrol işlemlerini kapsamaktadır. GMP kavramı Türk Gıda Kodeksinde, katkı maddelerinin beklenen teknolojik etkiyi sağlayacak en düşük miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. GMP, risk analizini içermediği için tek başına gıda güvenliğini sağlaması mümkün değildir. Ancak GMP'nin etkin biçimde uygulanması HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) sistemi için bir altyapı oluşturacak böylece HACCP uygulamasının yükü azalacak ve sistemin sadece kritik noktalara odaklanmasını sağlayacaktır (Ulusoy, 2001).

Gıda işletmelerinde bir diğer kalite aracı İyi Hijyen Uygulamaları (Good Hygiene Practices-GHP)'dir. Bu uygulamalar, tesis, makine parkı, hammadde ve personel hijyeni ile temizlik ve dezenfeksiyon talimatlarını içermektedir. İyi hijyen uygulamaları HACCP uygulamaları için bir ön koşul olarak belirtilmektedir.

Gıda rnlerinde kalitenin korunmasında ve kayıpların azaltılmasında, mikrobiyel gelişme ve çoğalmayı etkileyen engel parametrelerinden de yararlanılmaktadır. Engeller Teknolojisi (Hurdle Technology - HT) olarak isimlendirilen bu yöntemde yüksek ya da düşük sıcaklık (F), redoks potansiyeli (Eh), su aktivitesi (Aw), pH, koruyucu maddeler, rakip flora, iyonize radyasyon engel parametreleri olarak kullanılmaktadır. Engeller teknolojisi, bu parametrelerin tek tek ya da kombinasyon halinde kontrol altında tutularak gıdaların korunmasını garanti altına almış olup birleştirilmiş yöntemler etkisi olarak da bilinmektedir. Yüksek enerji gerektiren teknikler yerine engel parametrelerin kullanımıyla enerji tasarrufu sağlanmakta ve güvenli gıda üretimi daha ekonomik biçimde yapılabilmektedir (Leistner,2000).

Gıda sektöründe kaliteyi geliştirmeye yönelik olarak uygulanan bu yöntemlerin dışında kalite güvence sistemleri olarak ISO 9000, ISO 14000 standartları HACCP, BRC, IFS sistemlerinden yararlanılmaktadır.

ENTEĞRE YÖNETİM SİSTEMLERİ

Entegre Yönetim Sistemi (EYS), ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, HACCP, ISO 22000 vb. yönetim sistemlerinin tek çatı altında toplandığı ve gereklerin aynı anda karşılandığı bütünsel uygulanan sistemdir (Wilkinson ve Dale, 1999). Artan müşteri taleplerini karşılayacak yönetim sistemlerinin çeşitliliği, aynı anda kuruluşta birden çok yönetim sisteminin işletilmesini gerektirmektedir. Bu sistemlerin farklı yapılarda ve bakış açılarında kurulmuş olması, sistemlerin yönetilmesinde güçlükler yaratmaktadır. Ayrıca farklı sistemlerin ayrı ayrı yönetilmesi ilave yönetim ve denetim maliyeti de getirmektedir. Bu nedenle karşılaşılabilecek sorunların aşılması için sistemler EYS olarak kurulabilir ya da mevcut sistemler sonradan entegre hale getirilebilir.

Bir şirketi, yönetim sistemlerini entegre etmeye iten dış ve iç nedenler vardır (Sampaio ve Saraiva, 2011). İç nedenler organizasyonel, finansal ve çalışanlara sağlanan faydalar olarak sınıflandırılabilir. Dış neden ve faydalar ise ticari, ürün kalitesi, çevre güvenliği ve iş sağlığı ve güvenliği konularıdır (Suditu, 2007).

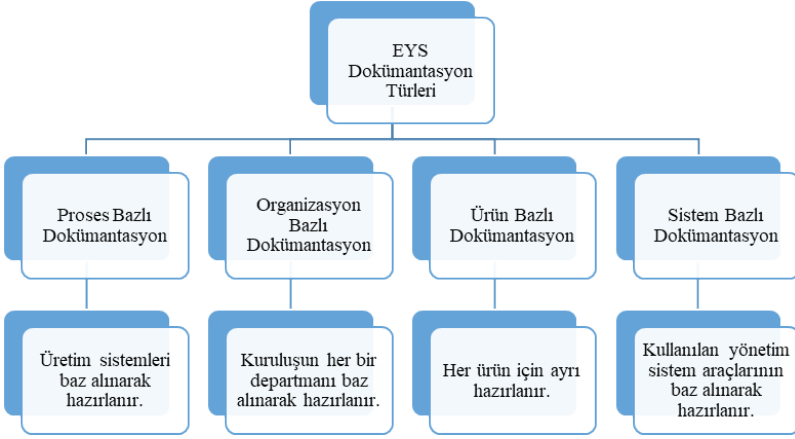
Entegre yönetim sistemlerinin işletmelere iç ve dış işleyişte sağladığı çok sayıda avantajlar mevcuttur. Bu sistemlerin işletmelere sağladığı dahili faydalar; bürokratik işlerde azalma, maliyette azalma, hedefler, süreçler ve kaynak uyumu, üretim süresinin kısalması, yönetim sistemleri arasında sinerji oluşturulması, verimlilik ve etkinlikte artış, kaynak optimizasyonu, dahil edilen sistemler için ortak eğitim yapılabilmesi, tekrürlerin ortadan kaldırılması, standartlar ve gereksinimlerin basitleştirilmesi ve uyumlu ve basitleştirilmiş dokümantasyon olarak sıralanabilir.

Entegre yönetim sistemlerinin işletmelere dışarıda ise rekabet avantajı, reklam avantajı, yasal gerekliliklere uyum, iç ve dış denetim entegrasyonu, kurumsal sorumluluk ve sürdürülebilirlik bilincinin oluşturulması ve geliştirilmesi gibi avantajlar sağlamaktadır. Tüm bunlar ise işletmeye pazarda avantaj sağlamaktadır (Domingues ve ark., 2015).

Firmalar müşteri ve ürün kalitesine verdikleri önemi ISO 9001 belgesi, çevreye ve çalışanlarına olan duyarlılıklarını da ISO 14001 ve OHSAS 18001 işçi Sağlığı ve Güvenliği Standartları ile göstermektedirler. ISO 9001 müşteri memnuniyetine dönük olarak firmanın tüm süreçlerinin iyi yönetilmesi, uygunsuzlukların azaltılması ve işletme performansının sürekli iyileştirilmesi ile ilgili iken iş güvenliği, çalışanların karşılaşılabilecekleri risklerle, çevre sistemi ise firmanın çevreyi nasıl etkilediği ile ilgilidir. EYS işletmede uygulanacak olan Kalite Yönetim Sistem (KYS)'lerinin bir araya getirilerek koşul, gereklilik veya standartların ortak olarak karşılanmasına yönelik el kitabı, prosedür veya talimatlar oluşturmak yoluyla planlandığı, yönetildiği, etkinliğinin sürekli olarak iyileştirdiği sistemler

bütünüdür. Sistem kurulurken ortak koşullar bir araya getirilir detaylar ise genel koşullara eklenti olarak ilave edilir.

EYS oluşturulmasında amaç her konunun sistem, denetim ve sürekli iyileştirme döngüsü kontrolünde olmasını sağlamaktır. EYS ile doküman sayısı azalırken, etkinlik artacaktır. Doküman oluşturmada ise farklı yaklaşımlar mevcuttur ve bu doküman türleri aşağıda verilmiştir (Şekil 2), (Labodová, 2004, Zeng ve ark. 2007).



Şekil 2. EYS dokümantasyon türleri

EYS İçeriği

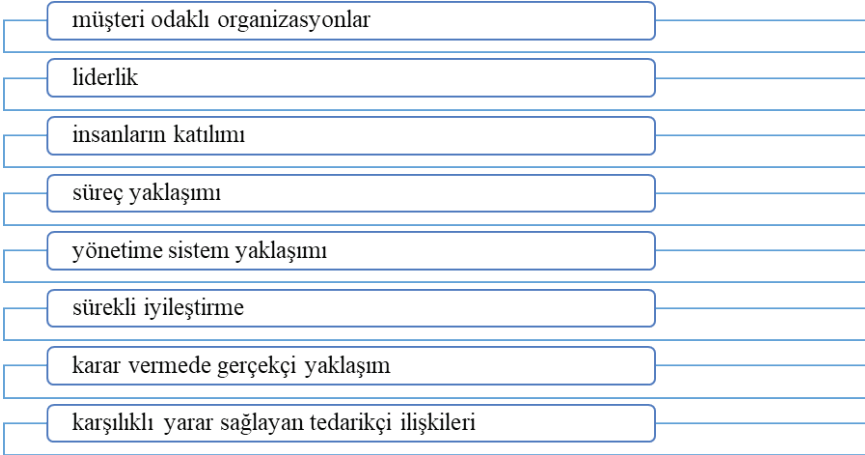
Entegre yönetim sistemleri her işletmenin ihtiyaç ve politikaları doğrultusunda tasarlanır ve oluşturulur. Oluşturulacak EYS işletmenin günlük ihtiyaçlarını karşılamının yanında ileriye dönük politikalarının belirlenmesinde de etkili olacaktır. Gıda işletmelerinde temel hedef olan güvenli ve kaliteli gıda üretiminin gerçekleştirilebilmesi için gıda güvenliği sistemlerinin yanında, çevre yönetim sistemleri, işçi sağlığı ve iş güvenliğini garanti altına alınacak standartlar gibi konularında yönetim sistemine dahil edilmesi gerekmektedir. Çünkü örneğin çevre sağlığını dikkate almadan yapılan bir gıda üretimi ne kadar kaliteli ve güvenli olursa olsun sürdürülebilir olamaz. Gıda işletmeleri için tasarlanan tipik bir “Entegre Yönetim Sistemi” genellikle aşağıdaki (Şekil 3) sistemleri içerir.



Şekil 3. Gıda işletmelerinde kurulan EYS’de bulunacak muhtemel sistemler

ISO 9001

ISO 9001 standardı, kalite yönetim sistemlerinin tasarımını ve uygulanmasını sağlayan bir dizi temel unsuru tanımlar. Son revize hali ISO 9001:2000’dir ve aşağıda verilen yönetim ilkelerine sahiptir.



Şekil 4. ISO 9001:2000 yönetim ilkeleri

Bu yol gösterici ilkelere bağlı olarak ISO 9001, beş ana yönetim gereksinimini tanımlar. Bunlar: (1) kalite yönetim sistemi, (2) yönetim sorumluluğu, (3) kaynak yönetimi, (4) ürün gerçekleştirme ve (5) ölçüm, analiz, ve iyileştirme (Boulter ve Bendell, 2002).

ISO 14000

ISO tarafından 1996 yılında, dünya çapındaki endüstriler arasında çevre yönetim sistemlerini standardize etmek için oluşturulmuş standart ve kılavuzlar dizisidir (Ghisellini ve Thurston, 2005).

ISO 14000 serisi çevre yönetim sistemi, çevre denetimi, çevresel etiketleme, çevresel performans değerlendirmesi ve yaşam döngüsü değerlendirmesi olmak üzere beş kısımdan oluşur. İşletmelerin çevreye verdikleri veya verebilecekleri zararların sistematik bir şekilde azaltılması ve mümkün ise ortadan kaldırılabilmesi amaçları ile geliştirilmiştir. Bu standart bir ürün değil sistem standardıdır ve ne üretildiği değil nasıl üretildiği ile ilgilidir (Zeng ve ark., 2003). ISO 14001 serinin çekirdeğidir ve kuruluşların, faaliyetlerinin, ürünlerinin veya hizmetlerinin doğal çevre üzerindeki etkisini kontrol etmelerini sağlar (Orecchini, 2000).

ISO 14001	•Çevre Yönetim Sistemleri Özellikler ve Kullanım Kılavuzu
ISO 14004	•Çevre Yönetimi -Çevre Yönetim Sistemleri- Çevre Yönetim Prensipleri Kılavuzu -Sistemler ve Destekleyici Teknikler
ISO 14010	•Çevre Yönetimi -Çevre Denetim Kılavuzu- Çevre ile İlgili Denetimin Genel Prensipleri
ISO 14011	•Çevre Yönetimi -Çevre Denetim Kılavuzu Denetim Usulü- Kısım 1- Çevre Yönetim Sistemlerinin Denetimi
ISO 14012	•Çevre Yönetimi -Çevre Denetçilerinin Haiz Olması Gereken Özellikler
ISO 14020	•Çevre Yönetimi-Çevre İle İlgili Etiketlemenin Temel Prensipleri
ISO 14030	•Çevre Performansı
ISO 14040	•Çevre Yönetimi -Hayat Boyu Değerlendirme- Genel Prensipler ve Uygulamalar

Şekil 5. ISO 14000 standart serisi

OHSAS 18001

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) yönetimi, çalışanların sağlığını korurken ve sürdürürken güvenli bir çalışma ortamı yaratmayı ve sürdürmeyi amaçlar (Suarez-Garcia, 2001). OHSAS 18001, belirli İSG performans kriterleri belirlememesine ve bir yönetim sisteminin tasarımı için ayrıntılı spesifikasyonlar vermemesine rağmen, herhangi bir kuruluş için geçerlidir. Yani hangi tür veya büyüklükte olursa olsun kuruluşlar çalışan sağlığı ve iş güvenliği yönetim sistemini kurmak durumundadırlar. Bu sistem birçok ülkede yasal zorunluluk halini almakta ve bu eğilim giderek yaygınlaş-

maktadır. Bu sistemin gereklilikleri şunlardır (Pun ve Hui, 2002).

- çalışanlarına ve ilgili taraflara yönelik riskleri en aza indirmek için bir İSG yönetim sistemi kurmak
- bir İSG yönetim sistemini uygulamak, sürdürmek ve sürekli iyileştirmek
- belirtilen İSG politikasına uygunluğundan emin olmak bu uygunluğu başkalarına göstermek
- harici bir kuruluş tarafından İSG yönetim sisteminin belgelendirilmesini/tescilini istemek
- standardın spesifikasyonlarına göre kendi kaderini tayin etme ve uygunluk beyanı yapmak

HACCP

Kritik Kontrol Noktalarında Tehlike Analiz Sistemi, gıda üretimi ve hazırlanmasındaki tüm aşamaların sistematik olarak değerlendirildiği ve üretimde ürünün güvenliği için kritik olan aşamaların belirlendiği ve kontrol edildiği bilime dayalı bir sistemdir (Gaze 2009). HACCP sistemleri, yüksek düzeyde gıda güvenliği sağlamayı amaçlayan ve tüketiciler ile endüstri arasında 2 yönlü bir ilişki kurulmasını kolaylaştıran 7 aşamalı bir prosedür (Tehlikenin Belirlenmesi, Kritik Kontrol Noktalarının Belirlenmesi, Kontrol Kriterleri ve Limitlerinin Belirlenmesi, İzleme Sisteminin Belirlenmesi, Düzeltici İşlemlerin Belirlenmesi, Doğrulama ve Denetim, Kayıt ve Dokümantasyon) izlenerek geliştirilmektedir. Aynı zamanda şirketlerin, bir firmanın iç kalite standartlarıyla ilgili yasal sorunları etkili bir şekilde belirlemelerini sağlar (Tzouros ve Arvanitoyannis 2000).

ISO 22000

ISO 22000:2005, etkili bir gıda güvenliği yönetim sistemi için gereksinimleri tanımlar ve bir kuruluşun gıda güvenliği tehlikelerini kontrol etme yeteneğini göstermek için kullanılabilir. ISO 22000, kuruluşların gıda güvenliği yönetim sistemlerinin etkinliğinin ve verimliliğinin geliştirilmesi, uygulanması ve iyileştirilmesi için bir gıda zinciri yaklaşımı benimsemelerini sağlar. Tedarik zincirinin herhangi bir yönüne dahil olan her büyüklükteki kuruluş tarafından ISO 22000, ISO 9001 ve destekleyici standartları ile birlikte uygulanabilir (ISO 22000:2005).

ISO 22000 HACCP standartların yerini alabilecek ve Dünya'da ISO 9000 gibi kabul görmüş bir standarttır. ISO 22000, HACCP sistemini çeşitli şekillerde güçlendirir. Bu bir yönetim standardıdır ve bu nedenle diğer yönetim sistemi standartlarıyla pek çok benzerliği vardır. Örneğin, politika, planlama, uygulama ve operasyon, performans değerlendirmesi, iyileştirme ve yönetim incelemeleri için gereksinimleri içerir. HACCP (ISO

22000'in bir gereğidir) kendi başına gıda güvenliği tehlikelerini önlemek için tasarlandığından, ISO 22000 önleyici bir eylem prosedürünün uygulanmasını gerektirmez.

ISO 22000, kendi bir gıda güvenliği yönetim sisteminin ilişkili yönetim sistemleriyle entegrasyonuna izin verir. Bir kuruluşun mevcut yönetim sistemini/sistemlerini ISO 22000 (ISO/TS 22004:2005) gerekliliklerini karşılayan bir gıda güvenliği yönetim sistemi oluşturmak üzere uyarlama potansiyeli vardır.

IFS

IFS'nin amacı, perakendeci markalı gıda ürünleri tedarik eden tüm kuruluşlar için tutarlı bir değerlendirme sistemi geliştirmektir ve 2000 yılında Avrupa, Kuzey Amerika ve Avustralya' da başlangıçta 40 ticari işletmenin katılımı ile oluşmuştur. Başlıca hedefleri şu şekilde sıralanabilir: (Gawron ve Theuvsen 2009).

- Uluslararası kabul görmüş gıda güvenliği standartlarını kapsayıcı bir çerçeve oluşturmak
- Gıda güvenliğinin gelişmesine yardımcı olmak
- Gıda güvenlik kriterleri ve takip prosedürlerinin standardizasyonunu sağlamak
- Tedarikçi taleplerine uygunluk,
- Gıda Güvenliğinin tedarikçiler tarafından kabulü,
- Tedarikçi denetim sayısında azalma,
- Ürün güvenlik ve kalitesinde gelişim,
- Verimli çalışmada gelişim ve rekabetçi pazar yapılanması sağlamak

BRC (British Retail Consortium Standard)

Birleşik Krallık'taki büyük perakendecilerle koordineli olarak, gıda tedarikçilerinin denetimini kapsamak amacıyla geliştirilen ve 1998'de yayımlanan bir standarttır. BRC' nin başlıca amacı, uluslararası kabul görmüş gıda güvenliği standartlarını kapsayıcı bir çerçeve oluşturmak ve gıda güvenliğinin gelişmesine yardımcı olmaktır. HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) gereklilikleri BRC'ye dahil edilmiştir, ancak bu standartta dokümantasyon, fabrika ve tesis durumu, ürünler ve süreçler üzerindeki kontroller ve personele daha fazla önem verilmektedir (Trienekens ve Zuurbier 2008).

Gıda güvenliği ile ilgili yeni gereksinimleri ve trendleri içermesini sağlamak için BRC standardında çeşitli güncellemeler yapılmıştır ve stan-

dart artık dünya çapında kabul görmüştür. BRC, gıda üreticilerine üretilen ürünlerin güvenli olmasını sağlamada yardımcı olacak bir çerçeve sağlarken, aynı zamanda müşterilerin gereksinimlerinin karşılanmasını sağlamak için ürün kalitesini yönetmede onlara yardımcı olur. BRC sertifikası, dünya çapında tedarikçilerinin performansını değerlendirmesi gereken birçok perakendeci, yemek hizmeti işletmesi ve üretici tarafından kabul edilmektedir (Kotsanopoulos ve Arvanitoyannis, 2017).

Entegrasyon Modelleri

Entegre yönetim sistemi oluşturma sürecinde, işletmelere süreci nasıl yönetebilecekleri hakkında teorik ve kavramsal açıklamalarla bilgi veren entegrasyon modelleri vardır. Ancak hangi model uygulanırsa uygulansın, süreç mutlaka amaç ve hedefler dikkate alınarak işletilmelidir (Idrogo, ve ark., 2011). Entegre yönetim sistemleri oluşturulması için önerilen başlıca modeller; sistematik, evrimsel, sinerjistik ve olgunluk modelleridir. Bunların dışında önerilen başka entegrasyon modelleri de mevcuttur (Domingues ve ark., 2015).

Sistematik model

Kalite, çevre ve iş güvenliği ve sağlığı yönetim sistemlerinin birleştirilmesi üzerine odaklanan bir modeldir. Modelde, yönetim ile hedefler, süreçler ve kaynaklar arasında bir denge oluşturma hedeflenir ve sosyal hesap verebilirlik ve finansal yönetim gibi kavramları dikkate alınır (Karapetrovic ve Willborn, 1998).

Evrimsel model

Evrimsel model, entegre yönetim sistemi oluşturulması sırasında sürekli öneriler yapılarak geliştirilen bir sistemdir (Domingues ve ark., 2015).

Sinerjistik model

Sinerjistik model, ISO 9001, ISO 14001 ve OHSAS 18001 standartlarındaki, dokümantasyon, politikalar ve hedef geliştirme, üst yönetim taahhüdü, sürekli iyileştirme, denetimler ve iç iletişim gibi çeşitli gereksinimler arasındaki potansiyel sinerjiyi dikkate alarak geliştirilen bir modeldir (Zeng ve ark., 2007).

Olgunluk modeli

Bir iş faaliyetinin başarısını ve sürdürülebilirliğini teşvik etme ilkelere dayanan olgunluk modeli üst yönetim için stratejik ve taktiksel bilgilerin geliştirilmesi ve üretilmesi amacıyla kritik noktaların belirlenmesi için uygulanır. Süreç yönetimindeki olgunluk derecesini ölçmek için oluşturulmuştur ve bir aşamadan daha gelişmiş bir aşamaya geçilir (Jabbour ve Santos, 2006) Bu model küçük ve orta ölçekli işletmelere odaklanır ve ISO 9001, ISO 14001 ve BS 8800 gereksinimlerinin uyumlaştırılması

yoluyla oluşturulur. Mevcut EFQM (Avrupa Kalite Yönetimi Vakfı) modeli ve ISO 9004 standart yapıları, olgunluk modellerine dayanmaktadır. Olgunluk değerlendirmesinin avantajı, kurumsal sürdürülebilir performans ve ürün ve hizmetlerin geliştirilmesi ile ilgili belirli bir bakış açısıyla güçlü ve zayıf noktaların belirlenmesidir. Olgunluk değerlendirme modelleri, iyi uygulandığında ve yorumlandığında, özellikle organizasyon ve paydaşlar için bütüncül bir vizyonla oluşturulan ilkelerle ilişkilendirildiğinde, süreçler arasındaki karşılıklı ilişki için katma değer üreten, işletme yönetiminin sürekli iyileştirilmesine yönelik araçlardır (Idrogo ve ark., 2011).

EYS Kurulum Aşamaları

İşletmelerin başarılı olabilmeleri ve sürdürülebilir bir üretim gerçekleştirebilmeleri ne kadar iyi yönetildikleri ile ilgilidir. Yönetim tarafından uygulanan kurallar içerisinde yazılı olanlarla birlikte yazılı olmayanlar da mevcut olabilir. Ancak ürün güvenliği, üretim sürecinin çevreye etkisi, üretimde rol alan çalışanların güvenliği gibi konularda yazılı, standart sistemlerin kılavuzluğuna ihtiyaç vardır ve çok büyük çoğunlukla bu sistemlerin kullanılması zorunludur.

İşletmeler bu sistemleri bir bütünlük içinde kullanabildikleri oranda üretim ve sürdürülebilirlik başarısı yakalayabilirler. Yönetim tarafından verilen doğru kararlar ile yönetim sistemleri süreçler etrafında organize olarak entegre edilebilir. Gıda işletmelerinde uygulanan kalite, çevre, iş sağlığı ve güvenliği, gıda güvenliği ve bilgi güvenliği gibi sistemler ayrı ayrı oluşturularak işletilebildiği gibi entegre edilerek te uygulanabilir. Sistemler işletme gerekliliklerine göre oluşturulduğundan toplam sistem içerisindeki katma değerleri işletmeden işletmeye değişecektir.

Hangi yönetim sistemlerinin seçileceği işletmeler açısından zor bir karardır. Yönetim sistemlerini seçiminde iç ve dış kazanımlar ile yasal gereklilikler dikkate alınmalıdır.

Yönetim sistem standartları içerisinde “ağırlıklı katkı değeri en yüksek standardın seçimi” kararı için karar destek modelidir.

Öncelikle sistem alternatifleri belirlenir. Bu alternatifler; kalite, çevre, iş sağlığı ve güvenliği, gıda güvenliği, müşteri memnuniyeti gibi konuları baz alan sistemlerdir. İkinci olarak ise sistemin katkı değeri olabilecek unsurlar belirlenir. Bu unsurlar aşağıda sıralanmıştır (Kuru, 2011).

- Çalışanlara olan katkısı
- Müşterilere olan katkısı
- Tedarikçilere ve diğer paydaşlara olan katkısı (Hissedarlar, Sigorta şirketleri, Bankalar vs)
- Ürüne / Hizmete olan katkısı

- Süreçlere ve / veya Sisteme olan katkısı
- Kaynaklara olan katkısı (Doğal Kaynak, Yatırımlar, Altyapı, Demirbaşlar)
- Topluma olan katkısı (Kamuoyu, Belediyeler, Komşular)
- Kuruluşun finansal yapısına olan katkısı
- Ülke ekonomisine olan katkısı
- Rekabete olan katkısı

Entegre Yönetim Sistemlerini Başarısı

Bir yönetim sistemindeki genel süreçler üst yönetimin taahhüdü, bir politikanın tanımı, amaç ve hedeflerin planlanması, çalışanların eğitimi için prosedürler, iletişim prosedürleri, denetimler, dokümantasyon ve kayıt kontrolü, uygunsuzluğun kontrolü, düzeltici ve önleyici faaliyetler ve yönetimin gözden geçirmesidir. Kurulacak veya mevcut sistemlerin uyumluluğunu geliştirmek entegre yönetim sisteminin başarısını arttıracaktır.

Sistemlerin entegrasyonu farklı şekillerde veya seviyelerde olabilir. Entegrasyon ISO 9000'e tam entegre, şirket çapında bir kalite yönetim sistemi oluşturulması, çeşitli standartlar tarafından paylaşılan ortak bağlantıların birleştirilmesi, kalite yönetim sistemleri ve çevre yönetim sistemlerinin diğer sertifikalandırılmış sistemlerle bağlanması veya sertifikalı ve sertifikasız sistemlerin genel yönetim sistemi ile entegrasyonu şeklinde olabilir ve tüm bu olasılıklar gerçek bir entegre yönetim sistemi ile sonuçlanır (Wilkinson ve Dale, 1999).

Ancak entegrasyonun kuruluşun çıkarlarına uygun olup olmadığı yönetim kararıdır ve bu konuda doğru bir strateji belirlenmelidir. Yönetim tarafından belirlenen strateji entegrasyonun gerçekleşmesini başarılı yada başarısız kılabilir. Belirlenen strateji hatalı olduğunda sonuçlar genel başarısızlık, hoşnutsuzluk ve kaynak israfı olacaktır. (Jonker ve Klaver, 1998).

Entegrasyon için 3 yol izlenebilir:

- Önce kalite yönetim sistemi sonra entegre yönetim sistemi oluşturmak
- Önce entegre yönetim sistemi sonra kalite yönetim sistemi oluşturmak
- Eşzamanlı kalite ve entegre yönetim sistemi oluşturmak.

Bu yollardan hangisi kullanılırsa kullanılsın, doğru stratejiler üzerine kurulan bir entegre yönetim sisteminden, çevre, sağlık, kalite ve güvenlik gibi farklı standartların kombinasyonu için yapılan denetimlerde kuruluş-

lar üst düzey fayda sağlayacaktır (Karapetrovic and Willborn, 1998).

EYS Denetimleri

Denetim, bir yönetim (kalite, çevre vb.) sisteminin gereklilikleri, standartlar tarafından belirlenmiş kriterlere göre karşılayıp karşılamadığını ve bu standartların zaman içerisindeki işleyişine dair veri toplamayı ve değerlendirmeyi amaçlayan sistematik, bağımsız ve dokümental bir işlemdir. Denetimde, yönetim sisteminin uygunluk ve verimlilik düzeylerinin değerlendirilmesi kadar iyileştirme fırsatları da hedefler arasındadır.

EYS'ler tam entegre, eşzamanlı, örtüşen, ardışık vb. yöntemlerle denetlenebilirler. Denetimler yönetim, çalışan, işletme, çevre, ürün, uygulanan teknoloji gibi konularda yapılır. EYS denetimlerde baz alınan muhtemel konular aşağıda verilmiştir (MacDonald ve ark., 2003).

- Yönetim sorumlulukları
- Politika beyanının tanımı ve uygulanması
- Amaçların ve hedeflerin tanımlanması ve uygulanması
- Sorumluluk ve yetkilerin tanımı
- Yeterli kaynakların sağlanması
- Yönetim teftişleri
- Dokümanların kontrolü
- Çalışanların eğitimi
- Müşteri gereksinimlerinin tanımlanması ve gözden geçirilmesi
- Yasal ve düzenleyici gereksinimlerin belirlenmesi
- Tasarım ve geliştirmenin kontrolü
- İmalat ve hizmet hükümlerinin kontrolü
- Çevresel etkilerin belirlenmesi
- Tehlike tanımlama ve risk analizi
- Acil duruma hazırlık ve müdahale
- Ürün izleme ve ölçme
- Enstrüman kalibrasyonu
- Satın alma
- İç denetimler
- Uygunsuz ürününün kontrolü
- Müşteri memnuniyetinin ölçülmesi
- Düzeltici ve önleyici eylemler

Entegre yönetim sistemlerinin denetimi, sistemin geliştirilmesi/uygulanması ve sistem uygulandıktan sonra olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Bu aşamalarda ihtiyaç duyulan başlıca gereklilikler aşağıda verilmiştir (Beckmerhagen ve ark., 2003).

EYS geliştirme/uygulama aşamasında	EYS uygulama sonrasında
<ul style="list-style-type: none"> • EYS uygulaması için tanınan yönergeler • Denetçilerin eğitimine yardımcı olabilecek yayınlar ve iç kaynaklar • Çalıştaylar ve seminerler • Dokümantasyon yapısı, farklı kuruluşlar tarafından farklı amaç ve kriterlerle denetimlere izin vermemelidir. • Denetimlerden önce ve sonra yönetim danışmanları ve teknik uzmanlar arasında işbirliği • Denetim ekibi, denetlenen ve üst yönetim arasında işbirliği ve proaktiflik • EYS uygulama sonunu değerlendirmek için dış denetimler 	<ul style="list-style-type: none"> • Denetim ekibi tarafından sürekli iyileştirme yaklaşımı benimsenmeli • Yeterli bilgi teknolojisi kaynakları mevcut olmalı • Denetçiler sürekli eğitilmeli • İyileştirme fırsatlarının tespiti için iç ve dış denetçiler arasında işbirliği yapılmalı • EYS için sürekli iyileştirme arayışı olmalı • Sistem sertifikandırılmalı

Şekil 6. EYS denetimlerinde ihtiyaç duyulan gereklilikler

SONUÇ

Küreselleşmeye bağlı olarak işletmeler için iç ve dış pazardaki tüketicilerin beklenti ve ihtiyaçlarını karşılayabilecek nitelikte ürün üretme zorunlu hale gelmektedir. Kalıcı olmak arzusunda olan işletmeler için bu durum zorunludur. Artan bu zorunluluk ve belirsilikler karşısında işletmeler kurumsal ve operasyonel süreçlerini devamlı olarak iyileştirmek ihtiyacındadırlar. Bu nedenle sürdürülebilir iş performansı ve mükemmelle en yakın kalitede ürün üretme konusunda olası ve gerekli tüm yönetim sistemlerinin işletilmesi gerekli ve ihtiyaçtır.

Ulusal ve uluslararası boyutta çok sayıda kalite yönetim sistemleri mevcuttur ve çeşitli ihtiyaçları karşılamak için işletmeler tarafından kullanılmaktadır. İşletmelerde farklı beklentiler için ekonomik büyüme, sosyal sorumluluk, çevresel bütünlük, iş sağlığı ve güvenliği gibi birden fazla yönetim sistemi kullanılmaktadır.

Bu yönetim sistemlerini ayrı ayrı oluşturulup işletilmesi bazı güçlükler oluşturduğundan, sistemlerin entegrasyonu fikri doğmuştur. Şirketler yönetim sistemlerini farklı nedenlerle entegre etme yoluna giderler. Yönetim sistemlerinin entegrasyonunda stratejik ve ekonomik nedenler etkilidir. Entegrasyon sonucunda stratejik kazanımlar ile şirket içindeki motivasyonlarda tatmin edici düzeyde kazanımlar elde edilir. Ancak şirketleri yönetim sistemlerini entegrasyonuna iten asıl nedenler ekonomik kazançla yönelik motivasyonlardır.

Geleceğe dönük katma değer oluşturmak ve sürdürülebilirliği arttırmak için bireysel yönetim sistemlerinin entegre oluşturulması ya da bireysel olarak kurulan sistemlerin entegre edilmesi yoluna gidilmektedir. Bu entegrasyon ile insan, teknolojik ve finansal kaynakların optimizasyonu, devletler arasındaki çatışmaların ortadan kaldırılması; çevre, ürün kalite-

si, iş sağlığı ve güvenliği ve Şirket varlıkları ile ilişkili risklerin minimize edilmesi veya ortadan kaldırılması; i ve/veya dış denetimlerin sayısında ve maliyetinde azalma; ve çeşitli organizasyonel israf türlerinin ortadan kaldırılması yoluyla iş için katma değer yaratılması gibi faydalar elde edilecektir.

Ancak oluşturulacak entegrasyonda, tüm standartların entegrasyonunun zorunlu olup olmadığı, en uygun entegrasyon modelinin hangisi olduğu ve oluşturulacak sistemin nasıl denetleneceği gibi konuların tartışılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Beckmerhagen, I.A., Berg, H.P., Karapetrovic, S.V., Willborn, W.O. (2003). Auditing in support of the integration of management systems: A case from the nuclear industry. *Managerial Auditing Journal*, 18(6-7), 560-568.
- Boulter, L., Bendell, T. (2002). How can ISO 9000:2000 help companies achieve excellence? What the company think. *Measuring Business Excellence*, 6(2), 37-41.
- Brannen, K.C., Hranac, J.A. (1986). Quality control circles for small business. *Journal of Small Business Management*, 21(1), 21-27.
- Domingues, J.P.T., Sampaio, P., Arezes, P.M. (2015) Analysis of integrated management systems from various perspectives. *Total Quality Management*, 26(12), 1311-1334. <http://dx.doi.org/10.1080/14783363.2014.931064>
- Feigenbaum, A. (1997). *Quality Progress*. Milwaukee, 30(12), 45-48.
- Gawron, J.C., Theuvsen, L. (2009). The international food standard: bureaucratic burden or helpful management instrument in global markets? Empirical results from the German food industry. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 21, 239-252
- Gaze, R. (2009). *HACCP: a practical guide (4th edition)*. Chipping Campden: Campden BRI. pp: 1-88.
- Ghisellini, A., Thurston, D. (2005). Decision traps in ISO 14001 implementation processes: case study results from Illinois certified companies. *Journal of Cleaner Production*, 13(8), 763-777.
- Gözlü S. (1994) Üretim, Verimlilik ve Toplam Kalite Yönetimi, Toplam Kalite Yönetiminde Türkiye Perspektifi. *Uniform Matbaacılık*, ss: 55, İstanbul.
- Güleş, H.K., Bülbül, H. (2004). Toplam Kalite Yönetiminin İşletmelerde Yenilik Çalışmalarına Katkıları. *G.Ü.İ.İ.B.F. Dergisi*, 6(1), 115-129.
- Hackman, J.R., Wageman, R. (1995). *Total Quality Management: Empirical, Conceptual, and Practical Issues*. *Administrative Science Quarterly*, 40(2), 309-342.
- Idrogo, A.A.A., Paladini, E.P., Arezes, P.M.F.M., Sousa, S. (2011). Integrated management system-SIG: A model for SMEs. *Proceedings of SHO*, Guimarães, Portugal, pp: 309-313.
- Ishikawa, K. (1989). *Introduction to Quality Control*. ss: 435, London.
- ISO 22000. (2005). *International Standard. ISO 22000. Food Safety Management Systems-requirements for any organization in the food chain*. Belgium: Comité Européen De Normalisation. pp: 1-32.
- ISO/TS 22004. (2005). *Technical specification. Food Safety Management Systems-guidance on the application of ISO 22000:2005*. Geneva, Switzerland: Intl. Organization for Standardization. pp: 1-13.

- Jabbour, C.J.C., Santos, F.C.A. (2006), "Evolution of environmental management in the company: a taxonomy integrated to the management of production and human resources", *Gestao and Produçao*, 13(3), 435-448.
- Jonker, J., Klaver, J. (1998) *Integration: A methodological perspective*, *Quality World*, August, 22-23
- Juran, J.M. (2005). *Critical Evaluations in Business and Management*. Routledge, pp: 585, New York.
- Karapetrovic, S., Willborn, W. (1998). *Integration of quality and environmental management systems*. *The TQM Magazine*, 10(3), 204-213.
- Kotsanopoulos, K.V., Arvanitoyannis, I.S. (2017). *The Role of Auditing, Food Safety, and Food Quality Standards in the Food Industry: A Review*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 760-775. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12293>
- Kuru, A. (2011). *Entegre yönetim sistemlerinde çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanımına yönelik yaklaşımlar ve uygulamaları*. Marmara Üniv. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi ss: 151.
- Lagrosen, S., Seyyed-Hashemi, R., Leitner, M. (2004). *Examination of the Dimensions of Quality in Higher Education*, *Quality assurance in education*, 12(2), 61-69.
- Leistner, L. (2000). *Basic aspects of food preservation by hurdle technology*. *International Journal of Food Microbiology*. 55(1-3), 181-186.
- MacDonald, M., Mors, T.A., Phillips, A. (2003). *Management systems integration: Can it be done?* *Quality Progress*, October, 67-74.
- Maier, D., Vadastreanu, A.M., Keppler, T., Eidenmuller, T., Maier, A. (2015). *Innovation as a Part of an Existing Integrated Management System*. *Procedia Economics and Finance*, 26, 1060-1067. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00930-2](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00930-2)
- Orecchini, F. (2000). *The ISO 14001 certification of a machine-process*. *Journal of Cleaner Production*, 8(1), 61-68.
- Parlak, S. (2004). *İşletmelerde Toplam Kalite Yönetimi*. Ekin Basım Yayın, ss: 142, Bursa.
- Pun, K.F., Hui, I.K. (2002). *Integrating the safety dimension into quality management systems: a process model*. *Total Quality Management*, 13(3), 373-391.
- Sampaio, P., Saraiva, P. (2011). *Qualidade e as normas ISO 9000: Mitos, verdades e consequências*. Verlag edts, ISBN: 978-989-642-126-7.
- Sanz-Calcedoa, J.G., González, A.G., López, O., Salgado, D.R., Camberob, I., Herrera, J.M. (2015). *Analysis on integrated management of the quality, environment and safety on the industrial projects*. *Procedia Engineering*, 132, 140-145. doi: 10.1016/j.proeng.2015.12.490

- Scrabec, Q. (2000). A Quality Education is Not Customer Driven. *Journal of education for business*, 75(5), 298-300.
- Suarez-Garcia, H. (2001). Quality, safety and environmental system integration. *Occupational Health & Safety*, 70(11), 56
- Suditu, C. (2007). Positive and negative aspects regarding the implementation of an integrated quality-environmental-health and safety management system. *Annals of the Oradea University*, VI(XVI), 2013-2017.
- Trienekens, J., Zuurbier, P. (2008). Quality and safety standards in the food industry, developments and challenges. *International Journal of Production Economics*, 113, 107-22.
- Tsim, Y.C., Yeung, V.W.S., Leung, E.T.C. (2002). An adaptation to ISO 9001:2000 for certified organizations. *Managerial Auditing Journal*, 17 (5), 245-250.
- Tzouros, N.E., Arvanitoyannis, I.S. (2000). Implementation of hazard analysis critical control point (HACCP) system to the fish/seafood industry: a review. *Food Reviews International*, 16, 273-325.
- Uludemirciler, B. (2011). Gıda Kalite Güvence Sistemlerinin Sürdürülebilir Rekabet Gücüne Etkisi ve Bir Uygulama Örneği. *İstanbul Üniv. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, ss: 169.
- Ulusoy Ş. (2001). Gıda Sektöründe Kalite Güvence Sistemleri ve Fayda Masraf Analizi. *Uludağ Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, ss: 260.
- Wilkinson, G., Dale, B.G. (1999). Integrated management systems: an examination of the concept and theory. *The TQM Magazine*, 11(2), 95-104.
- Wu, C.W., Pearn, W.L., Kotz, K. (2009). An overview of theory and practice on process capability indices for quality assurance. *International Journal of Production Economics*, 117(2), 338-359. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.11.008>
- Zeng, S.X., Shi, J.J., Lou, G.X. (2007). A synergetic model for implementing an integrated management system: an empirical study in China. *Journal of Cleaner Production*, 15(18), 1760-1767. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.03.007>
- Zeng, S.X., Tam, C.M., Deng, Z.M., Tam Vivian, W.Y. (2003). ISO 14000 and the construction industry: survey in China. *Journal of Management in Engineering*, ASCE, 19(3), 107-113.

“

Bölüm 11

**ANTALYA İL GENELİNDE YAPILMIŞ
OLAN BAZI FLORA ÇALIŞMALARI**

Orhan ÜNAL¹, Meryem GÖKOĞLU²

1 Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Antalya Türkiye, Orcid: 0000-0001-9633-5726

2 Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Antalya Türkiye, Orcid: 0000-0003-4850-4331

”

Giriş

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili Avrupa Asya ve Afrika kıtalarının birleştiği konumda yer almaktadır. Ilıman kuşakta yer alan Türkiye konumu ve sahip olduğu jeolojik özellikleri nedeniyle yüksek bir bitki çeşitliliğine sahiptir. Bunun sebebi Türkiye'nin coğrafi konumunun yanı sıra topoğrafyasının kısa mesafeler içinde önemli değişiklikler göstermesi ve farklı habitatları içermesi gösterilebilir (Şekercioğlu vd., 2011).

Türkiye'nin yüksek biyolojik çeşitliliğinin nedenleri evrimsel, jeolojik ve biyocoğrafiktir. Türkiye'nin sahip olduğu topografik çeşitliliğin geniş spektrumlu olması beraberinde lokal olarak iklimsel değişkenleri oluşması sonucu çok farklı vejetasyon tipleri kısa mesafeler içerisinde oluşmuştur (Atalay, 1994). Bununla beraber, bu topografik ve iklimsel çeşitliliğin olması özellikle hareket kabiliyeti sınırlı türler için genetik olarak farklılaşabilme ortamı olmuştur (Çiplak vd. 1993; Sağlam vd. 2013).

Jeolojik süreçlerde Kuvaterner boyunca büyük kıtasal buz tabakaları kuzey yarım kürede döngüsel olarak hareket etmiştir. Bu buzul-buzullararası döngü olurken yaşanan iklim değişikliklerinin sonucu olarak Türkiye'nin birçok bitki türüne sığınak görevi görmüş olması Antalya'nın biyolojik çeşitliliğine de katkı sağlamıştır (Gür 2017).

Antalya'da bu biyolojik çeşitliliği doğuran etmenlerden nasibini almıştır. Biyolojik çeşitlilik yanında endemik bitki sayısı da önemli olup Antalya bu bakımdan oldukça zengindir. Endemizm, bitkilerin süreç içerisinde zamansal ve mekânsal olarak farklı ekolojik koşullarda yapılarındaki değişimlerin olmasıyla olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda Dünya'da değişiklik gösteren ekolojik koşulların görüldüğü önemli ülkelerden birisi olan Türkiye'de, %35'i endemik statüde olmak üzere 12.000 üzerinde bitki türü bulunduğu düşünülmektedir (Şenkul vd. 2017).

Yapılan bir çalışmada (Şenkul vd. 2017) Antalya ilinde 862 endemik bitki lokasyonu bulunduğunu ve endemizm oranının %8,9' olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada araştırmacılar elde edilen bu sayının diğer illerle karşılaştırıldığında Antalya'nın Türkiye'deki en yüksek lokasyon sayısı ve endemizm oranına sahip il olduğunu belirtmişlerdir.

Tüm bunlara ek olarak Antalya il genelinde 914 adet sit alanı bulunmaktadır. Bunlar, arkeolojik alan (880 adet), kentsel alan (15 adet), tarihi sit alanı (2 adet), arkeolojik ve kentsel alan (3 adet), arkeolojik ve doğal alan (13 adet) ve Arkeolojik-Doğal-Tarihi-Kentsel Sit Alanı (1 adet). İl sınırlarında ise 5 adet Milli Park, 4 adet Tabiat Parkı, 3 adet Tabiat Koruma Alanı, 10 adet Tabiat Anıtı, 8 adet Yaban Hayatı Geliştirme Sahası, 1 adet Ulusal Öneme Haiz Sulak Alan, 40 adet Devlet Avlağı, 4 adet Genel Avlak, 2 adet Örnek Avlak Sahası, 9 adet Deniz Kaplumbağası (*Caretta caretta*

Linnaeus 1758) Yuvalama Alanı bulunmaktadır. Antalya il alanına oranı %13,2 olan korunan alanlarının toplamı 276.954,9 hektardır (Mansuroğlu vd. 2021).

Metot:

Antalya bölgesi biyoçeşitlilik ve endemizm açısından oldukça zengin bir ilgidir. Bu kapsamda bu araştırmada Antalya'nın biyolojik zenginliği ve endemizm oranının belirlenmesi amacıyla bölgedeki çalışmalar geniş bir literatür taraması ile araştırılmıştır. Çalışmalardaki toplam takson/tür sayısı ve endemik tür/takson sayısı kullanılarak çalışma alanlarının endemizm oranları hesaplanmıştır. Yapılan literatür çalışmaları sonucunda Antalya ve ilçelerinde yapılan önemli 31 flora çalışması değerlendirilmiştir.

Bulgular:

Antalya'nın biyolojik zenginliği ve endemizm durumları araştırılması amacıyla Antalya ve ilçelerinde yapılan önemli 31 flora çalışmasının değerlendirilmesi sonucu Tablo 1 hazırlanmıştır.

Tablo 1. Antalya İl Genelinde Yapılmış Olan Bazı Flora çalışmalarda bulunan Tür/Takson Sayıları, Endemik Tür/Takson sayıları ve Endemizm oranları.

Antalya İl Genelinde Yapılmış Olan Bazı Flora alışmaları	Toplam Tür/ Takson Sayısı	Endemik Tür/ Takson Sayısı	Endemizm Oranı (%)
Akdağ ve Cebiresi Dağı (Alanya-Antalya) Florası	1086 Takson	208 Takson	%19.8
Akdeniz Üniversitesi Kampüsü Florası	452 Takson	30 Tür	%6.64
Alanya Kalesi Duvarlarının Vasküler Bitki eşitliliği ve Ekolojik Etkileri	94 Taksonu	6 Takson	%6.38
Alanya Kalesi ve evresi Florası	385 Tür	23 Tür	%7.25
Altınbeşik Mağarası Milli Parkı'nın (Akseki/Antalya) Florası	578 Takson	67 Takson	%11.6
Antalya Şehir Florası	1027 Tür	75 Tür	%7.7
Avlan Gölü (Elmalı/Antalya) evresi Florası	298 Takson	54 Takson	% 18.12
Bakırlı Dağı'nın (Antalya) Florası	539 Takson	152 Takson	%28.2
Belbaşı- Maha yaylaları (Gazipaşa/Antalya) Florası	361 Takson	85 Takson	%23.5

Beydağları'nın-Tahtalı, Teke, Çalbalı, Pozan, Uzunkarış, Özdemir Ve Kartal Dağları (Antalya) Yüksek Dağ Florası	762 Takson	232 Takson	%30.5
Derebucak (Konya), İbradı-Cevizli (Antalya) Arasında Kalan Bölgenin Endemik Bitkileri	960 Takson	167 Takson	%17.3
Dibek Tabiatı Koruma Alanı (Kumluca/Antalya)	437 Takson	75 Takson	%17.08
Elmalı Sedir Araştırma Orman'nın Florası	708 Takson	141 Takson	%20.5
Finike (Antalya) Orman Planlama Biriminin Vasküler Bitki Florası	523 Takson	67 Takson	%12.8
Gazipaşa (Antalya) florası üzerine bir araştırma	591 Takson	57 Takson	% 9.91
Gevne Vadisi Florası	391 Tür	116 Takson	%30
Geyik Dağının (Antalya) Florası	703 Tür	206 Takson	%29.3
Gündoğmuş (Antalya) Çevresinin Florası	474 Takson	80 Takson	%16.6
İmecik Dağı (Korkuteli/Antalya) Florası	714 Takson	95 Takson	%13.53
İnceburun (Kaş) ve Çayağzı (Demre) (Antalya-Türkiye) Arasındaki Bölge Florasına Katkıları	414 Takson	28 Takson	%6.76
Kıbrıs Çayı Yaban Hayatı Geliştirme Sahası (Kaş/Antalya)	538 Takson	59 Takson	%10.96
Köprülü Kanyon Milli Parkı'nın (Antalya-Isparta) Flora Envanteri	950 Takson	230 Takson	%25
Melik ve Kaldırım Dağı ile Çevresinin (Manavgat-İbradı-/Antalya) Florası	951 Takson	176 Takson	%18.5
Olimpos-Beydağları Milli Parkının Florası	865 Tür	155 Tür	%18.3
Otluk ve Gidefi Dağlarının (Akseki/Antalya) Florası ve vejetasyonu	1023 Takson	163 Tür	%16.9
Phaselis Antik Kenti Florası I	233 Takson	30 Takson	%12.87
Phaselis Antik Kenti Florası II	203 Takson	32 Takson	%15.76
Phaselis Antik Kenti Florası III	195 Takson	37 Takson	%18.37
Sarısu- Saklıkent Arasının Florası	703 Tür	95 Tür	%13.5
Taşeli Platosu Florası	1053 Tür	213 tür	%20.2
Termessos Milli Parkı'nın Florası	680 Tür	80 Tür	%11.8
Yanartaş Dağı (Kızılkaya-Korkuteli, Burdur/Antalya) Florası	580 Takson	62 Takson	%10.68

Tabloya bakıldığında en fazla takson sayısı “Akdağ ve Cebiresi Dağı (Alanya-Antalya) Florası” çalışmasında rastlanılmıştır. En az takson sayısı “Alanya Kalesi Duvarlarının Vasküler Bitki Çeşitliliği ve Ekolojik Etkileri” çalışmasında rastlanılmıştır. Genel olarak yerleşim yerlerinden uzakta ve yüksek rakımlarda yapılan çalışmalarda belirlenen takson/tür sayısı fazla bulunulmuştur. Endemizm oranına bakıldığında en yüksek endemizm oranı “Beydağları’nın-Tahtalı, Teke, Çalbalı, Pozan, Uzunkarış, Özdemir Ve Kartal Dağları- (Antalya) Yüksek Dağ Florası” çalışmasında %30.5 olarak en düşük endemizm oranı ise “Alanya Kalesi Duvarlarının Vasküler Bitki Çeşitliliği ve Ekolojik Etkileri” çalışmasında %6.38 olarak bulunulmuştur. Takson/tür sayısında olduğu gibi endemizm oranında yüksek kesimlerde fazla çıkmıştır. Canlılar doğal engellerle karşılaştıklarında, yayılışları kesintiye uğramakta ve toplulukları parçalara ayrılmaktadır. Bu parçalanma nedeniyle oluşan yaşam alanlarında türlerin gen yapıları zamanla değişerek yeni türler oluşur ve endemik ortaya çıkar. Endemizm oranı, alanın jeolojik bakımdan ne kadar eski olduğuna, izolasyon durumuna, izolasyon süresine ve topografik özelliklere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Türkiye’de endemizm bakımından bölgeler Toros dağlarının batı ve orta kesimleri (özellikle Taşeli platosu), İç Anadolu ile Doğu Anadolu arasındaki geçiş alanlarıdır (Avcı 2005). Benzer şekilde Antalya’da yapılan çalışmalarda en yüksek takson/tür sayısı ile endemizm oranı yüksek zonlarda ve dağlarda yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir.

Antalya bölgesinde sahilden yükseklerle doğru farklı vejetasyon tipleri görülmektedir. Kıyı kumulları üzerinde kumul vejetasyonu görülmektedir. Ormanların olmadığı yada tahrip edildiği yerlerde maki vejetasyonu görülmektedir. Orman vejetasyonu ise yükseldikçe değişikliğe uğramaktadır. Genellikle 1000-1200 metrelere kadar Kızılçam (*Pinus brutia* L.) topluluklarının hakimiyeti söz konusu iken bu yükseklikten itibaren kızılçam yerini düşük sıcaklıklara dayanabilen Karaçam (*Pinus nigra* L.) ve sonra da sedir (*Cedrus libani* A.Rich), Ardıçlar (*Juniperus excelsa* M.Bieb. subsp. *excelsa*, *Juniperus foetidissima* Willd., *Juniperus oxycedrus* L., *Juniperus drupacea* Lab.) ve Köknar (*Abies cilicica* (Ant.&Kotschy) Carr. subsp. *isaurica* Coode&Cullen) topluluklarına bırakır. Ağaç topluluklarının olmadığı yükseltilerde yastık formu oluşturmuş bodur alpin toplulukları görülmeye başlar. Bitkilerde görülen bu tabakalanmanın en temel nedeni alanların kendine has iklim, toprak ve jeomorfolojik özelliklerdir. Bu özellikler yerel farklılıkları ortaya çıkarması nedeniyle bitki topluluklarını oluşturan bitki türleri bu alanlarda çeşitlenir ve bu farklılıklar nedeniyle bitki topluluklarında endemik bitkiler gelişir. Bu da alanların endemizm oranını etkiler (Avcı 2005, Gökceoğlu vd. 2008).

İnsan baskısı olmayan ve yüksek rakımlı bölgelerde Takson/tür sayısı ve endemizm oranı yüksekken alt rakımlarda ve özellikle yerleşim alanla-

rında bu sayı azalmıştır (Tablo 1). Örneğin, Antalya il sınırları içinde 1997 yılında yapılmış olan bir çalışmada (Göktürk ve Sümbül, 1997) 1065 takson, 130 familya, 569 cins ve 1023 tür tespit etmiştir. Endemik sayısı ise 75 (%7.4) olarak bulunmuştur. Tez kapsamında yapılan çalışmada bitkilerin tespit edildiği birçok alan günümüzde tahrip edilmiş ve takson sayısı azalmıştır. Bunun temel nedeni son 35-40 yılda Antalya’da görülen hızlı nüfus artışı ve beraberinde gelen yapılaşma ile alan tahribatıdır (Doğan 2018). Başka bir çalışmada Akdeniz Üniversitesi Kampüs alanında 1996 yılında 78 familyaya ait 30’u endemik (%6.63) toplam 452 takson tespit etmiştir. 2020 yılında ise 76 familyaya ait 21’i endemik (%4.79) toplam 438 takson tespit edilmiştir (Ünal ve Altunbaş, 2020). Kampüsteki antropolojik baskı nedeniyle takson sayısında azalma görülmektedir.

Türkiye’de 1980’li yıllardaki turizm patlamasından en fazla etkilenen kentlerden birisi Antalya’dır. Özellikle 1980-2000 arasında turizm ile ilgili sektörlerde işgücü % 524 artmıştır. Böylelikle Antalya tüm illeri geride bırakmıştır. Antalya’da turizmin diğer bir etkisi de, yerleşik yabancı nüfus üzerine olmuştur. 2016 yılında ikamet veya çalışma izni almış ADNKS’ne kayıtlı olan yabancı sayısı 60 bini geçmiş olup Antalya’yı % 2,6 ile il nüfusu içinde en çok yabancı olan il konumuna getirmiştir. Artan nüfus oranı ve turizm ile özellikle kıyı bölgeleri turizm aktivitelerinden olumsuz etkilenmeye başlamış ve sahil kesiminde turizmden kaynaklanan yapılaşmaya bağlı baskı artmıştır. (Akış 2011, Işık ve Zoğal 2017).

Sadece antropolojik etki değil aynı zamanda iklimsel değişimlerde son zamanlarda türleri olumsuz etkilemektedir. Antalya’nın çok yıllık iklimsel verilerine bakıldığında, yıllara bağlı olarak ortalama sıcaklıkların arttığı ve yağışların düzensizleştiği görülmüştür (Ünal vd. 2020). Bunun sonucu olarak ilerleyen süreçte birçok bitkinin bu iklimsel değişimden olumsuz etkileneceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, Antalya’da sahip olunan doğal zenginliklerin mutlaka korunması ve devamlılığının sağlanması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

1. Akış, A. (2011). Turizmin Kentsel Gelişim Üzerine Etkileri: Bir Örnek İnceleme Antalya-Türkiye. *Doğu Coğrafya Dergisi* 16(25):193-206.
2. Aksoy, A., & Çelik, J. (2020). Alanya Kalesi Duvarlarının Vasküler Bitki Çeşitliliği ve Ekolojik Etkileri. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 13(1), 9-18.
3. Alçitepe, E. (1998). Termessos Milli Parkı (Antalya) Florası Üzerinde Bir Araştırma, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 208 syf., Antalya.
4. Atalay, İ. (1994). Vegetation geography of Turkey, *Ege Üniversitesi Basım Evi*, Bornova/İzmir, Türkiye.
5. Avcı, M. (2005). Çeşitlilik ve Endemizm Açısından Türkiye'nin Bitki Örtüsü. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 13:27-55.
6. Baç, C. (2006). Gazipaşa (Antalya) Florası Üzerine Bir Araştırma, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 178 syf., Antalya.
7. Bilgili, B. (2010). Akdağ ve Cebireis Dağı (Alanya-Antalya) Florası, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 415 syf., Ankara.
8. Çinbilgel, İ. (2012). Melik ve Kaldırım Dağı ile Çevresinin (Manavgat-İbradı/Antalya) Flora Ve Vejetasyon Yönünden Araştırılması, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 444 syf., Antalya.
9. Çinbilgel, İ., & Gökçeoğlu, M. (2010). Altınbeşik Mağarası Milli Parkı'nın Florası İbradı-Akseki/Antalya. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 3(3), 85-110.
10. Çiplak, B., Demirsoy, A., Bozcuk, A.N. (1993) Distribution of Orthoptera in relation to the Anatolian Diagonal in Turkey. *Articulata* 8: 1-20.
11. Demirelma, H., & Ertuğrul, K. (2009). Derebucak (Konya), İbradı-Cevizli (Antalya) Arasında Kalan Bölgenin Endemik Bitkileri ve Tehlike Kategorileri. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 2(34), 137-148.
12. Deniz, İ. G. (2002). Elmalı Sedir Araştırma Ormanı (Antalya) Florası Üzerine Bir Araştırma, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 211 syf., Antalya.
13. Dinç, O. (1997). Antalya, Sarısu-Saklıkent Arasının Florası Üzerinde Bir Araştırma Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 188 syf., Antalya.
14. Doğan, M. 2018. Antalya Şehrinin (Muratpaşa, Kepez, Döşemealtı, Aksu, Konyaaltı) Gelişmesinde Etkili Olan Faktörler. *International Journal of Geography and Geography Education*, 38:187-201.
15. Duman, H., Aytaç, Z., & Karavelioğulları, U. F. (2000). Bitki Gen Kay-

- naklarının Yerinde Korunmasına Yöre Halkının Katılımının Sağlanması (Gevne Vadisi Örneği) Gevne Vadisi Florası. *Kırsal Çevre ve Ormanlık Sorunları Araştırma Derneği*, Yayın No:9, Ankara
16. Duran, A. (1997). Otluk ve Gidefi Dağlarının (Akseki) Flora ve Vegetasyonu, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 385 syf., Ankara.
 17. Eren, Ö. (2000). Bakırlı Dağı'nın (Antalya) flora ve vegetasyonu, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 147 syf., Antalya.
 18. Eren, Ö. (2006). Antalya Beydağları'nın (Tahtalı,Teke, Çalbalı, Pozan, Uzunkarış, Özdemir, Ve Kartal Dağları) Yüksek Dağ Vegetasyonunun Bitki Sosyolojisi Yönünden Araştırılması, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 185 syf., Antalya.
 19. Fakir, H. (2006). Flora of Bozburun Mountain and its Environs (Antalya-Isparta-Burdur, Turkey). *Turkish Journal of Botany*, 30(3), 149- 69.
 20. Fener, D., & Aykurt, C. (2018). Kıbrıs Çayı Yaban Hayatı Geliştirme Sahası (Kaş/Antalya) Florası. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*. 12(1), 107-121.
 21. Gökceoğlu, M., Ünal, O., Göktürk, R.S. 2008. Kumluca'nın Biyolojik Zenginliği. Kumluca Rhodiapolis, Nevzat Çevik, Editör, Kumluca Belediyesi, ss.161-190.
 22. Göktürk, R. S. (2015). Phaselis Antik Kenti Florası I. *Phaselis I*, 81-131. DOI: 10.18367/Pha.15005.
 23. Göktürk, R. S. (2016). Phaselis Antik Kenti Florası II. *Phaselis II*, 57-101. DOI: 10.18367/Pha.16005.
 24. Göktürk, R. S. (2017). Phaselis Antik Kenti Florası III. *Phaselis III*, 187-224. DOI: 10.18367/Pha.17012.
 25. Göktürk, R. S., & Sümbül, H. (1997). Flora of Antalya City. *Turkish Journal of Botany*, 21(6): 341-378.
 26. Güner, Ö., & Çetin, Ö. (2020). A Contribution to The Flora of The Region Between İnceburun (Kaş) and Çayağzı (Demre) (Antalya-Turkey). *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 768-782.
 27. Gür, H. (2017). Geç Kuvaterner Buzul Buzullararası Döngülerinin Anadolu'nun Biyolojik Çeşitliliği Üzerine Etkileri. Türkiye Jeoloji Bülteni, Türkiye'de Kuvaterner Araştırmaları, 507-528. DOI: 10.25288/tjb.363813
 28. <https://www.biyologlar.com/olimpos-beydaglari-sahil-milli-parki> S. Erişim Tarihi: 04.07.2022
 29. Işık, Ş., Zoğal, V. 2017. The Concept of Tourism Urbanization: The case of Antalya (Turkey). *Aegean Geographical Journal*, 26(2):71-94.
 30. İlarıslan, R., Dural, H., & Şan, T. (1997). Geyik Dağının (Antalya) Flora-

31. *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 4(2), 7-38.

31. Karaköse, M. & Terzioğlu, S. (2020). Finike (Antalya) Orman Planlama Biriminin Vasküler Bitki Florası. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(5):1144-1162. DOI: 10.18016/ksutarimdoga.vi.681247
32. Kaya, A. (2011). Belbaşı-Maha Yaylaları (Antalya-Gazipaşa) Florası. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 147 syf., İstanbul).
33. Keske, P. (2009). Avlan Gölü (Antalya-Elmalı) Çevresi Florası. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 106 syf., Ankara.
34. Mansuroğlu, S., Dağ, V., Kösa, S., Demir, F. (2021). Korunan Alanlarda Turizmin Etkisi: Antalya Kenti Örneği. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25(1): 215-232.
35. Özçandır, A. (2018). Dibek Tabiatı Koruma Alanı (Kumluca/Antalya) Florası, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 162 syf., Antalya.
36. Özçelik, H. (2018). Flora Inventory of Köprülü Kanyon National Park (Antalya-Isparta). *Turkish Journal Of Forestry*, 19(1): 40-50.
37. Palaz, F. (2006). Yanartaş Dağı (Kızılkaya-Korkuteli, Burdur/Antalya) Florası, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 215 syf., Ankara.
38. Sağlam, İ.K., Küçükyıldırım, S., Çağlar, S.S. (2013) Diversification of montane species via elevation shifts: the case of the Kackar cricket Phonochorion (Orthoptera). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 52: 177-189
39. Sönmez, G. (2014). İmecik Dağı (Korkuteli/Antalya) Florası Üzerine Bir Araştırma, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 229 syf., Antalya.
40. Sümbül, H. (1986). Taşeli platosu (İçel-Konya-Antalya) florası üzerinde bir araştırma, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 260 syf., Ankara.
41. Şekercioğlu, Ç. H., Anderson, S., Akçay, E., Bilgin, R., Can, Ö. E., Semiz, G., ... & Dalfes, H. N. (2011). Turkey's globally important biodiversity in crisis. *Biological Conservation*, 144(12): 2752-2769.
42. Şenkul, Ç. & Kaya, S. (2017). Türkiye Endemik Bitkilerinin Coğrafi Dağılışı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (69): 109-120. DOI: 10.17211/Tcd.322515
43. Tuncer, S. (2014). Alanya Kalesi ve Çevresi Florası (Alanya-Antalya), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 137 syf., Ankara.
44. Ünal, A., Özaslan, B.S., Ünal, O. (2020). İklim Değişikliğinin Antalya İlindeki *Culex pipiens* Linnaeus, 1758 (Diptera: Culicidae, Ev Sivrisineği)'e

Etkisi. *Sinop Uni J Nat Sci* 5(2): 147-162

45. Ünal, O. & Altunbaş, G. (2020) Geçmişten Günümüze Akdeniz Üniversitesi Kampüsündeki Antropojenik Etkinin Bitki Toplulukları Açısından İncelenmesi. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi-C Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 9(2), 160-168.
46. Ünal, O. 1996. Akdeniz Üniversitesi Kampüsü'nün bitki sosyolojisi ve ekolojisi yönünden bir botanik bahçesi kurulması amacına yönelik olarak incelenmesi ve haritalanması. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 69 syf. Antalya.
47. Ünal, O., & Gökçeoğlu, M. (2003). Akdeniz Üniversitesi Kampüs Florası (Antalya-Türkiye). *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 143-154.
48. Yeşilöz, G. (2003). Gündoğmuş (Antalya) çevresinin florası, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 113 syf., Konya.

“

Bölüm 12

NÖRAL GEN EKSPRESYONUN EPIGENETİK DÜZENLEMESİ

Aslı GİRAY¹

¹ Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Genetik ve
Biyomühendislik Bölümü, Antalya

”

Epigenetik alanına olan ilgi, son yıllarda giderek hızla artmaktadır. Özellikle genetik, biyomedikal araştırmalar, ekoloji ve fizyoloji gibi moleküler bilimlerinde dahada önem kazanmaktadır. Epigenetik kavramı ilk kez 1942'de Conrad Waddington tarafından tanımlandı. Gümüzde bazı araştırmacılar epigenetiği gen ifadesindeki değişiklikleri açıklamak için kullanırken, diğerleri onu nesiller arası etkilere ve/veya kalıtsal ifade durumlarına atıfta bulunmak için kullanmaktadır. Epigenetik mekanizmalar, nöral gen düzenlemesine aracılık etmede kritik öneme sahiptir. Bu kitap bölümü, nöral farklılaşma, sinaptik plastisite ve nöral davranışta DNA metilasyonu ve histon modifikasyonlarının rolünü tartışmaya odaklanmaktadır (Feng ve ark., 2007).

Son yirmi yılda, insan davranışını şekillendirmede doğa ve yetiştirme arasındaki ilişkinin incelenmesi giderek ilgi kazanmaya başladı. Davranış geniği, nörotransmitter metabolik ve sinaptik işlevi kontrol eden proteinleri kodlayan genlerin farklı polimorfizmlerinin, stresli ve travmatik yaşam olayları gibi olumsuz deneyimlere karşı bireysel savunmasızlıkla ilişkili olduğunu ve şiddetle ilişkili psikopatolojilerin gelişme riskinin artmasıyla sonuçlanabileceğini göstermiştir. Öte yandan, son araştırmalar, olumsuz olayların yaşanmasının, epigenetik mekanizmasının rol oynadığını göstermektedir. Örneğin, doğum öncesi yaşam, bebeklik ve erken ergenlik gibi çevreye duyarlılığın en üst düzeyde olduğu dönemlerde olumsuzluklar yaşamak, beyindeki olgunlaşma süreçlerini etkileyen genlerde kalıcı epigenetik işaretler oluşturabilir ve böylece yetişkinlikte abartılı saldırganlık da dahil olmak üzere işlevsiz davranışların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Davranış geniği ve epigenetik, saldırganlığın altında yatan moleküler mekanizmaları anlamak için yeni bir araç sağlayarak, genler ve çevre arasındaki hassas etkileşime yeni bir işık tutmaktadır. Yapılan son çalışmalardan elde edilen bulgular yalnızca nörobilim için değil, aynı zamanda etik, felsefe ve hukuk dahil olmak üzere sosyal bilimler için de önemli çıkarımlar taşımaktadır.

Hem hayvanlarda hem de insanlarda yapılan araştırmalar, çevrenin nöral gelişim üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Mosaferi ve ark., 2015). Gen ekspresyonunun düzenlenmesinde aktif rol oynayan epigenetik değişikliklere DNA metilasyonu, translasyon sonrası histon modifikasyonları ve mikroRNA'lar ile transkripsiyon sonrası düzenleme örnek verilebilir (Dolinoy ve ark., 2007; Chhabra, 2015). DNA metilasyonu, DNA metiltransferaz (DNMT) ailesinin üç aktif izoformu olan DNMT-1, -3a ve -3b nükleer enzimleri tarafından gerçekteştirilir. Söz konusu bu enzimler, metil gruplarının kalıntılarını, S-adenosilmetiyoninden (SAM), metillenmemiş sitozinlere (tercihen sitozin-guanin dinükleotitlerine; CpGs) transfer etmekte rol oynarlar (Chiang ve ark., 1996).

Nöral gelişim, bir dizi genetik programdan oluşmaktadır. Bu genetik

program n6ral patternleme, h6cre g6c6 ve n6ronal bağlantı için gerekli olan evreye 6zg6 gen aktivitesini tam olarak kontrol etmektedir (Jessell ve Sanes, 2000; Gage, 2002). Sınır sisteminde evreye 6zg6 gen ekspresyonunun doğru Şekilde d6zenlenmesi yalnızca transkripsiyonel d6zeyde kontrol edilmez, aynı zamanda DNA metilasyonu, histon modifikasyonları, n6kleozom ve kromatinlerin yeniden modellenmesi ve kodlamayan RNA aracılı translyasyon sonrası d6zenleme gibi bazı epigenetik mekanizmalar tarafından da kontrol edilmektedir (Hsieh ve Gage, 2005; Wu ve Sun, 2006). DNA metilasyonu, DNA metiltransferaz (DNMT) ailesinin 6 aktif izoformu olan DNMT-1, -3a ve -3b n6kleer enzimleri tarafından gerçekleştirilir.

DNA metilasyonu, gen ekspresyonunu ya doğrudan DNA'ya bağlanan transkripsiyon fakt6r6ne (Watt ve Molloy, 1988) m6dahale ederek ya da kromatini baskılamak için histon deasetilaz (HDAC) ile kompleks oluşturan metil-CpG bağlama domaini (MBD) proteinlerinin alımını gerçekleştirerek inhibe etmektedir (Fan ve Hutnick, 2005). Son alışmalar, DNA metilasyonunun geri d6n6ř6ml6 olduğunu ve embriyogenez boyunca ve muhtemelen postnatal CNS'de dinamik d6zenlemeye tabi olduğunu g6stermektedir (Morgan ve ark., 2004; Jost ve ark., 2001; Feng ve ark., 2005). Gelişim sırasındaki 6nemli rol6yle uyumlu olarak Dnmts mutasyonlarının t6m6, farelerde, embriyonik d6nemde veya erken doğumdan hemen sonra 6l6me yol açmaktadır (Li ark.,1992; Okano ve ark., 1999).

Metilasyon yoluyla DNA'nın modifikasyonu genellikle gen susturulmasına yol açarken, asetilasyon, metilasyon, fosforilasyon veya ubiquitination dahil olmak 6zere histon proteinlerinin translyasyon sonrası modifikasyonları ise hem gen aktivasyonuna hem de gen baskılanmasına neden olabilir (Jenuwein ve Allis, 2001). En iyi çalışılan modifikasyonlardan biri, HAT veya HDAC tarafından katalize edilen geri d6n6ř6ml6 bir s6re olan lizin kalıntılarının asetilasyonudur. HAT tarafından bir asetil grubunun eklenmesi, negatif y6kl6 DNA omurgası ile pozitif y6kl6 histon kuyruğu arasındaki etkileşimi azalttığı için yapısal değişiklikleri iletmektedir. Etkileşimdeki bu azalma, transkripsiyon fakt6r6 komplekslerine açık olan daha az sıkıştırılmış bir n6kleozoma yol açabilir. Bu nedenle, histon asetilasyonu, artan gen transkripsiyonu ile ilişkilendirilmektedir. HDAC, HAT'ın aksine potansiyel olarak gen transkripsiyonunda, gen baskısına yol açan asetil grubunu uzaklaştırır. Histonların metilasyonu, kalıtsal, uzun vadeli etkileri olan ancak tersine çevrilebilen başka bir epigenetik d6zenleme Şeklidir. Son yıllardaki çalışmalarda, lizin 4'teki (K4) H3 histonu 6zerindeki metilasyonun transkripsiyonel aktivasyon ile ilişkili olduğunu, diğer taraftan lizin 9'daki (K9) H3 histonu 6zerindeki di- ve tri-metilasyonunun transkripsiyonel inhibisyonun g6stergesi olduğu bulunmuştur. Daha 6nce histon metilasyonunun stabil olduğunun d6ř6n6lmesine rağmen, histonla-

rı demetile edebilen enzimler keşfedilmiştir. PADI4, lisin-spesifik histon demetilaz 1 (LSD1) ve JmjC-domeni histon metilazlarının (JHDM) tümü, metil gruplarını histon kalıntılarından çıkarabilmektedir (Shi ve ark., 2004; Kloze ve ark., 2006). Histon demetilasyonu için yeni keşfedilen bu mekanizma, histonların gen ekspresyonunu nasıl düzenlediğinin anlaşılmasına olanak sağlamaktadır.

Sinir Sisteminde DNA Metiltransferazların Ekspresyonu

Memelilerde, DNA metilasyonu özellikle CpG dinükleotidlerinde gerçekleşmektedir ve Dnmt1, Dnmt3a ve Dnmt3b de dahil olmak üzere DNA metiltransferaz enzimi tarafından katalize edilmektedirler. Dnmt1 ekspresyonu, embriyonik sinir sisteminde oldukça yüksektir. Bununla birlikte, Dnmt1'in neden perinatal ve yetişkin CNS'deki postmitotik nöronlarda hala eksprese edildiği açık değildir (Brooks ve ark., 1996; Goto ve ark., 1994). Yetişkin postmitotik nöronlarda DNA metilasyonunu sürdürmek için Dnmt1 hala gerekli olabilir. DNA metilasyon seviyesi yetişkin beyninde diğer dokulara göre daha yüksektir (Ono ve ark., 1990; Tawa ve ark., 1993; Wilson ve ark., 1987) Dnmt3a ve Dnmt3b, gelişen sinir sisteminde tamamlayıcı bir ekspresyon modeli sergiler (Feng ve ark., 2005; Watanabe ve ark., 2006). Dnmt3b esas olarak erken embriyonik hücrelerde ve nörojenez sırasında nöral progenitör hücrelerde eksprese edilir. Buna karşılık, Dnmt3a ağırlıklı olarak daha sonraki gelişim evrelerinde ve nöral öncü hücreler, olgunlaşan nöronlar, oligodendrositler ve bir astrosit alt kümesi dahil olmak üzere tüm nöral hücre soylarında eksprese olmaktadır. Nöronal hücrelerde, Dnmt3a ekspresyonu sürekli olarak artar ve kritik bir nöronal olgunlaşma penceresi olan doğum sonrası 2-3 hafta civarında en yüksek seviyeye ulaşır. Yetişkin CNS nöronlarında, Dnmt3a proteinleri Western blot analizi ve immünohistokimya ile nispeten düşük seviyelerde de olsa saptanabilmektedir (Watanabe ve ark., 2006). Benzer bir bulgu olfaktör epiteline de görülmektedir. Dnmt3a olgunlaşan olfaktör reseptör nöronlarında bulunmaktadır (MacDonald ve ark., 2005). Bununla birlikte, Dnmt3a ve Dnmt3b'nin nöral gelişim ve işlevde farklı roller oynamaktadır.

Dnmt'nin ekspresyonu veya enzimatik aktivitesi, fizyolojik veya patolojik koşullar altında da aktif düzenlemeye tabidir. Dnmt1'in öğrenme ve hafızada potansiyel bir rolü olduğu düşünülmektedir (Rampon ve ark., 2000). Bununla birlikte, beyindeki DNA metilasyon seviyelerinin kısmen Dnmt1 aktivitesine bağlı olduğu da bilinmektedir (Endres ve ark., 2000).

DNA Metilasyonu ile Nöral Hücre Farklılığının Kontrolü

CNS geliştikçe, subventriküler bölgedeki nöral öncüler, önce nöronların oluşmasını sağlarlar ve bu nöronlar korteksin farklı katmanlarına doğru göç ederler. Daha sonra bu süreci, astrositlerin ve oligodendrositlerin oluşmasına yol açan bir anahtar takip eder. Gen ekspresyonunun uygun kontro-

lünü sağlamak için bu geçişler gereklidir. Astrogliogenez sırasında, GFAP geninin promotörünün demetilasyonu ile transkripsiyonunun aktivasyonu bağlantılıdır. Ayrıca, STAT3 bağlanma bölgesi içinde CpG'nin metilasyonu, DNA metilasyonunun GFAP ekspresyonunu baskıladığı modelle tutarlı olarak, aktive edilen STAT3'ün GFAP promotörü ile ilişkisini bloke edebilir (Takizawa ve ark. 2001). DNA metilasyonunun, STAT aktivasyonunun düzenlenmesi ve ayrıca GFAP gibi glial işaretleyici genlerin, kromatinlerin yeniden modellenmesi yoluyla astrogliogenezin zamanlamasını kontrol eden bir mekanizmaya sahip olduğu düşünölmektedir. Bununla birlikte, STAT1 ve GFAP promotörlerinde gelişimsel demetilasyonun nasıl meydana geldiğine dair hala birçok soru cevaplanmayı beklemektedir (Feng ve ark. 2007).

Nöronal ve Glial Farklılaşmada Histon Modifikasyonları

DNA metilasyonundaki değişikliklere ek olarak, histon kuyruklarındaki epigenetik modifikasyonlar, nöral öncü hücrelerin farklılaşması sırasında önemli roller oynayabilir. Yapılan son çalışmalar, multipotent yetişkin nöral progenitör hücrelerinin, nöronal farklılaşma sırasında histon deasetilasyonu inhibisyonu için önemli rollere sahip olduklarını göstermektedir. Yetişkin sıçan nöral progenitörleri, bilinen bir HDAC inhibitörü olan valproik asit (VPA) ile tedavi edildiğinde, proliferasyonda azalmaya, nöronal farklılaşmada ise artışa yol açmaktadır. Gen ekspresyon seviyeleri incelendiğinde VPA tedavisinden sonra NeuroD mRNA'sında artış meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak, nöral progenitörlerde NeuroD'nin aşırı ekspresyonu, nöronların artmasına ve VPA tedavisine benzer şekilde glial alt tiplerinin farklılaşma yeteneğinin azalmasına neden olmaktadır. VPA, yetişkin hipokampusüne enjekte edildiğinde proliferasyonda azalma ve nöral farklılaşmada artışa neden olmaktadır (Hsieh ve ark., 2004). Histon kuyrukları, sıçan nöral öncü farklılaşması esnasında gen ekspresyonunu düzenlemektedirler.

Oligodendrosit soyunun ilerlemesi için histon deasetilaz aktivitesi gereklidir (Marin-Husstege ve ark., 2002). Oligodendrosit progenitörlerinin başka bir HDAC inhibitörü olan trikostatın A (TSA) ile tedavisi neticesinde, olgun oligodendrositlerdeki farklılaşma bloke olmaktadır. HDAC inhibisyonu, tip II astrositlerin olgunlaşmasını etkilememektedir. Diğer taraftan, histonların asetilasyon durumu, oligodendrosit farklılaşması için önemli bir zamanlama mekanizmasına sahiptir (Shien ve ark., 2005). Histon H3'ün sınıf I HDAC tarafından deasetilasyonu, doğum sonrası gelişimin ilk 2 haftasında meydana gelen miyelinizasyonun başlangıcı sırasında meydana gelmektedir. Daha sonra, olgun oligodendrositler H3 lizin 9 metilasyonunu gerçekleştirir ve HDAC inhibitörlerinden etkilenmezler. Histon deasetilasyonunun progenitörleri oligodendrosit kaderine nasıl ittiği tam olarak anlaşılmamıştır. Bununla ilgili olarak iki model ileri sürölmüştür.

Bir model, farklılaşmadan sorumlu genler, promotörlerinde yalnızca asetillenmiş durumda erişilebilen negatif düzenleyici öğelere sahip olduğunu öne sürer. Asetilasyondan sonra, negatif düzenleyici elementlerin birleşimi bloke edilir ve oligodendrosit farklılaşması için gerekli genler ifade edilebilir. İkinci bir model, oligodendrosit farklılaşmasını bloke eden genlerin asetillenmiş durumları nedeniyle eksprese edildiğini ve farklılaşma üzerine histonların deasetilasyonunun transkripsiyonel baskıya yol açtığını ve oligodendrosit farklılaşmasından sorumlu downstream genlerinin ekspresyonuna izin verdiğini varsaymaktadır. İkinci model, sıçan nöral öncülerinde histon asetilasyonu/deasetilasyonu ile NeuroD regülasyonu arasında tutarlılık olduğunu göstermektedir (Hsieh ve ark., 2004).

Nöralplastisite, Öğrenme ve Bellekte Epigenetik Mekanizmalar

Öğrenme ve hafıza gibi davranışsal görevlerin altında plastisite değişiklikleri yatmaktadır. Nöroplastisite veya beyin plastisitesi olarak da bilinen nöral plastisite, sinir sisteminin yapısını, işlevlerini veya bağlantılarını yeniden düzenleyerek içsel veya dışsal uyaranlara yanıt olarak aktivitesini değiştirme yeteneği olarak tanımlanabilir. Nöroplastisitede beyin yapısal veya fizyolojik olarak değişikliklere uğrama yeteneğindedir (Mateos-Aparicio ve Rodríguez-Moreno, 2019).

Sinaptik plastisite, öğrenme, hafıza süreçleri, beyin gelişimi ve işlevi için gereklidir. Bunun yanı sıra, gelişim sırasında var olan plastisite, beyindeki bağlantıları ve beyin aktivitesini şekillendirir. Bu nedenle, sinaptik plastisitenin nasıl oluştuğunu ve belirli gelişimsel zaman pencerelerinde nasıl değiştirildiğini araştırmak, beyin nasıl geliştiğine dair önemli bilgiler sağlamaktadır (Hensch, 2004; Pérez-Rodríguez et al., 2018; Rodríguez-Moreno et al., 2013). Ayrıca, öğrenme ve hafıza ve/veya gelişim sırasında sinaptik değişikliklerin nasıl gerçekleştiğini daha iyi anlamak, akademik öğrenmenin erken aşamalarında mevcut protokollerin etkinliğini şekillendirmeye ve iyileştirmeye yardımcı olabilir.

CNS'deki plastisite değişiklikleri, gen ekspresyonunun kararlı modülasyonuna bağlı olarak sinaptik bağlantının uzun vadeli yapısal değişimlerini kapsamaktadır. Aktiviteye bağlı nöronal gen ekspresyonunun düzenlenmesi DNA metilasyonu ve kromatinin yeniden şekillenmesini sağlamaktadır (Feng ve ark., 2007).

DNA metilasyonu, sinaptik plastisite ve hafıza regülasyonunda aktif rol oynamaktadır. DNA metilasyonu, metillenmemiş sitozin-guanin dinükleotid dizisine (CpG) metil (-CH₃) grubunun kovalent bağ ile eklenmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu olay DNA metiltransferazlar (DNMTs) tarafından katalizlenmektedir. Genellikle gen transkripsiyonunun suprese olması ile ilişkili olarak gerçekleşmektedir. Sitozinin metillenmesi sayesinde genomda belirli bölgelere metilDNA bağlayıcı proteinler ve HDAC' ların

yerleşimini kontrol edilir. Bununla birlikte, aktivite bağımlı nöral plastisite de devam eden dinamik değişimlere cevap olarak beyin kaynaklı nörotrofik faktörün (BDNF)'nin metilasyon statüsünü değiştirmek suretiyle anahtar role sahip olabileceği düşünölmektedir. Örnek olarak, kortikal nöronlarda BDNF ekspresyonunun aktiviteye bağlı indüksiyonunda, gen düzenlemesini kullanarak MeCP2 (metil-CpG-bağlama domaini proteini) ve histon deasetilazları içeren kompleksinin ayrışmasını sağlamaktadır (Chen ve ark., 2003; Martinowich ve ark., 2003). Beyin kaynaklı nörotrofik faktör (BDNF), hücrenin hayatta kalması, farklılaşması, gelişimi, öğrenmesi ve hafızası dahil olmak üzere beyin fonksiyonlarının birçok alanında kritik roller oynar. Anormal düzeydeki BDNF ekspresyonu çok sayıda nörolojik bozuklukla ilişkilendirilmektedir (Zheng ve ark., 2012). BDNF promotörü içindeki CpG metilasyonundaki bir azalma, BDNF geninin sürekli yükselmesine neden olmaktadır (Martinowich ve ark., 2003). BDNF, nöronal canlılık ve plastisite için kritik derecede öneme sahip bir gendir. DNA metilasyonu, nöral plastisiteyi aktiviteye bağlı nöronal genlerin düzenlenmesi yoluyla etkileyebilmektedir (Feng ve ark., 2007).

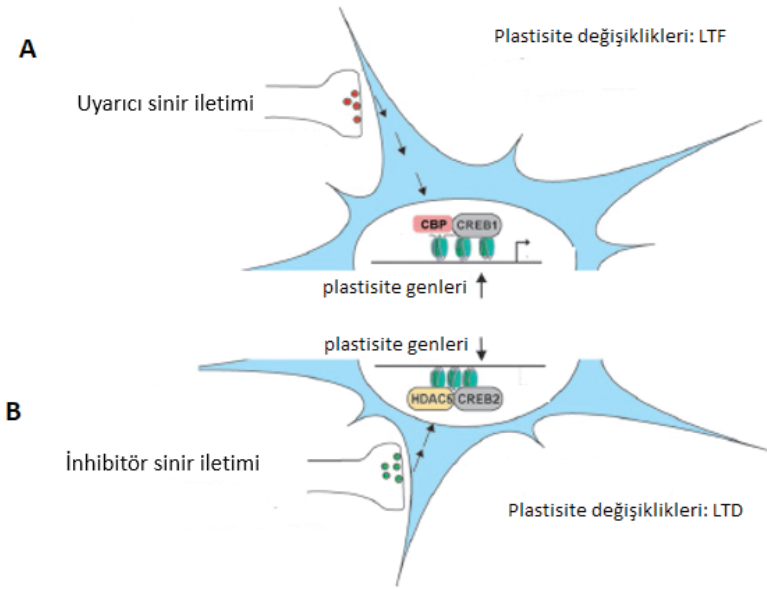
Diğer nörotrofinler gibi, BDNF'nin de başlangıçta nöron proliferasyonu, nörojenez, farklılaşma ve dejenerasyon gibi süreçlerde rolünün olduğu vurgulandı (Barde, 1994; Connor ve Dragunow, 1998). Daha sonraları ise, aktiviteye bağlı nöronal modifikasyonu düzenleme işlevinin olduğu da ortaya konmuştur. Örneğin, BDNF, hem sinaptik etkinliğin aktiviteye bağlı bir şekilde güçlendirilmesi olan uzun vadeli güçlenmeyi (LTP) hem de hafıza oluşumunu düzenlemektedir (Connor ve Dragunow, 1998; Malenka ve Bear, 2004). BDNF, aktiviteye bağlı plastisite ve birçok beyin fonksiyonu için gereklidir. Bununla birlikte, BDNF ekspresyonu hem *in vitro* hem de *in vivo* nöronal aktivite tarafından tetiklenmektedir. Bu hem LTP hem de hafıza oluşumu için gen transkripsiyonun ve yeni protein sentezinin gerekli olduğu fikriyle tutarlılık göstermektedir (Malenka ve Bear, 2004; Kandel, 2001).

Dnmt'nin ekspresyonu veya enzimatik aktivitesi, fizyolojik veya patolojik koşullar altında da aktif düzenlemeye tabidir. Dnmt inhibitörleri ile yapılan çalışmalarda, Dnmt inhibitörlerinin hipokampusta uzun süreli güçlenmeyi (LTP) bloke edebileceğini düşöndürmektedir (Levenson ve ark., 2006). Bununla birlikte, Dnmt inhibitörlerinin LTP üzerindeki etkisinin, LTP için fizyolojik yolun baskılanmasının doğrudan bir farmakolojik etkisi mi yoksa metilasyon değişikliklerinin aracılık edip etmediği açık değildir.

Sinaptik plastisitedeki uzun süreli değişikliklerin, öğrenme ve hafızanın altında yatan mekanizmalardan biri olduğuna düşünölmektedir. Histon modifikasyonu/kromatinin yeniden şekillenmesinin öğrenme ve hafızanın sinaptik plastisitesine dahil olması ilk olarak *Aplysia*'da rapor edilmiştir. Histon asetilasyonunun ve deasetilasyonunun, sırasıyla bellek depolama

ile ilgili gen ekspresyonunun aktivasyonunu veya inhibisyonunu modüle ettiği gösterilmiştir (Şekil 1) (Guan ve ark., 2002).

Tek bir duyu nöronu içinde, uyarıcı bir verici serotonin, CREB1 transkripsiyon faktörünün (c-AMP response element binding protein 1) ekspresyonunu indükleyebilir. Kromatin immünopresipitasyon deneyleri, CREB1'in CBP'yi (histon asetilaz aktivitesine sahip olan CREB bağlayıcı protein) aldığını göstermektedir. Daha sonra, histon asetilasyonu ve transkripsiyonel makinelerin devreye alınması yoluyla, CREB1/CBP birlikte, uzun vadeli kolaylaştırma olarak adlandırılan artan sinaps kuvveti ile uzun vadeli bir sinaptik plastisite formu için gerekli olan downstream geni C/EBP'nin aktivasyonuna yol açar (Şekil 2A) (Guan ve ark., 2002). Diğer taraftan, bu duyu nöronlarının bir inhibitör verici FMRFamid ile tedavisi, hedef C/EBP gen promotörü üzerinde CREB1/CBP'nin baskılayıcı kompleks CREB2 (ATF4) /HDAC5 ile yer değiştirmesine neden olacaktır. Hedef C/EBP, promotör deasetilasyonuna ve C/EBP gen ekspresyonunun inhibisyonuna ve ardından sinaptik plastisitenin uzun süreli depresyona geçişine yol açar (Şekil 2B) (Guan ve ark., 2002).



Şekil 1: Histon modifikasyonları, nöral gen ekspresyonunda ve uzun vadeli nöral plastisitede değişikliklere aracılık eder. Burada, *Aplysia*'daki bir duyu nöronunda LTF (uzun vadeli kolaylaştırma) ve LTD (uzun vadeli depresyon) gibi uzun vadeli sinaptik plastisite değişikliklerine yol açabilen uyarıcı (A) ve inhibitör (B) sinaptik iletiminin şematik bir çizimi gösterilmiştir (Guan ve ark., 2002)

İnsanlarda, CBP geninin mutasyonunun, zekâ geriliği hastalığı olarak bilinen Rubinstein-Taybi sendromunun nedeni olduğuna inanılmaktadır. CBP bir transkripsiyon koaktivatörü olarak, gen aktivasyonuna aracılık etmede iki işleve sahiptir. İlk işlevi olarak, CBP, diğer transkripsiyon faktörlerinin transkripsiyonel makineye alınması için bir platform görevi görür. İkinci işlevi olarak ise, CBP, kromatin yapısını değiştiren bir histon asetilttransferaz olarak çalışır. CBP'nin histon asetilttransferaz aktivitesi, bellek konsolidasyonunun kritik bileşeni olarak kabul edilmektedir (Feng ve ark., 2007).

Yapılan çalışmalarda, HAT aktivitesinden yoksun bir mutant CBP formunun, hipokampal spesifik ekspresyonuna sahip olan bir RTS fare modelinde uzun süreli hafıza stabilizasyonunun bozulduğu ortaya konmuştur. Yetişkin farelerde ya transgen ekspresyonunun baskılanması ya da HDAC inhibitörü uygulamasının, her ikisinin de terapi için potansiyel bir seçenek sağlayan etkiyi tersine çevirebileceği düşünülmektedir. RTS fare modelinin bir haploinsufficiency formu kullanılarak, HDAC'yi inhibe etmenin yanı sıra CREB'ye bağlı gen ekspresyonunu güçlendirerek de bellek açığı iyileştirilebilir. CBP hem histon asetilasyon fonksiyonunun hem de CREB koaktivasyonunun hafıza oluşumu için oldukça önemlidir. CBP'nin çoklu işlevsel alanları içinde, belki de CREB bağlanma (KIX) domaini, uzun süreli bellek depolaması için en gerekli olandır. Bu durumda, transkripsiyonel ortak aktifleştirici CBP'nin KIX domaini yoluyla alınması, CREB düzenlemesi kapsamında uzun süreli bellek depolaması için gerekli olan bir dizi gen seçebilir (Feng ve ark., 2007; Kozus ve ark., 2004; Wood ve ark., 2006).

Kromatin yeniden yapılanmasının eksikliği bellek oluşumunda soruna yol açacağı gibi, bellekteki değişiklikler, histon modifikasyon değişikliklerini de indükleyebilmesine neden olacaktır. Örneğin, güçlü bir ilişkisel öğrenme modeli olan bağlamsal korku koşullandırması, hipokampusta hem H3 asetilasyonuna hem de H3 fosforilasyon değişikliklerine yol açabilir (Chwang ve ark., 2006). Bu histon modifikasyonları, muhtemelen, hipokampal bellek konsolidasyonu için önemli bir sinyalleşme kaskadı olan ERK/MAPK yolu aracılığıyla düzenlenebilir. Ancak H3 asetilasyonu ve H3 fosforilasyonunun hafıza oluşumu sırasında yakınsak veya bağımsız roller oynayıp oynamadığı ise hala belirsizdir.

Nöral Davranışın Epigenetik Düzenlenmesi

Erken deneyim, yetişkin davranış kalıpları üzerinde derin bir etkiye sahiptir. Örneğin, ilk ebeveynlik tarzı, bir çocuğun gelecekteki davranışını ve kişiliğini etkileyebilir. Cevaplanması gereken anahtar sorulardan biri, erken çevresel faktörlerin fenotip üzerindeki etkilerinin uzun vadede nasıl korunduğudur. Doğumdan sonraki ilk hafta içinde sıçan anneler tarafın-

dan yavru yalama/tımarlama ve kemerli emzirme (LG-ABN) düzeyleri, yavruların yetişkin yaşamlarının sonraki dönemlerindeki stres tepkileri üzerinde derin bir etkiye sahiptir. Daha spesifik olarak söylemek gerekirse, “yüksek LG-ABN”li annelerin çocukları, “düşük LG-ABN” annelerin çocuklarına göre daha az korkuya sahip ve strese karşı daha tutarlı hipotalamik-hipofiz-adrenal (HPA) tepkileri gösterir. “Düşük LG-ABN’li” bir annenin biyolojik yavrularının “yüksek LG-ABN’li” bir anne tarafından büyütüldüğü bir çapraz besleme deneyinde, “düşük LG-ABN” anneye ait yavruların stres tepkileri, “yüksek LG-ABN” annenin normal yavrularının stres tepkisine benzeyecektir. Bu çapraz teşvik deneyi, bu davranışsal etkinin genomik olmayan bir modülasyonun kontrolü altında gerçekleştiği olasılığını göstermektedir. Buna uygun olarak, “yüksek LG-ABN”li annelerin yetişkin çocuklarında, hipokampal glukokortikoid reseptörü (GR) ekspresyonu da artmaktadır (Francis ve ark., 1999; Weaver ve ark., 2004). Annenin erken LG-ABN davranışının yavruların GR ekspresyon seviyelerini nasıl etkilediğini incelemek için Weaver ve ark. (2005) yaptığı bir çalışmaya göre GR geni promotör bölgesi çevresinde epigenomda dinamik bir değişiklik olduğu bulunmuştur. GR’nin ilk ekzonundaki transkripsiyon faktörü NGFI-A bağlanma bölgesi, doğumdan hemen sonra metillenmemiş bir durumdan metillenmiş bir duruma geçmektedir. Bununla birlikte, “yüksek LG-ABN” ile yetiştirilen yavrularda DNA metilasyonu için metil grubu donörü sağlamak, stres tepkilerini de tersine çevirdiği ortaya konulmuştur (Weaver ve ark., 2005). Bu, sadece epigenetik modülasyon ve uzun vadeli davranış değişikliği arasındaki nedensel ilişkiyi kanıtlamakla kalmıyor, aynı zamanda yetişkin postmitotik nöronlarda bile DNA metilasyonu ve histon modifikasyonunun dinamik olabileceğine dair kanıtlar da sağlamaktadır. Gerçekten de belirli anne bakımı altında yüzlerce genin farklı şekilde düzenlendiği bulunmuştur. Epigenomun modüle edilmesi gen ekspresyon profilini tersine çevirebilir (Weaver ve ark., 2006). Bu, uzun vadeli davranış değişikliklerinin epigenetik düzenlemesinin muhtemelen büyük oranda korunan bir olay olduğunu göstermektedir.

Sirkadiyen ritimde histon modifikasyonunun rolü, epigenetik mekanizmaların ritmik davranış değişikliği üzerinde ince ayarlı bir mekanizma olarak hizmet edebileceğini de vurgulamaktadır. Sirkadiyen ritim, memelilerin fizyolojik süreçlerinde kabaca 24 saatlik bir döngüyü kapsamaktadır. Memeli sirkadiyen saati, hipotalamik suprakiazmatik çekirdeğin (SCN) nöronlarında bulunur. Gece ışığa maruz kalma, saatin hızlı indüksiyonuna ve kalp pilinde faz kaymasına neden olmaktadır. Histon fosforilasyon değişiklikleri, gen ekspresyonu değişiklikleri gösteren aynı SCN nöronlarında gözlenir (Crosion ve ark., 2000). Sirkadiyen saatin bir özelliği de farklı gen gruplarının ritmik bir şekilde eksprese olmasıdır. Ayrıca sirkadiyen ilişkili genlerin promotör bölgelerinde, ritmik bir şekilde histon asetilasyonu meydana gelmektedir (Etchegaray ve ark., 2003). Epigenetik modifi-

kasyonlar gerçekten de ışık gibi çevresel uyarılara karşı bir yanıt olarak gerekleēebilir ve bu aktivasyon ritmik bir modelde farklı sirkadiyen gen ekspresyonlarını aktive edebilir.

Nöropsikiyatrik Bozukluklarda Epigenetik Disregölasyon

Son yıllarda, özellikle nöropsikiyatrik hastalıkların çoğunun epigenetik düzensizlik ile ilgili olduğu tespit edilmiştir (Egger ve ark., 2004). Örneğin, nörogelişimsel bir bozukluk olan Rett Sendromu, DNA metilasyonunun gen susturma etkilerine aracılık ettiği öne sürölen MBD proteinlerinden biri olan MeCP2'deki mutasyonlardan kaynaklanmaktadır (Amir ve ark., 1999). Diğer bir hastalık olan ICF sendromuna (immün yetmezlik, sentromer instabilitesi ve yüz anomalisi) ise *de novo* metiltransferazlardan biri olan DNMT3B'deki mutasyonlar neden olmaktadır (56). Ayrıca DNA metilasyonunun düzensizliği ve histon modifikasyonları, bipolar ve şizofreni gibi karmaşık psikiyatrik hastalıklarla da ilişkilidir (26). Öğrenme güçlüğü bozuklukluğu olan Coffin-Lowry sendromu (histon fosforilasyonu için Rsk2'deki mutasyonlar) ve Rubinstein-Taybi sendromunun (CBP histon asetilaz) yanı sıra, Angelman sendromu ve Prader-Willi sendromu gibi klasik damgalama bozukluklarında da çeşitli epigenetik düzensizlikler gözlenmektedir (Goldstone ve ark., 2004; Hanauer ve ark., 2002). Nöropsikiyatrik bozuklukların epigenetik mekanizmalarla ilişkisi, DNA metilasyonunun ve nöral gelişim ve fonksiyondaki histon modifikasyonlarının önemini vurgulamaktadır.

İskemi, bağımlılık, depresyon ve nöbet gibi bazı patolojik beyin tepkileri sırasında da epigenetik değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Bu bozukluklardaki ortak bir konu, patolojik etiyolojinin nöral plastisitede değişiklikler gerektirmesidir. Örneğin kokain, gen ekspresyonunun düzenlenmesi yoluyla nöro-adaptasyonları indükler. Kokain uygulaması, histon asetilasyon değişikliklerini ve farklı gen promotörlerinde farklı histon modifikasyonlarını indükleyebilir. cFos gen promotöründe, hızlı kokain enjeksiyonundan hemen sonra H4 hiperasetilasyonu görölmektedir, oysa kronik kokain uygulamasında ise hiçbir histon modifikasyonu görölmemektedir, bu da kokainin cFos'u akut olarak indükleme kabiliyeti ile tutarlı olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, kronik kokain tarafından indöklenen genlerde, BDNF ve Cdk5 promotörlerinde, H3 hiperasetilasyonu sadece kronik kokainli olanlarda gerçekleşmektedir (Kumar ve ark., 2005; Tsankova ve ark., 2006). Bu, bağımlılığın, gen ekspresyonunun epigenetik düzenlenmesi yoluyla nöroadaptasyonları indökleğini açıkça göstermektedir. Ayrıca, bireysel gen ifadelerinin farklı epigenetik düzenleyici mekanizmalarla ilişkili olduğuna dair kanıt teşkil etmektedir (Feng ve ark., 2007).

DNA metilasyonu ve histon modifikasyonları yoluyla epigenetik gen düzenlemesinin, hücre farklılaşmasından nöronal plastisiteye, öğrenme

ve hafızadan davranışa kadar sinir sisteminin gelişimi ve işlevi için çok önemli bir mekanizma olduğu bilinmektedir. Epigenomun kuralsızlaştırılması çeşitli nöropsikiyatrik bozukluklara yol açabilir. Sürekli değişen ortamlara yanıt olarak, sinir sisteminin nöral devre ve nörotransmisyon düzeyinde uygun ve uzun süreli değişiklikler yapması gerekir ve bu değişiklikleri sürdürmek için kararlı gen ekspresyonu gerekir. Epigenetik mekanizmalar, nispi statik genom üzerinde gen ekspresyonunun dinamik düzenlenmesi için bir araç sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, DNA metilasyonundaki ve histon modifikasyonlarındaki dinamik değişiklikler sadece bölünen hücrelerde değil, aynı zamanda yetişkin postmitotik nöronlarda da görülmektedir. Belirli histon modifikasyonlarının sinir sisteminin bazı fonksiyonel durumları ile ilişkisi bulunmaktadır. Sinir sisteminde, DNA metilasyonunu veya histon kalıntılarını geri dönüşümlü olarak değiştirebilen birçok enzim/aktivite tanımlanmıştır. Bu aktiviteler sayesinde aktif veya inaktif kromatinlerin (gen ifadesindeki stabil değişiklikler için) yeniden modellenmesini sağlanmaktadır. Diğer taraftan, sinir sisteminde epigenetik değişimi indükleyen sinyal kaskadlarının neler olduğu ve epigenomun belirli çevresel uyaranlara yanıt olarak nasıl kodladığına dair bazı soruların kapsamlı bir şekilde açıklanması gerekmektedir. Öğrenme ve hafıza gibi karmaşık davranışlardaki nöronal gen düzenlemesinin yanı sıra nöral gelişimin altında yatan çeşitli epigenetik değişikliklerin şifresini çözmek oldukça heyecan vericidir.

KAYNAKÇA

- Amir, R.E., Van den Veyver, I.B., Wan, M., Tran, C.Q., Francke, U., Zoghbi, H.Y. (1999). Rett syndrome is caused by mutations in X-linked MECP2, encoding methyl-CpG binding protein 2. *Nat Genet* 23:185–188.
- Barde YA. (1994). Neurotrophins: a family of proteins supporting the survival of neurons. *Prog Clin Biol Res* 390: 45-56.
- Brooks, P.J., Marietta, C., Goldman, D. (1996). DNA mismatch repair and DNA methylation in adult brain neurons. *J Neurosci* 16:939–945.
- Chen, W.G., Chang, Q., Lin, Y., Meissner, A., West, A.E., Griffith, E.C., Jaenisch, R., Greenberg, M.E. (2003). Derepression of BDNF transcription involves calcium-dependent phosphorylation of MeCP2. *Science* 302:885–889.
- Chhabra, R. (2015). miRNA and methylation: a multifaceted liaison. *Chembiochem* 16, 195-203.
- Chiang, P. K., Gordon, R. K., Tal, J., Zeng, G. C., Doctor, B. P., Pardhasaradhi, K., et al. (1996). S-Adenosylmethionine and methylation. *FASEB J.* 10, 471–480.
- Chwang WB, O’Riordan KJ, Levenson JM, Sweatt JD 2006 ERK/MAPK regulates hippocampal histone phosphorylation following contextual fear conditioning. *Learn Mem* 13:322–328.
- Connor B and Dragunow M. (1998). The role of neuronal growth factors in neurodegenerative disorders of the human brain. *Brain Res Brain Res Rev* 27: 1-39.
- Crosio, C., Cermakian, N., Allis, C.D., Sassone-Corsi, P. (2000). Light induces chromatin modification in cells of the mammalian circadian clock. *Nat Neurosci* 3:1241-1247.
- Dolinoy, D. C., Weidman, J. R., and Jirtle, R. L. (2007). Epigenetic gene regulation: linking early developmental environment to adult disease. *Reprod. Toxicol.* 23, 297–307.
- Egger, G., Liang, G., Aparicio, A., Jones, P.A. (2004). Epigenetics in human disease and prospects for epigenetic therapy. *Nature* 429:457–463.
- Endres, M., Meisel, A., Binizskiewicz, D., Namura, S., Prass, K., Ruscher, K., Lipski, A., Jaenisch, R., Moskowitz, M.A., Dirnagl, U. (2000). DNA methyltransferase contributes to delayed ischemic brain injury. *J Neurosci* 20:3175–3181.
- Etchegaray, J.P., Lee, C., Wade, P.A., Reppert, S.M. (2003). Rhythmic histone acetylation underlies transcription in the mammalian circadian clock. *Nature* 421:177-182.
- Fan, G., Hutnick, L. (2005). Methyl-CpG binding proteins in the nervous system. *Cell Res* 15:255–261

- Feng, J., Chang, H., Li, E., Fan, G. (2005). Dynamic expression of de novo DNA methyltransferases Dnmt3a and Dnmt3b in the central nervous system. *J Neurosci Res* 79:734–746.
- Feng, J., Fouse, S. and Fan, G. (2007). Epigenetic Regulation of Neural Gene Expression and Neuronal Function. *Pediatric Research*, 61:5.
- Francis, D., Diorio, J., Liu, D., Meaney, M.J. (1999). Nongenomic transmission across generations of maternal behavior and stress responses in the rat. *Science* 286:1155–1158.
- Gage, F.H. (2002). Neurogenesis in the adult brain. *J Neurosci* 22:612–613.
- Goldstone, A.P. (2004). Prader-Willi syndrome: advances in genetics, pathophysiology and treatment. *Trends Endocrinol Metab* 15:12–20.
- Goto, K., Numata, M., Komura, J.I., Ono, T., Bestor, T.H., Kondo, H. (1994). Expression of DNA methyltransferase gene in mature and immature neurons as well as proliferating cells in mice. *Differentiation* 56:39–44.
- Guan, Z., Giustetto, M., Lomvardas, S., Kim, J.H., Miniaci, M.C., Schwartz, J.H., Thanos, D., Kandel, E.R. (2002). Integration of long-term-memory-related synaptic plasticity involves bidirectional regulation of gene expression and chromatin structure. *Cell* 111:483–493.
- Hanauer, A., Young, I.D. (2002). Coffin-Lowry syndrome: clinical and molecular features. *J Med Genet* 39:705–713.
- Hensch, T. K. (2004). Critical period regulation. *Annu. Rev. Neurosci.* 27, 549–579.
- Hsieh, J., Gage, F.H. (2005). Chromatin remodeling in neural development and plasticity. *Curr Opin Cell Biol* 17:664–671.
- Hsieh, J., Nakashima, K., Kuwabara, T., Mejia, E., Gage, F.H. (2004). Histone deacetylase inhibition-mediated neuronal differentiation of multipotent adult neural progenitor cells. *Proc Natl Acad Sci U SA* 101:16659–16664.
- Kandel, E.R. (2001). The molecular biology of memory storage: a dialogue between genes and synapses. *Science* 294: 1030–1038.
- Klose, R.J., Kallin, E.M., Zhang, Y. (2006). JmjC-domain-containing proteins and histone demethylation. *Nat Rev Genet* 7:715–727.
- Korzus, E., Rosenfeld, M.G., Mayford, M. (2004). CBP histone acetyltransferase activity is a critical component of memory consolidation. *Neuron* 42:961–972.
- Kumar, A., Choi, K.H., Renthal, W., Tsankova, N.M., Theobald, D.E., Truong, H.T., Russo, S.J., Laplant, Q., Sasaki, T.S., Whistler, K.N., Neve, R.L., Self, D.W., Nestler, E.J. (2005). Chromatin remodeling is a key mechanism underlying cocaine-induced plasticity in striatum. *Neuron* 48:303–314.
- Levenson, J.M., Roth, T.L., Lubin, F.D., Miller, C.A., Huang, I.C., Desai, P., Malone, L.M., Sweatt, J.D. (2006) Evidence that DNA (cytosine-5) methyl-

- ransferase regulates synaptic plasticity in the hippocampus. *J Biol Chem* 281:15763–15773.
- Li E, Bestor T, Jaenisch R 1992 Targeted mutation of the DNA methyltransferase gene results in embryonic lethality. *Cell* 69:915–926.
- Jenuwein, T., Allis, C.D. (2001). Translating the histone code. *Science* 293:1074–1080.
- Jessell, T.M., Sanes J.R. (2000). Development. The decade of the developing brain. *Curr Opin Neurobiol* 10:599–611.
- Jost, J.P., Oakley, E.J., Zhu, B., Benjamin, D., Thiry, S., Siegmann, M., Jost, Y.C. (2001). 5-Methylcytosine DNA glycosylase participates in the genome-wide loss of DNA methylation occurring during mouse myoblast differentiation. *Nucleic Acids Res* 29:4452–4461.
- MacDonald, J.L., Gin, C.S., Roskams, A.J. (2005). Stage-specific induction of DNA methyltransferases in olfactory receptor neuron development. *Dev Biol* 288:461–473.
- Malenka, R.C. and Bear, M.F. (2004). LTP and LTD: an embarrassment of riches. *Neuron* 44:5-21.
- Marin-Husstege, M., Muggironi, M., Liu, A., Casaccia-Bonnel, P. (2002). Histone deacetylase activity is necessary for oligodendrocyte lineage progression. *J Neurosci* 22:10333–10345.
- Martinowich, K., Hattori, D., Wu, H., Fouse, S., He, F., Hu, Y., Fan, G., Sun, Y.E. (2003). DNA methylation-related chromatin remodeling in activity-dependent BDNF gene regulation. *Science* 302:890–893.
- Mateos-Aparicio, P. and Antonio Rodríguez-Moreno, A. (2019). The Impact of Studying Brain Plasticity. *Brain Plasticity, a Paradigm in Neuroscience*. 13:66.
- Morgan, H.D., Dean, W., Coker, H.A., Reik, W., Petersen-Mahrt, S.K. (2004). Activation-induced cytidine deaminase deaminates 5-methylcytosine in DNA and is expressed in pluripotent tissues: implications for epigenetic reprogramming. *J Biol Chem* 279:52353–52360.
- Mosaferi, B., Babri, S., Ebrahimi, H., and Mohaddes, G. (2015). Enduring effects of post-weaning rearing condition on depressive- and anxiety-like behaviors and motor activity in male rats. *Physiol. Behav.* 142, 131–136.
- Okano, M., Bell, D., Haber, D., Li, E. (1999). DNA methyltransferases Dnmt3a and Dnmt3b are essential for de novo methylation and mammalian development. *Cell* 99:247–257.
- Ono, T., Uehara, Y., Kurishita, A., Tawa, R., Sakurai, H. (1993). Biological significance of DNA methylation in the ageing process. *Age Ageing* 22: S34–S43.
- Pérez-Rodríguez, M., Arroyo-García, L. E., Prius-Mengual, J., Andrade-Talavera, Y., Armengol, J. A., Pérez-Villegas, E. M., et al. (2018). Adenosine receptor-mediated developmental loss of spike timing-dependent depression in

the hippocampus. *Cereb. Cortex*.

- Rampon, C., Tang, Y.P., Goodhouse, J., Shimizu, E., Kiyin, M., Tsien, J.Z. (2000). Enrichment induces structural changes and recovery from nonspatial memory deficits in CA1 NMDAR1-knockout mice. *Nat Neurosci* 3:238–244.
- Rodríguez-Moreno, A., González-Rueda, A., Banerjee, A., Upton, A. L., Craig, M. T., and Paulsen, O. (2013). Presynaptic self-depression at developing neocortical synapses. *Neuron* 77, 35–42.
- Shi, Y., Lan, F., Matson, C., Mulligan, P., Whetstine, J.R., Cole, P.A., Casero, R.A., Shi, Y. (2004). Histone demethylation mediated by the nuclear amine oxidase homolog LSD1. *Cell* 119:941–953.
- Shen, S., Li, J., Casaccia-Bonnel, P. (2005). Histone modifications affect timing of oligodendrocyte progenitor differentiation in the developing rat brain. *J Cell Biol* 169:577–589.
- Takizawa, T., Nakashima, K., Namihira, M., Ochiai, W., Uemura, A., Yanagisawa, M., Fujita, N., Nakao, M., Taga, T. (2001). DNA methylation is a critical cell-intrinsic determinant of astrocyte differentiation in the fetal brain. *Dev Cell* 1:749–758.
- Tawa, R., Ono, T., Kurishita, A., Okada, S., Hirose, S. (1990). Changes of DNA methylation level during pre- and postnatal periods in mice. *Differentiation* 45:44–48.
- Tsankova, N.M., Berton, O., Renthal, W., Kumar, A., Neve, R.L., Nestler, E.J. (2006). Sustained hippocampal chromatin regulation in a mouse model of depression and antidepressant action. *Nat Neurosci* 9:519–525.
- Watanabe, D., Uchiyama, K., Hanaoka, K. (2006). Transition of mouse de novo methyltransferases expression from Dnmt3b to Dnmt3a during neural progenitor cell development. *Neuroscience* 142:727–737.
- Watt, F., Molloy, P.L. (1988). Cytosine methylation prevents binding to DNA of a HeLa cell transcription factor required for optimal expression of the adenovirus major late promoter. *Genes Dev* 2:1136–1143.
- Weaver, I.C., Cervoni, N., Champagne, F.A., D’Alessio, A.C., Sharma, S., Seckl, J.R., Dymov, S., Szyf, M., Meaney, M.J. (2004). Epigenetic programming by maternal behavior. *Nat Neurosci* 7:847–854.
- Weaver, I.C., Champagne, F.A., Brown, S.E., Dymov, S., Sharma, S., Meaney, M.J., Szyf, M. (2005). Reversal of maternal programming of stress responses in adult offspring through methyl supplementation: altering epigenetic marking later in life. *J Neurosci* 25:11045–11054.
- Weaver IC, Meaney MJ, Szyf M 2006 Maternal care effects on the hippocampal transcriptome and anxiety-mediated behaviors in the offspring that are reversible in adulthood. *Proc Natl Acad Sci U S A* 103:3480–3485.

- Wu, H., Sun, Y.E. (2006). Epigenetic regulation of stem cell differentiation. *Pediatr Res* 59:21R–25R.
- Wilson, V.L., Smith, R.A., Ma, S., Cutler, R.G. (1987). Genomic 5-methyldeoxycytidine decreases with age. *J Biol Chem* 262:9948–9951.
- Wood, M.A., Attner, M.A., Oliveira, A.M., Brindle, P.K., Abel, T. (2006). A transcription factor-binding domain of the coactivator CBP is essential for long-term memory and the expression of specific target genes. *Learn Mem* 13:609–617.
- Zheng, F., Xianju Zhou, X., Moon, C., Wang, H. (2012). Regulation of brain-derived neurotrophic factor expression in neurons. *Int J Physiol Pathophysiol Pharmacol* 4(4):188-200.

“

Bölüm 13

ANTALYA İLİNDE GÖRÜLEN VEJETASYON TİPLERİ

Orhan ÜNAL¹

¹ Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Antalya/Türkiye

”

Giriş:

Sahip olduğu tür çeşitliliği, nadir ve endemik türlerin sayısının çokluğu ile Türkiye florası oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Tüm Avrupa kıtası ile karşılaştırıldığında Türkiye'deki bitki sayısı hemen hemen Avrupa kıtası ile yakın sayıdadır (Tablo 1). Son zamanlarda eklenen yeni türlerle tür sayısı 11.000 'ni geçmiş durumdadır (Ekim, 2005).

Tablo 1. *Türkiye'deki tür sayısı ve endemik bitki sayısının komşularımız ve Avrupa kıtasındaki tür sayısı ve endemik bitki sayısı ile karşılaştırılması.*

Ülke	Tür Sayısı	Endemik Tür Sayısı
Türkiye	9000	3000
İran	7500	1500
Yunanistan	5500	1100
Bulgaristan	3650	53
Irak	3000	200
Suriye ve Lübnan	3000	330
Avrupa Kıtası	12000	2750

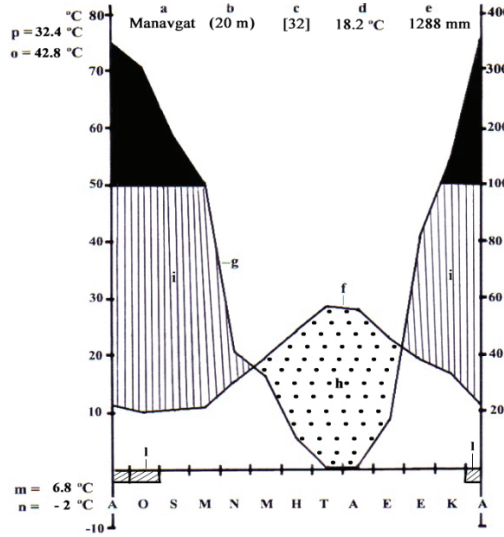
Türkiye florası oldukça zengin olup içerdiği tür sayısı oldukça yüksektir. Bunun temel nedenleri; 1-) Anadolu'nun Avrupa ve Asya Floraları arasında bir köprü oluşturması, 2-) Anadolu'da Akdeniz, İran-Turan ve Avrupa-Sibiryaya olmak üzere 3 fitocoğrafik bölgenin kesişmesi, 3-) Anadolu'nun hem iklimsel ve hem de jeomorfolojik açıdan değişkenlikler göstermesi, 4-) Anadolu'nun birçok cinsin gen merkezinin olması, 5-) Anadolu'da tür endemizminin fazlalığı, 6-) Bazı kültür bitkilerinin ana türlerinin Anadolu ve çevresinde bulunmasıdır (Demiriz 1976, Gökceoğlu ve ark. 2008).

Jeolojik süreç içerisinde Anadolu'nun değişken yapısı, engebeli topografyası ve iklimsel çeşitliliği Anadolu'nun floristik zenginliğini ve vejetasyon tiplerinin fazlalığını arttırmıştır. Özellikle buzul dönemlerinde Avrupa'nın uzun süre tundra dönemi yaşaması çeşitliliği arttıran başka bir nedendir. Çünkü bu dönemde Avrupa'daki mevcut flora ve fauna güneydeki Anadolu'ya çekilmiştir. Böylelikle Anadolu Avrupadaki flora ve fauna için sığınak görevi görmüştür. Sonrasında yaşanan iklimdeki ısınmalar, soğuğa uyum sağlamış olan birçok bitki türünün dağların yüksek kesimlerine lokalize olmasına sebep olmuştur. Buzul dönemlerinde güneye inen formlar, buzullar sonrası dönemde Akdeniz Bölgesi'nin ve özellikle Torosların habitat çeşitliliğinde türleşerek bu bölgenin zenginliğini önemli ölçüde arttırmışlardır (Ekim ve ark. 2000; Ekim, 2005; Güner ve ark. 2000). Türkiye'nin incisi, turizm cenneti güzel Antalya'da bu habitat zenginliğinden nasibini almıştır. Antalya'nın bu zenginliğinin nedeni bölgenin sahip olduğu iklim koşulları ile coğrafik ve toprak yapısıdır.

Antalya il sınırları içinde 1997 yılında yapılmış olan bir çalışmada (Göktürk ve Sümbül, 1997) 1065 takson, 130 familya, 569 cins ve 1023 tür tespit etmiştir. Endemik sayısı ise 75 (%7.4) olarak bulunmuştur. Yakın zamanda yapılan başka bir çalışmada Antalya ve çevresinde toplam bitki türü sayısı 3250; toplam endemik sayısı 773 (523.78); Antalya'ya özgü bitki türü sayısı ise 244 olarak belirlenmiştir (Deniz ve Aykurt, 2016).

Antalya ili yaz kuraklığının olması ve kışlarının çok yağışlı geçmesi nedeniyle “Yağışlı Merkezi Akdeniz Biyoiklim Tipi”ne sahiptir. İlde Mayıs ayından Ağustos ayına kadar kurak dönem görülmektedir. Ekim Ayı ile Aralık Ayı arası ve Ocak ayı ile Nisan ayı arası yağışlı dönem olup Antalya ilinde Kasım, Aralık ve Ocak aylarında yağış fazlası görülmektedir. Ayrıca Kasım, Aralık ve Ocak aylarında don tehlikesi bulunmaktadır (Şekil 1). Antalya ilinde demir elementi bakımından zengin kırmızı renkli Terra-Rosa toprağı bulunmaktadır. Genellikle killi-tınlı bünyeli olan bu toprak ana kayanın kireçli yapısından dolayı bol oranda kireç içermektedir (Ünal, 1996; Ünal ve Gökceoğlu, 2003; Gökceoğlu ve ark. 2008; Sayan ve ark. 2009).

Şekil 1. Antalya İline ait İklim Diyagramı (Ünal 1996)



Antalya ilinde başlıca vejetasyon tipleri; Kumul Vejetasyonu, Maki Vejetasyonu, Orman Vejetasyonu, Yüksek Dağ Vejetasyonu, Kaya Vejetasyonu, Otsu Vejetasyon ve Sulak Alan Vejetasyonu'dur.

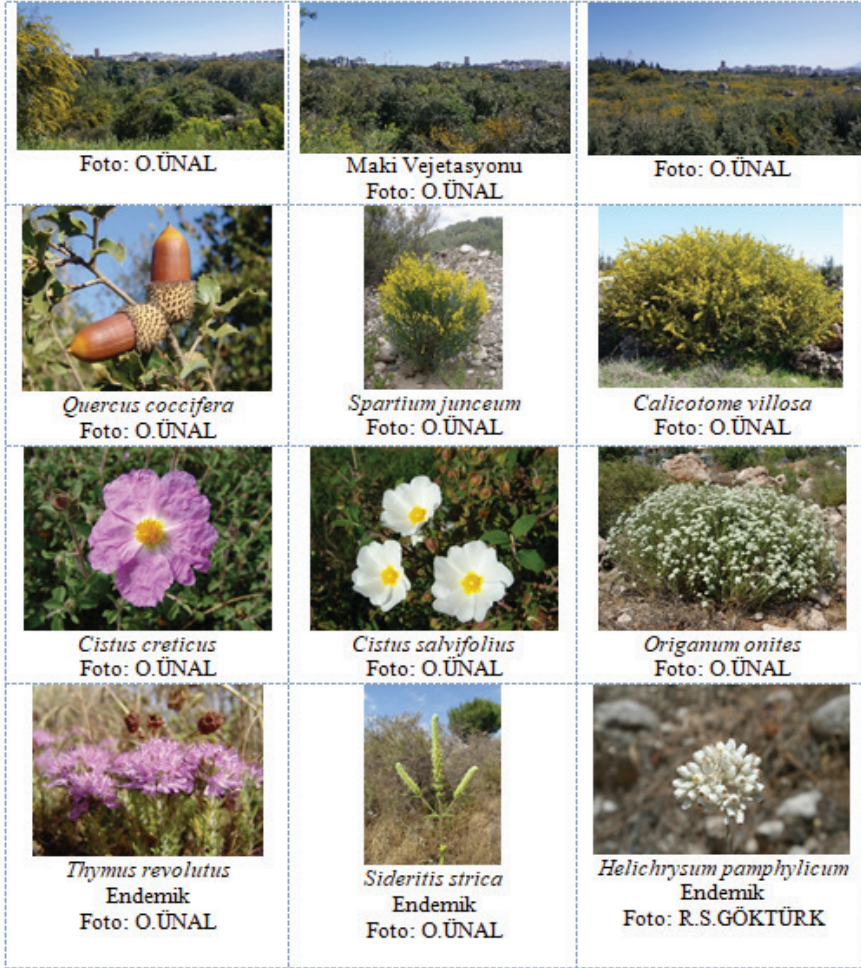
Kumul Vejetasyonu: Antalya ilinin batı kesiminde görülen kumul vejetasyon kendine has bitki topluluklarıyla önemli bir habitattır. Kumul şeridinin denizle temaslı kısımları hareketli, iç kısımları ise genellikle stabildir. Bitki örtüsü hareketli kısımlarda seyrek olup stabil kısımlarda çoğu

tuza dayanıklı tek ve çok yıllık otsu bitkiler ile çalı formu bitkiler görülmektedir. Turizm baskısı altındaki bu alanlarda Antalya iline özgü endemik bir tür olan *Anthemis ammophila* Boiss.&Heldr. ve koruma altında bulunan *Pancretium maritimum* L. türleri bulunmaktadır. Bunun dışında alanda *Euphorbia paralias* L., *Cakile maritima* Scop., *Centaurea aegialophila* Wagenitz, *Eryngium maritimum* L., *Medicago marina* L., *Ononis variegata* L., *Convolvulus lanatus* Vahl., *Pancretium maritimum* L., *Cyperus capitatus* Vandelli, *Erodium cicutarium* (L.) L'Herit., *Echium angustifolium* Miller, *Silene kotschyi* Boiss. ve *Trigonella polycarpa* Boiss.&Heldr., *Euphorbia peplus* L., *Ononis natrix* L., *Tribulus terrestris* L., *Polygonum maritimum* L., *Crithmum maritimum* L., *Lotus halophilus* Boiss.&Sprun., *Cyperus capitatus* Vandelli, *Ononis variegata* L., *Glycyrrhiza asymmetrica* Hub.-Mor., *Petrorhagia pamphylica* (Boiss.&Bal.) Ball.&Heywood., *Petrorhagia hispidula* (Boiss.&Heldr.) Ball.&Heywood., *Trigonella arenicola* Hub.-Mor. ve *Trigonella polycarpa* Boiss.&Heldr. bulunmaktadır (Göktürk 1997, Gökçeoğlu ve ark. 2008; Alpaslan ve Ortaçesme 2009, Altuntaş ve Ortaçesme 2017).



Şekil 2. Kumul vejetasyonunda görülen bazı bitkiler.

Maki Vejetasyonu: Antalya ilinin sahilden itibaren belli bir yüksekliğe kadar birçok yerde hakim vejetasyon tipidir. Maki, çoğunlukla çalı formu bitkilerden oluşmaktadır. Bunla genellikle kuraklığa dayanıklı yaprak dökmeyen herdem yeşil bitkilerdir. Bazı maki bitkileri ise ağaç formundadır. Makinin içinde yaprak döken maki bitkileri de bulunmaktadır. Ayrıca maki içinde çok çeşitli tek ve çok yıllık otsu bitkiler de yetişmektedir. Maki vejetasyonu deniz seviyesinden itibaren 800-900 m. yüksekliğe kadar çıkmaktadır. Maki Antalya ilinde bazı bölgelerde *Pinus brutia* Ten. ormanı ile birliktelik oluşturmaktadır. Maki vejetasyonunun baskın türleri *Quercus coccifera* L., *Phillyrea latifolia* L., *Cistus creticus* L., *Cistus salvifolius* L., *Calicotome villosa* (Poir.) Link., *Euphorbia characias* L. subsp. *wulfenii* (Hoppe. ex W. Koch.) A.R. Smith, *Rhamnus oleoides* L. subsp. *graecus* (Boiss. & Reut.) Holmboe, *Sarcopoterium spinosum* (L.) Spach., *Inula viscosa* Boiss., *Verbascum sinuatum* L. var. *adenosepalum* Murb., *Origanum onites* L., *Spartium junceum* L., *Myrtus communis* L., *Ceratonia siliqua* L. gibi türleri sayabiliriz. Makide yaprak döken türler *Cercis siliquastrum* L., *Styrax officinalis* L., *Pistacia terebinthus* L. ve *Anagris foetida* L.'dir. Soğanlı ve yumrulu bitkiler; *Barlia robertiana* (Loisel) Greuter, *Fritillaria acmopetala* Boiss., *Anemone coronaria* L., *Gagea peduncularis* (J.C.Presl.) Pascher, *Gynandrisis sisyrinchium* (L.) Parl., *Iris unguicularis* L. subsp. *carica* var. *carica*, *Romulea tempskyana* Freyn, *Scilla autumnalis* L., *Urginea maritima* (L.) Baker, *Cyclamen graecum* Link. subsp. *anatolicum* 'dur. Maki içindeki vadilerde *Lythrum salicaria* L., *Rubus sanctus* Schreber, *Nerium oleander* L., *Vitex agnus-castus* L. ve *Tamarix parviflora* DC. görülmektedir. Maki içinde endemik tür olarak *Sideritis strica* Boiss.&Heldr. Apud. Bentham, *Thymus revolutus* Celak, *Phlomis Lycia* D.Don., *Campanula podocarpa* Boiss., *Velezia pseudorigida* Hub.-Mor., *Helichrysum pamphylicum* Davis&Kupicha, *Allium junceum* Sm. subsp. *tridentatum* Kollman.Özhatay&Koyuncu, *Hyacinthella heldreichii* (Boiss.) Chovand. ve *Galium floribundum* Sm. subsp. *airoides* Hub.-Mor. Ex. Ehrend görülmektedir (Ünal 1996, Göktürk 1997, Gökceoğlu ve ark. 2008; Deniz ve Aykurt 2016). Antalya ilinin batısında ve doğusunda ise bozuk maki ve frigana vejetasyonu görülmektedir.



Şekil 3. Maki vejetasyonunda görülen bazı bitkiler.

Orman Vejetasyonu: Antalya ilinde orman vejetasyonu bazı bölgelerde deniz kenarından, bazı bölgelerde ise daha iç kesimlerden yada yukarılardan başlamaktadır. Vejetasyonun baskın türü *Pinus brutia* Ten. olup tür bölgede 1000 m. ye kadar yayılış göstermektedir. Tür alçak kesimlerde yaklaşık 700 m'ye kadar maki bitkileri olan *Quercus coccifera* L., *Phyllaria latifolia* L., *Ceratonia siliqua* L., *Myrtus communis* L., *Olea europea* L., *Pistacia terebinthus* L. ile beraber, vadilerde ise *Vitex agnus-castus* L., *Nerium oleander* L. ve *Platanus orientalis* L. gibi türlerle beraber bulunur. Bunlara ilaveten Antalya ilinde bazı bölgelerde küçük *Casuarina equisetifolia* L., *Pinus pinea* L., *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *Cupressus sempervirens* L. ve *Acacia cyanophylla* Lindley toplulukları görülmektedir (Göktürk 1997, Gökçeoğlu ve ark. 2008; Deniz ve Aykurt 2016).

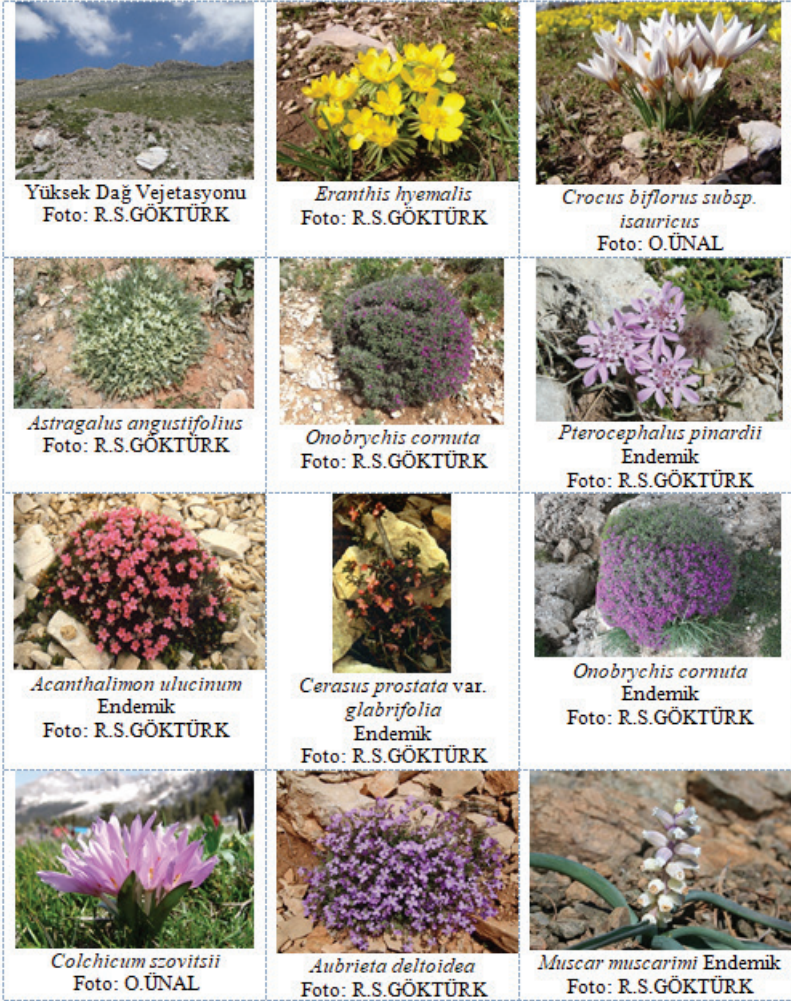
Antalya ilinin 1000 m. yüksekliğinde ise *Pinus brutia* arasına *Pinus nigra* J.F.Arnold türleri girmeye başlar ve böylece *Pinus nigra* ormanı 1000-1200 m'ler arasında hakim olur. Yükseklerde 1200 m'den sonra ise *Cedrus libani* A.Rich ile ormanları görülmeye başlanır. Ayrıca bu alanlarda *Juniperus foetidissima* Willd., *Juniperus oxycedrus* L., *Juniperus drupacea* Lab., *Juniperus excelsa* M.Bieb. subsp. *excelsa* ve *Abies cilicica* (Ant.&Kotschy) Carr. subsp. *isaurica* Coode&Cullen topluluklarında görülmektedir (Gökceoğlu ve ark. 2008; Dinç 1997).



Şekil 4. Orman vejetasyonunda görülen bazı bitkiler.

Yüksek Dağ Vejetasyonu: Ağaç sınırından sonra başlayan bu vejetasyon sert iklim şartları nedeniyle genelde bodur ya da yastık formunda bitkiler içermektedir. *Cedrus libani* A.Rich orman sınırı üzerinde görülen bu alanda çoğunlukla yastık formunda *Acantholimon ulicinum* (Willd.&Schult.) Boiss., *Astragalus angustifolius* Lam., *Astragalus lycius* Boiss., *Aubrieta deltoidea* (L.) DC. ve *Onobrychis cornuta* (L.) Desv. Türleri görülür. Soğanlı ve yumru bitki olarak alanda *Asphodeline taurica* (Pallas) Kunth., *Eranthis hyemalis* (L.) Salisb., *Colchicum szovitsii* Fisch.&Mey., *Crocus biflorus* Miller subsp. *isauricus* (Siehe&Bowles) Mathew ve *Muscari muscarimi* Medikus görülmektedir. Alanda endemik türlerin bazıları; *Salvia caespitosa* Montbret&Aucher ex. Bentham, *Acantholimon ulicinum* (Willd.&Schultes) Boiss. subsp. *lycaonicum* (Boiss.&Heldr.) Bokhari&Edmondson, *Ptilostemon afer* (Jacq.) Greuter subsp. *eburneus* Greuter,

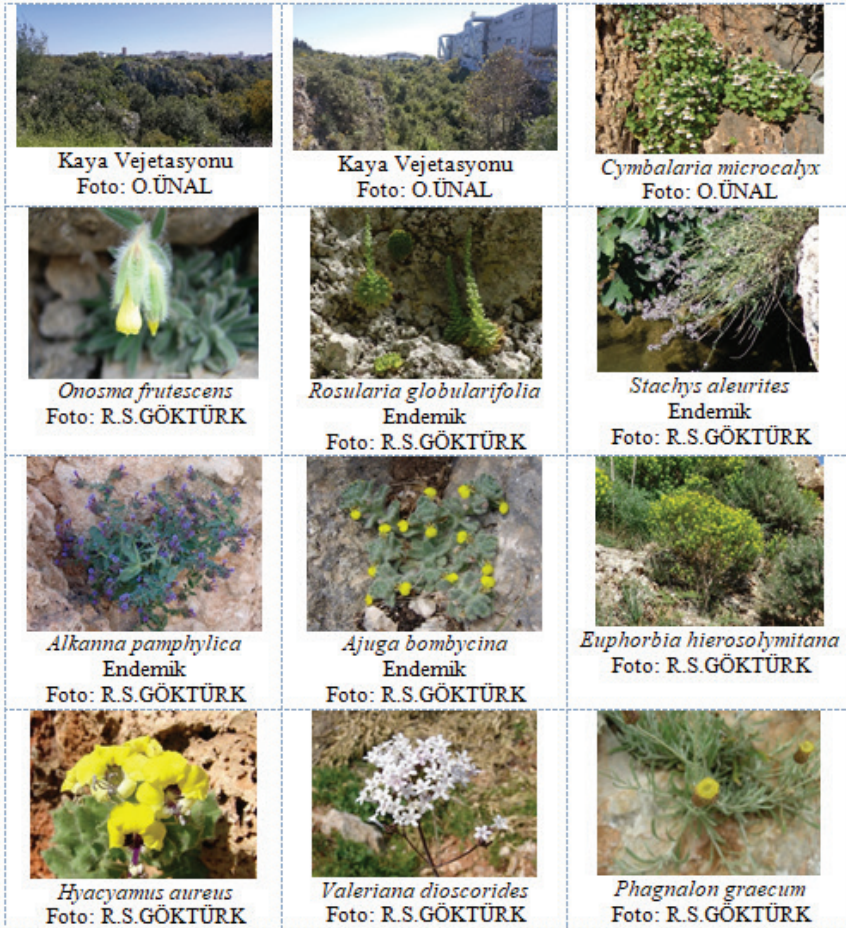
Onobrychis cornuta (L.) Desv., *Astragalus angustifolius* Lam., *Cerasus prostrata* (Lab.) Ser. var. *glabrifolia* (Moris) Browicz, *Pterocephalus pinardii* Boiss. ve *Asyneuma compactum* Damboldt'dır (Dinç 1997, Özkan 2006, Gökceoğlu ve ark. 2008; Çinbilgel 2012).



Şekil 5. Yüksek Dağ vejetasyonunda görülen bazı bitkiler:

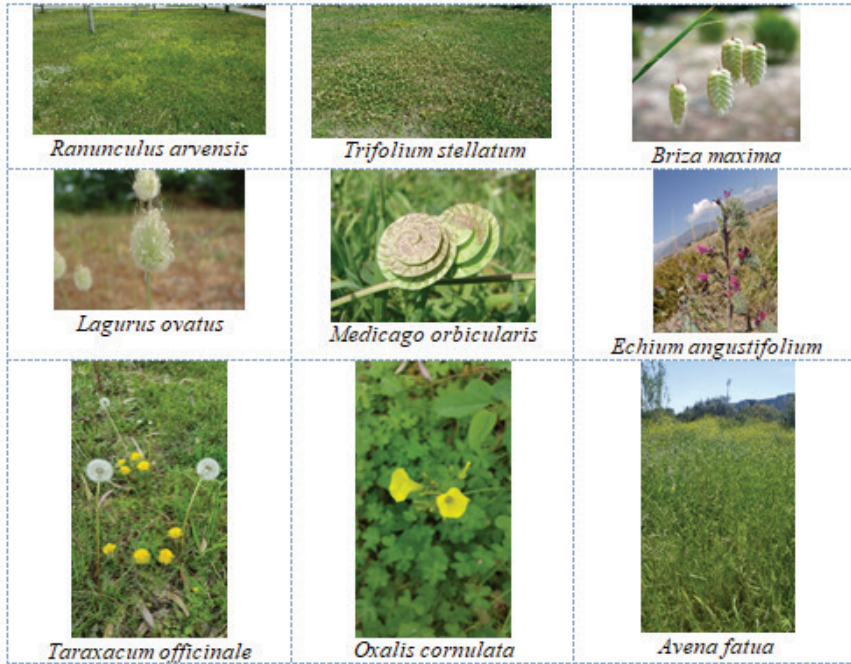
Kaya Vejetasyonu: Antalya ilinin ana kayasını oluşturan falezler nedeniyle şehrin birçok bölgesinde kaya vejetasyonları görülmektedir. Kayalıklarda ortama uyum sağlamış birçok bitki yetişmektedir. Bunların bazıları, *Rosularia globulariifolia* (Fenzl.) Berger, *Inula heterolepis* Boiss., *Ephedra campylopoda* C.A.Meyer, *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau., *Phagnalon graecum* Boiss., *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau., *Erica mani-*

puliflora Salisb., *Hyocyamus aureus* L., *Euphorbia hierosolymitana* Boiss., *Dianthus orientalis* Adams, *Cymbalaria microcalyx* (Boiss.) Wettst., *Crithmum maritimum* L., *Valeriana dioscoridis* Sm., *Onosma frutescens* Lam. ve *Parietaria cretica* L.'dir. Bu kayalar üzerinde endemik *Stachys aleurites* Boiss.&Heldr., *Stachys butleri* R.Mill., *Gypsophila pilulifera* Boiss.&Heldr., *Scrophularia pinardii* Boiss., *Ajuga bombycina* Boiss., *Alkanna macrophylla* Boiss.&Heldr., *Alkanna pamphylica* Hub.-Mor.&Reese, *Dianthus elegans* D'urv. var. *cous* (Boiss.) Reeve, *Galium canum* Req. ex DC. subsp. *antalyense* Ehrend., *Allium sandrasicum* Kollmann, N. Özhatay & Bothmer, *Onosma strigosissima* Boiss., *Verbascum levanticum* I.K.Ferguson, *Teucrium montbretii* subsp. *pamphylicum* P.H.Davis ve *Rosularia globulariifolia* (Fenzl) Berger'e rastlanılmaktadır (Göktürk 1997, Ünal ve Gökceoğlu 2001; Gökceoğlu ve ark. 2008).



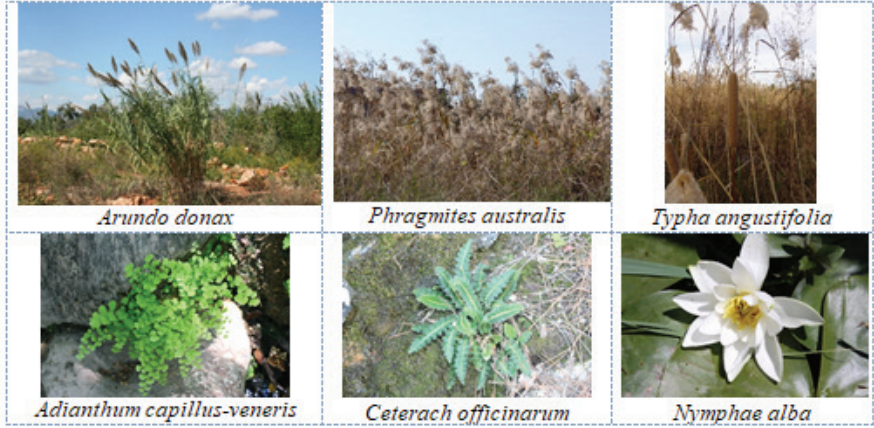
Şekil 6. Kaya vejetasyonunda görülen bazı bitkiler.

Otsu Vejetasyon: Maki ve orman açıklıklarında görülen vejetasyon tipidir. Bunun dışında bu vejetasyona yol kenarlarında ya da tahrip edilen maki ve orman vejetasyonlarında rastlanılmaktadır. Bu alanlarda bahar aylarında *Anemone coronaria* L., *Papaver rhoeas* L., *Ranunculus arvensis* L., *Trifolium tomentosum* L., *Trifolium stellatum* L., *Medicago orbicularis* (L.) Bart., *Echium angustifolium* Miller, *Taraxacum officinale* G.H. Weber&Wiggers, *Oxalis corniculata* L., *Oxalis pes-caprae* L., *Bellis annua* L., *Cichorium intybus* L., görülürken yaz aylarında Poaceae familyasından *Briza maxima*, *Briza minor* L., *Lagurus ovatus*, *Stipa bromoides* (L.) Dörf-ler, *Aegilops umbellata* Zhukovsky ve *Avena fatua* görülmektedir (Gök-türk 1997, Ünal ve Gökceoğlu 2001).



Sulak Alan Vejetasyonu: Antalya ilinde her ne kadar son zamanlarda sayısı azalsa da birçok sulak alanlar bulunmaktadır. Su kenarlarında *Arun-do donax* L., *Typha domingensis* Pers., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Juncus articulatus* L., *Cyperus longus* L., *Foeniculum vulgare* Hill., *Amaranthus albus* L., *Crithimum maritimum* L., *Eryngium mariti-mum* L., *Plantago major* L. subsp. *major* L. *Adiantum capallis-veneris* L., *Ceterah officinarum* DC., *Mentha aquatica* L., *Veronica anagallis-aqua-tica* L., *Ranunculus ficaria* subsp. *ficariiformis* (Rouy & Foucaud) Maire, *Cladium mariscus* (L.) Pohl., *Saccharum ravennae* (L.) Murray, *Carex dis-tans* L., *Juncus subnodulosus* Shrank görülmektedir. Su içinde *Nymphaea*

alba L. ve *Ranunculus aquaticus* L., *Potamogeton crispus* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Zannichellia palustris* L. ve *Ranunculus aquatilis* L. hakimiyeti söz konusudur. Karasal kısımlarında *Quercus coccifera* L., *Calicotome villosa* (Poir.) Link., *Populus alba* L., *Populus tremula* L., *Tamarix parviflora* DC., *Salix alba* L., *Platanus orientalis* L. ve *Nerium oleander* L. görülmektedir (Göktürk 1997, Dinç 1997).



Şekil 7. Sulak alan vejetasyonunda görülen bazı bitkiler.

Sonuç:

Antalya ili oldukça zengin floristik bir yapıya sahiptir. Ancak son yıllarda şehirdeki bir çok doğal alanların üzerinde antropolojik baskı söz konusudur. Özellikle insan nüfusunun tüm dünyada ve Türkiye’de olduğu gibi Antalya ilinde de hızla artması nedeniyle şehirde yeni binalara, yeni yollara ve yeni yaşam alanlarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle şehirde var olan doğal yeşil alanlar zamanla kaybolmuş ya da dar alanlarda kalmışlardır. Kent merkezinde doğal olarak kalabilen yeşil alanlar hem floristik özellikleri hem de yutak alan olma özellikleri nedeniyle şehirler için oldukça ekolojik öneme sahiptirler. Bu nedenle bu tür alanların tahribatı önlenmeli ve korunmalıdır. Şehir dışındaki alanlarda daha az antropolojik baskı söz konusu olup azda olsa insan kaynaklı tahribat bulunmaktadır. Bu nedenle bölgede yaşayan insanlar sahip oldukları bu çeşitlilik tanıtılmalı ve halk bilinçlendirilmelidir. Çünkü şehirlerdeki Antropolojik etkiler floristik çeşitliliği olumsuz etkilemektedir. Örneğin Ünal 1996 yılında yaptığı bir çalışmada Akdeniz Üniversitesi Kampüs alanında 78 familyaya ait 30’u endemik (%6.63) toplam 452 takson tespit etmiştir. Aynı alanda 2020 yılında yapılan çalışmada (Ünal ve Altunbaş, 2020) ise 76 familyaya ait 21’i endemik (%4.79) toplam 438 takson tespit edilmiştir. Takson sayısındaki azalmanın temel nedeni olarak alandaki yapılaşma ve yol çalışmaları

yani antropolojik baskı bulunmuştur.

Benzer şekilde sadece kent merkezinde değil Antalya ili çevresinde de insan kaynaklı tahribatlar çok fazla bulunmuştur. Örneğin, Altuntaş ve Ortaçeşme'nin 2017 yılında yaptığı çalışmada Antalya'nın Aksu ilçesinde turizm ve tarım amaçlı faaliyetlerin alandaki doğal peyzajı olumsuz etkilediğini bulmuşlardır. Aynı şekilde Alparslan ve Ortaçeşme 2009 yılında Side-Manavgat arasında yaptıkları çalışmada alanın turizm ve kentleşme baskısı nedeniyle çok fazla tahrip edildiğini rapor etmişlerdir.

Sonuç olarak Antalya ilinde görülen bu vejetasyonlar şehrin floristik zenginliği açısından oldukça önemlidir. Gelecek nesillere daha yaşanabilir ve yeşil bir dünya bırakmak adına doğal alanların mutlaka korunması ve devamlılığının sağlanması gerekmektedir. Özellikle kent merkezindeki doğal alanlar şehirleşme baskısı altındaki Antalya için önemli yutak alan olma özelliği dışında Floristik, Ekolojik, Sosyolojik ve Peyzaj değerler taşımaktadır. Bu nedenledir ki bu tür alanlar Biyoçeşitlilik adına mutlaka korunmalıdır.

KAYNAKÇA

- Alpaslan, A. Ö., & Ortaçeşme, V. 2009. Side-Manavgat kıyı kesimi alan kullanım- larının kıyı planlaması ve yönetimine yönelik değ erlendirilmesi, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2):169-178.
- Altuntaş, A., & Ortaçeşme, V. 2017. Determination of landscape quality objectives at local level: the case of Antalya Aksu, *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(2),121-131.
- Çinbilgel, İ. 2012. Melik ve Kaldırım Dağı İle Çevresinin (Manavgat-İbradı/An- talya) Flora ve Vejetasyon Yönünden Araştırılması. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 416 syf.
- Demiriz, H. 1976. Bitki Coğrafyasına Giriş, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi ve Diyarbakır Üniversitesi Fen Fakültesi Bitki Coğrafyası Ders Notları.
- Deniz, İ. G., & Aykurt, C. 2016. Antalya Endemik ev Nadir Çiçekleri. Antalya: Expo 2016 Antalya Ajansı
- Dinç, O.1997. Antalya Sarısu-Saklıkent Arasının Florası Üzerine Bir Araştırma. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 188 syf.
- Ekim, T. 2005. *Türkiye 'nin Biyolojik Zenginlikleri (Bitkiler)*, Türkiye Çevre Vakfı Yayınları, 170:167-193.
- Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Duman, H., Aytaç, Z., & Adıgüzel, N. 2000. Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı. Barışcan Ofset Ankara, 246 syf.
- Gökceoğlu, M., Ünal, O., Göktürk, R.S. 2008. Kumluca'nın Biyolojik Zenginliği. Kumluca Rhodiapolis, Nevzat Çevik, Editör, Kumluca Belediyesi, ss.161-190.
- Göktürk, R. S., & Sümbül, H. 1997. Flora of Antalya city, *Turkish Journal of Botany*, 21:341-378. ISSN:1300-008X/1303-6106
- Güner, A., Özhataş N. T., & Başer, K. H. C. 2000. *Flora of Turkey and The East Aegean Islands* (Suppl. 2), Vol. 11. Edinburgh, UK: Edinburgh University Press.
- Özkan, E. 2006. Antalya Beydağlarının (Tahtalı, Teke, Çalbalı, Pozan, Uzunkarış, Özdemir ve Kartal Dağları) Yüksek Dağ Vejetasyonunun Bitki Sosyoloji yönünden Karşılaştırılması. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 174 syf.
- Sayan, S., Korostoff, N., Ortaçeşme, V., Atik, M., Dipova, N., Ünal, O., Erdoğan, A., Karaardıç, H., Öz, M., Çevik, N., & Saatcı, B. 2009. *Akdeniz Üniversitesi Botanik Bahçesi Ekolojik ve Arkeolojik Rezervi*: Rapor. Antalya, Tür- kiye.
- Ünal, O. 1996. *Akdeniz Üniversitesi Kampüsü'nün bitki sosyolojisi ve ekolojisi yönünden bir botanik bahçesi kurulması amacına yönelik olarak incelen- mesi ve haritalanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye.

- Ünal, O., & Altunbaş, G. 2020. Geçmişten günümüze Akdeniz Üniversitesi Kampüsündeki antropojenik etkinin bitki toplulukları açısından incelenmesi, *Eskişehir Technical Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi-C Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 9(2):160-168. Doi:10.18036/estubtdc.668666
- Ünal, O., & Gökceoğlu, M. 2003. Akdeniz Üniversitesi Kampüs florası (Antalya-Türkiye), *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2):143-154.
- Ünal, O., Gökceoğlu, M. 2001. Akdeniz Üniversitesi (Antalya) Kampüsünün Kaya ve Endemik Bitkileri. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A - Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik* 2(1): 97-102.

“

Bölüm 14

**KENTSEL ALANLARDA ERGONOMİK
TARIM OLANAĞI OLARAK
HİDROPONİK TARIM SİSTEMİ**

Mehmet Hakan GÜZEL¹

Sevgi DURNA DAŞTAN²

”

1 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü , 58140, Sivas, Türkiye.

2 Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Arıcılık Araştırma, Geliştirme ve Uygulama Merkezi, Sivas, Türkiye. <https://orcid.org/0000-0003-4946-5602>

GİRİŞ

Yapılan araştırmalara göre dünya nüfusu günümüzde yaklaşık 8 milyar iken, 2050’lerde bu rakamın yaklaşık 10 milyar olacağı öngörülmektedir (Bingöl, 2015; 2019; Anonim, 2019a). Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte tarım arazilerinde gözlemlenen bozulmalar ve kaynakların yanlış kullanımı ve mevcut gıda talebine oranla üretilen gıda miktarının azlığı, gelecekte gıda talebinin karşılanmasında mevcut üretim yöntemlerinin yetersiz kalacağını göstermektedir (Bingöl, 2015). Birleşmiş milletlere bağlı Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO), her yıl 30 futbol sahası büyüklüğünde toprağın kaybolduğunu raporlarında bildirmiştir (Okumuş, 2019; Hickman, 2016). Son yıllarda etkisini herkesin hissettiği küresel ısınma çözümlenememiş çevresel bir sorun olmakla birlikte, kuraklık ile beraber suyun gelecekte çok daha kısıtlı ve önemli olacağı da anlaşılmıştır. Yaşam için vazgeçilmez olan su, topraksız tarımı daha önemli hale getirmektedir. Su kaynaklarının giderek kısıtlı hale gelmeye başlamasıyla birlikte, hidroponik tarım çeşitlerinde su ve besin elementlerinin kullanım etkinliğinin iyileştirilmesi sebebiyle topraksız tarım gittikçe daha da önemli hale gelmektedir (Okurdur ve Ercan, 2016; Khanna-Chopra ve Selote, 2007). Günümüzde bazı tarım arazilerinde verimsizleşme şeklinde yaşanan problemler, yeni bitkisel üretim tekniklerinin ve teknolojilerinin geliştirilmesini mecburi kılmaktadır (Bingöl, 2015). Modern anlamda tarımsal sanayide, devrim niteliğinde olduğu düşünülen “hidroponik üretim tekniği” dengeli hazırlanmış bitki besin çözeltileri kullanılarak bitkilerin yetiştirilmesi tekniğidir. Bitki yetiştirilmesinde kokopit, kaya yünü, perlit gibi destek materyalleri isteğe bağlı olarak kullanılabilir. Bu sistemin en önemli özelliği topraktan kaynaklanan patojenlerin azaltılmasıdır. Hidroponik (hidrofonik) kelimesi Antik Yunancada, “hydro” ve “ponos” kelimelerinin birleşiminden meydana gelmektedir. Hidroponik kelimesi ilk olarak 1930’lu yıllarda Amerikalı bilim insanı William Gericke tarafından bitki besleme solüsyonlarında bitki köklerinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. İngiliz bilim insanı W.J. S. Duglas hidrofonik havuz sistemini, A. Cooper ise 1960’lı yıllarda hidrofonik yöntemde besleyici film tekniği (NFT) sistemini geliştirmiştir (Çimen, 2021; Ercan, 1996). Ticari olarak topraksız tarım sistemlerini, 1960 - 1970’lerden sonra Amerika, Abudabi, Belçika, Danimarka, Almanya, Hollanda, İran, İtalya, Japonya, Rusya ve diğer ülkelerde önemli ölçüde kullanmaya başlamışlardır.

Topraksız yetiştiricilik, tarıma uygun olmayan alanlarda başarılı ve etkili bir şekilde örtü altı yetiştiricilik yapılmasına imkan sağlamaktadır. Diğer taraftan topraksız tarım birim alana düşen verim artışı sayesinde gittikçe artan nüfusun besin ihtiyacını karşılamaya da katkı sağlanması nedeniyle önemli bulunmaktadır (Çimen, 2021; Ercan, 1996). Son yıllarda tarım alanındaki yeni nesil yazılım kontrollü hidroponik sistemler ile; ik-

lim kontrolü, ışık, bitki besini ve su kontrolünün dengeli şekilde yapılması için otomatik sistemler geliştirilmiştir. Dünyada toplam sera alanlarının yaklaşık % 3,5'lük kısmı hidrofonic sistem veya aerofonic sistemler olarak kurulmuş sebze yetiştiriciliği faaliyeti şeklindedir (Okumuş, 2019; Hickman, 2016). Hidroponik yetiştiricilikte bir bitki, bitkiyi besleyecek faktörlere ve suya kolaylıkla ulaştığından hızlıca büyüebilmektedir. Bitkinin gelişimi sırasında topraktan bulaşan zararlıların taşınması riski çok düşük bir ihtimaldir. Parazit ve yabancı ot ile mücadele etmeye gerek yoktur (Bayhan ve Avcı, 2019; Anonim, 2019; Varış, 1991).

Seracılıkta en büyük problemlerden biri aşırı toprak yorgunluğudur. Sera içinin yağış almaması, bitkilerinin yaşam süresinin uzunluğu, oluşan bitki kalıntılarının uzaklaştırılması gibi sebeplere bağlı olarak mikrobiyal oluşumun az olması sebebiyle, toprağın çürükçül organizmalar tarafından zenginleştirilmesi ve yeniden ekilebilir seviyeye uygun olarak organik inorganik toprak içeriğinin oluşturulması doğal süreç içerisinde meydana gelememektedir. Bu yüzden kimyasal ve organik gübre kullanımı örtü altı tarımda artmaktadır (Bayhan ve Avcı, 2019; Bayraktar, 1970). Bu gibi nedenlerin topluca etkisi sonucu seracılıkta topraksız tarıma geçiş hızlı olmuştur (Bayhan ve Avcı, 2019). Bitkilerin gelişmesi ve büyümesinde ışık çok önemlidir ve bitkilerdeki enerji olayları için gereklidir (Bayhan ve Avcı, 2019; Wassink ve Stolwijk, 1956). Bitki yetiştirilmesinde yapay ışık kaynakları geliştirilmiştir. Yetiştiricilik ortamlarında yapılan ek ışıklandırılmaların bitki yetiştirmedeki etkileri ayrıntılı olarak araştırılmıştır (Bayhan ve Avcı, 2019).

1. TOPRAKSIZ TARIM

Topraksız tarım, bitkilerin sağlıklı bir şekilde canlılıklarını sürdürebilmeleri, büyüme ve gelişme faaliyetleri ve verimli bitkisel ürün oluşturmaları için ihtiyaç duydukları su ve besin elementlerinin stabil veya akışlı bir sistemde besin eriyikleri halinde bitki kök sistemlerine verilmesi ile bilinen tarım formudur (Eliçin vd., 2021). Toprak üzerine kurulan sera üretiminde yoğun tarım tekniklerinin kullanılması ve toprağın yapısındaki besleyici materyalin yetiştiricilik sırasında tüketilmesi nedeniyle serada kullanılan toprak kısa sürede kullanılamaz hale gelmektedir. Kök nematodları ve toprak kaynaklı bazı mantar ve bakteriyel patojenler, özellikle kışları ılık geçen topraklarda artmaktadır. Bu durumda serada yapılan yüzey ve ortamların patojenlerden tamamen temizlenmesi işlemi de ortamda kimyasal kirliliğine neden olmakta ve maliyetleri oldukça artırmaktadır. Topraksız tarımda bu sorunlar yaşanmamaktadır. Bunun yanı sıra toprağı zenginleştirme amacıyla besin fiksasyonu gibi farklı işlemlere gerek olmadığından daha az besin maddesine ihtiyaç duyulmakta ve bitki besin maddelerinin kullanımından da tasarruf edilebilmektedir. Toprağı işlemeye gerek olmadığı için tarımsal mücadele süreci de daha kolaydır

(Eliçin vd., 2021; Kahraman, 2012). Çok tartışılan bir konu olmakla beraber topraksız tarım tekniği kullanılarak yetiştirilen bitkilerin de, organik tarım uygulamalarına uygun çevre ve tohum koşullarında gerçekleştirilmesi şartı ile organik ürünler olduğu kabul edilmektedir. Kullanılan bitki tohumu ve besin çözeltileri organik ise ürün de organik olmaktadır (Eliçin vd., 2021; Mutlu, 2018). Topraksız yetiştiricilikte kullanılan besin elementlerinin birçoğu günümüzde organik malzemelerden yapılmıştır ve bilim geliştikçe daha da fazla organik ürünler pazara sunulmaktadır. Bitkilerin gereksinimlerini stres oluşturmaktan uzaklaştırmak, topraksız tarımın en temel basamağı olarak tanımlanabilmektedir. Topraksız tarımda, toprak kaybı, toprak yorgunluğu gibi durumlar oluşmaz, hastalık, haşere ve yabancı ot sorunu oluşmaz, su tüketimi ve aşırı gübre kullanımı söz konusu değildir, iş gücü ve enerji tasarrufu sağlanır. Böylelikle kaliteli ve verimli ürün elde edilmesi mümkün olmaktadır. Topraksız tarım yetiştiriciliğinin en yüksek karlılık düzeyinde gerçekleşmesi, seranın kurulacağı alanın bitki yetiştirmeye uygun özellikte olmasına bağlıdır. Yetiştiriciliğe uygun özellikler kapsamında ortamın su potansiyeli, elektrik imkanının kesintisiz sağlanması, iklimik faktörlerin uygun olması ve kurulan serada yetiştirilen ürünlerin pazarlanması için ulaşım imkanının iyi olması gibi kriterler sıralanabilir. Bunlara ilaveten topraksız tarım seralarında ısıtmanın sağlanması, fidenin aşılı olması ile daha yüksek verim ve daha kaliteli ürün sağlanması mümkündür (Öztürk ve Engindeniz, 2018; Örük ve Engindeniz, 2019).

Su kültürü (hidroponik= hidrofonic) ve katı ortam (Agregat) kültürü topraksız yetiştiricilikte öne çıkan iki önemli yöntemdir. Hidroponik kültür sisteminde, daha önceden çimlendirilmiş olan meyve ve sebze bitkilerinin yetiştirilmesi mümkündür (Ödün, 2016; Bingöl, 2019). Bitkinin kökleri çakıl, kum, perlit ve taş yünü gibi maddelere sarılır ve bu maddelerin pH değeri yoktur. (Anonim, 2019b; Bingöl, 2019; Okur, 2015). Hidroponik sistemler ayrıca besin solüsyonunun tekrarlı kullanımlarına göre açık ve kapalı sistemler olarak da sınıflandırılabilir (Megep, 2008; Bingöl, 2019).

Su kültürü (hidroponik) sistem 4 alt düzenek sistemin ile yapılabilir. Bunlar:

- a) Besleyici Film Tekniği (NFT= Nutrient Film Technique)
- b) Aeroponik (Aeroponic) Sistem
- c) Durgun su kültürü (DWC; Deep water culture) sistemi
- d) Akan su kültürüdür (Sönmez vd., 2019; Talaz ve Nas, 2019)

Hidroponik sistemde bitkinin kök sisteminin zengin nitelikli çözelti ile daima etkileşim halinde olmasından dolayı, bitkinin nitelikli su ve besin takviyesi sağlanması prensibi vardır. Ancak bu sistemde bitkilerin

kök desteğinin yeterince sağlıklı sağlanamaması ve/ya havalandırmanın yeterince yapılamaması sistemin zorluklarından bazılarıdır.

1.1. Besleyici Film Tekniği (NFT= Nutrient Film Technique)

Oksijen açısından zengin besin eriyiği, ince bir film olarak dar, sürekli eğimli kanaldan aşağı doğru hareket ederek kökleri nemlendirir. En yaygın kullanılan sistemlerden biri olup, bitki kökleri ile temas halinde olduğu her yerde eşit su alışverişini sağlamak için hafif eğimli bir yüzeye sahiptir (Bayyurt, 2012; Berry ve Knight, 1997; Jones, 2005). Bu sistemdeki esas gereklilikler, plastik boru ve tank içinde bir dalgıç pompadır. Borular çoğunlukla mat yapıda plastik filmlerden veya tüplerden oluşur. Besin çözeltisi, büyüme kabı olarak kullanılan tanktan çok dar bir katman şeklinde geçirilir. Sistem düzeneğine konulan bitkilerin kökleri bu besin çözeltisi ile beslenir. Bu sayede kök sistemi hem besin hem de su alabilir ve ayrıca zamanında havalandırma için fırsatlar bulabilir. Eriyik tanktan geçtikten sonra tankta toplanır ve tekrar kullanılır. Bu yöntem hidroponik sistemler içerisinde son teknolojiye en uyumlu olanıdır ve tam otomatik sistemler gerektirir. Tüm NFT sistemlerinin ortak özelliği, kanaldaki çözeltinin düşük derinlikte olmasıdır. Akışın sürekli olması sağlanmalıdır; fakat bazı sistemlerde saatte birkaç dakika solüsyon eklenerek aralıklı olarak da çalıştırılabilir. Aralıklı akışın amacı, yeterli kök havalandırmasını sağlamaktır. Bununla birlikte, bitkilerin hızlı büyüme dönemlerinde çözeltinin akış süresi çok kısaysa veya seyrek düzeyde aralıklar halinde uygulama yapılıyorsa, bu durumda bitkiler suya aç kalabilir. Bu nedenle, ılıman iklimlerde aralıklı akış düzenlemesi uygulamak daha mantıklı olabilir. Kök sistemi etrafındaki çözelti akışındaki dalgalanmaları önlemek için NFT kanalının altına bir kapiler hasır uygulanır. NFT sistemlerinde tek sıra dikim için 15-20 santimetre, çift sıra dikim için 30-38 santimetreden daha büyük borular tercih edilmektedir. Boruların boyutu olarak 4-10 metreye kadar uzunluklar kullanılabilirken; eğimi 1/50 veya 1/75 olacak şekilde düzenlemeler yapılmaktadır. Besin çözeltisi, her kanalın üst ucundan çekilir ve bitkinin kök hasırını ıslatarak alt uca akar. Kanaldaki debi, 1-2 litre/dakika şeklinde ayarlanmalıdır. Bu sistemde fideler plakanın ortasına yerleştirilerek yetiştirme ortamı ile kanallar oluşturulur. Plakanın uçları fide tabanına doğru çekilir ve buharlaşmayı önlemek için birbirine bağlanır. Fide yetiştirme ortamı, bitkiler büyüdükçe, kanalların arasına hasır gibi yayılır. Besin solüsyonu kanalın alt ucunda toplanır ve besin solüsyonu tankına doldurulur. Sistem yeniden başlatmadan önce çözelti tuz seviyesi bakımından kontrol edilir. NFT sisteminin yetiştiriciliğinde, boy uzunluğu fazla olan bitkilerin, kanallar üstünde düzgün bir şekilde büyüebilmesi ve herhangi bir yıkılma- devrilme olmadan gelişebilmesi için bitkilere mutlaka gerekli yardımcı desteklemeler uygulanmalıdır (Megep, 2008).

1.2. Aeroponik (Aeroponic) Sistem

1990' larda NASA, minimum su kullanımı ile bir bitki yetiştirme sistemi geliştirmiştir. “Besin Buğusu” veya “Kök Sisleme Tekniği” olarak adlandırılan bu yöntem, havaya dağılmış tozları veya besin parçacıklarını kullanır. Bitkinin köklerini hedefleyen bu yöntem, bir bitki büyüme sistemi oluşturmak için su ve sis kullanarak en iyi şekilde uygulanır. En yeni hidrokültür uygulamalarından biri olan bu sistem, diğer uygulamalara göre daha fazla su tasarrufu sağlamaktadır. Suyun kısıtlı olduğu veya hiç su olmadığı yapılarda kullanılabilir. Bir aeroponik sistem kurularak, bina iç mekanlarında büyük miktarlarda sebze üretimi yapılabilmektedir. Aeroponik sistemde, tank Durgun Su Kültürü (DWC) sisteminde olduğu gibi tamamen doldurulmaz ve bir hava pompasına gerek yoktur. Onun yerine besin solüsyonunu tanktan köklere püskürten bir mekanizma vardır. Sepet saksılar yardımı ile fideler sürekli çalışan sprey mekanizması ile aeroponik sisteme yerleştirilir. Bu sayede kökler tankta geniş bir oksijen alanına sahip olurken, sabit su ve besin sağlanmaktadır (Bayyurt, 2012).

1.3. Durgun Su Kültürü (DWC; Deep Water Culture) Sistemi

Durgun Su Kültürü yöntemi yapraklı bitkiler için idealdir. Bu yöntemde, straför denilen polyesterden yapılmış köşeli yalıtım kalıplarına bitkiler tutturulur. Besin solüsyonu kaplara yerleştirilir ve kabın dibindeki motorlar sayesinde besin solüsyonunun çökmesi engellenir ve köklerin ihtiyaç duyduğu oksijen sağlanmış olur. Su deposuna eklenecek toplam çözelti miktarı, sistem düzeneğinin uzunluğu (metre) x düzeneğin genişliği (metre) x suyun batımı (derinliği) (metre)= toplam su kapasitesi (metre³) eşitliği ile hacimsel düzeyde hesaplanır. Genel olarak havuzun tavsiye edilen derinliği 16-17 santimetredir ve havuzlar 75-125 ppm azot ile gübrenmelidir (Bayyurt, 2012; Hensley ve Fowlkes, 2002). Literatürdeki çalışmalar, DWC hidroponik teknikleri kullanılarak marul yetiştiriciliği üzerinde, çözülmüş oksijen konsantrasyonlarının farklı etkileri olduğunu göstermiştir (Goto vd., 1996; Bayyurt, 2012; Hensley ve Fowlkes, 2002). DWC sisteminin dezavantajı, uygulamada kullanılan gübrenin içindeki demirin okside olabilmesi ve suya sürekli oksijen verilmesi nedeniyle tankın dibinde tortu oluşturmasıdır. Bu nedenle DWC kovasının sık sık temizlenmesi önerilir. Bitkiler suyu tükettiklerinde pH kontrolü yapılarak pH'nın dengelenmesi, yeni solüsyonların eklenmesi ve suyun düzenli olarak yenilenmesi DWC sisteminin verimliliğini artırabilir.

1.4. Akan Su Tekniği

Kurulmuş olan pompalı bir tank, hidrofonic sistemde bitki besin maddelerinin net bir şekilde akışını sağlamaktadır. Toplandıktan sonra besin solüsyonu tanka geri dönmektedir. Bu sistem bitkilerin sürekli ola-

rak oksijenlenmesini ve oksijen kaynaklarının akım sayesinde yenilenmesini sağlamaktadır (Bayyurt, 2012).

1. Hidroponik Tarımda Kullanılan Besin Solüsyonlarının Hazırlanması

Hidroponik yetiştiricilik uygulamalarında iki ana konuya ileri derecede özen gösterilmelidir: i) besleyici çözeltilerin hazırlanması ve ii) hazırlanan çözeltilerin uygun şekilde uygulanması (sulamayı düzenleme). Bir besin çözeltisi hazırlamanın ilk adımı, sulama suyunu analiz etmektir. Suyun EC (tuz) ve pH'ının yanı sıra suyun sodyum, sülfat ve bikarbonat tuzlarının, kalsiyum, magnezyum ve bor minerali içeriklerinin önceden hesaplanması şarttır. Ayrıca sudaki kalsiyum ve magnezyum seviyeleri normal bulunması gereken miktarlardan daha fazla bulunabilir. Bu durumda besleyici mineral solüsyonu içindeki eksik kalan miktarı tamamlayacak kadar besin maddesi eklemesi yapılmalıdır. Kaliteli bir yetiştiricilik faaliyeti için, besin çözeltisinin EC ve pH değerlerinin EC metre ve pH metre kullanılarak, belirli aralıkta tutulması sağlanmalıdır. EC, istenilen değerden yüksek ise su, düşük ise gübre ilave edilir. İlk olarak hidroponik sistem tankının dışında, derişik konsantrasyonda bir stok besin çözeltisi hazırlanır, sonra bu stoktan belirli miktarlarda alınarak, hidroponik sistem suyuna kontrollü olarak karıştırılmalıdır. Stok çözelti hazırlanırken de, kalsiyumlu gübrelerin fosfatlı ve sülfatlı gübrelerle karıştırılmamasına dikkat edilmelidir.

2. Topraksız Tarım Yetiştiriciliğinde Işıklandırma

Bitkilerde anabolizma, katabolizma, asimilasyon (sentez), yapım- yıkım, solunum, terleme ve organik bileşik sentezi (fotosentez) gibi fizyolojik olayların meydana gelmesinde, enzim, hormon ve pigmentlerin sentezlenmesinde sıcaklık ve işık önemlidir (Uzun ve Demir, 1996). Hidroponik tarım uygulamalarında işıklandırma ve ısınma dengesinin net asimilasyonun artmasında, kuru madde veriminin değerlendirilmesinde, bitkilerin görünüm, sertlik nitelikleri olarak kaliteli sebze- meyva özellikleri gibi morfolojik ve duyuşal özellikleri açısından çok önemli etkileri olmaktadır (Uzun, 2000). Diğer taraftan bitkilere doğrudan işık verilmesi, özellikle işık seviyesinin yüksek olduğu yaz aylarında meyve deformasyonlarına neden olabilirken; ani sıcaklık değişiklikleri veya gece ile gündüz arasındaki büyük sıcaklık farkları nedeniyle bitki kısımları zarar görebilir (Dorais vd., 2001; Özkaplan ve Balkaya, 2019).

3. Topraksız Tarım Uygulamalarının Faydaları

- Geleneksel bitki yetiştiriciliğindeki temel bileşenlerden en önemlisi olan "toprak" devre dışı olduğundan pahalı, zaman alıcı ve işgücü gerektiren toprak işleme uygulamalarına gerek kalmaz.

• Tuzlu, taşlı, çöl gibi toprak imkanları kısıtlı olan ve çok sığ su olanakları bulunan coğrafik alanlara kayma imkanı vardır.

• Tarımsal üretim, tamamen tarım alanı dışında, örneğin evlerin balkon ve teraslarında gerçekleştirilebilir.

• Toprakların farklı fiziksel ve kimyasal yapıları sahip olması nedeniyle, bu uygulamalarda toprak dışı koşullar gerektiği gibi ayarlanabildiğinden, topraksız tarımda homojen kültürlerde üretim mümkündür.

• Hidroponik tarımda makro- mikro besin elementleri gayet verimli bir şekilde ve uygun maliyetlere göre daha ekonomik olarak kullanılır. Toprakla yapılan çiftçilik uygulamalarına göre daha az bitki besin maddesi kullanılır. Toprak tarımında oyulma, alt tabakalara sızma ve toprak tutma nedeniyle görülen kayıplar bu sistemde sorun oluşturmaz.

• Kök besiyerinde eşit besin dağılımı dozajını ayarlayarak bitkilerin sürekli vejetatif üreme aşamasında kalmasını sağlamak mümkündür.

• Topraksız kültür ortamlarında gerekli besin maddeleri bol olduğu için, içerik yönünden daha besleyici bitkisel ürünlerin eldesi mümkündür.

• Tuzlu sulama suları da tarımsal faaliyetlerde kullanılabilir. Nitekim tuzlu su, kaliteli bir sulama suyu ile karıştırıldığında kullanıma hazırdır.

• Toprak tarımında görülen potasyum ve kalsiyum eksikliğinden dolayı, meyvenin yumuşak ve içi boş olması sorunu bu şekilde topraksız tarım uygulamalarında görülmez.

• Hidroponik tarım otomasyona uygundur. Sulama ve gübreleme otomatiktir, bu da iş gücü ekonomisi sağlamaktadır.

• Bu yöntemde sızıntı, yıkama ve buharlaşma kaynaklı kayıpların azalması nedeniyle su tasarrufu sağlanmaktadır.

• Toprak kaynaklı zararlılar ve yabancı otlar, topraksız tarım uygulamalarında sorun teşkil etmez. Sterilizasyonun gerekli olduğu durumlarda ilaç harcamaları çok düşüktür.

• Toprak kaynaklı zararlı ve hastalıkların olmaması veya çok az zararlı bulaşı söz konusu olduğu için, pestisit kullanımında azalma durumu söz konusudur. Bu da üretim maliyetlerinin düşürülmesi açısından önemlidir.

• Topraksız tarım, ürün rotasyonu ihtiyacını ortadan kaldırır.

• Topraksız tarımda bir üretim tamamlandıktan sonra birkaç gün içinde yeni üretime başlama imkanı vardır ve birim alandaki bitki sayısı arttırılabilir.

• Bitkilerin bu yöntemle büyütülmesinde, erken gelişmişlik durumu görülür.

- Hidroponik tarımda verim daha yüksektir. Bu tarım biçiminde tarımsal verimin daha yüksek olmasının altında yatan gerçek bitkilerin beslenmesidir. Çünkü, bitkilere günlük ihtiyaç duydukları oranlarda ve formda besleyici maddeler bilinçli olarak verilmektedir.

- Bitki besin çözeltilerinden numune toplamak, analiz yaptırmak çok çok basittir. Bunlarında hidroponik tarımın diğer bir avantajı olduğu söylenebilir.

- Yetiştirme ortamında gerekli düzeltmelerin- değişikliklerin -iyileştirmelerin daha hızlı yapılmasına sebep olur, bu da çalışma kolaylığı sağlamaktadır ve yetiştiriciye zaman kazandırmaktadır.

- Hidroponik yetiştiricilik uygulamaları, yetiştiricilere çok çeşitli alternatifler sağlamaktadır. Nitekim kurulmuş bir hidroponik sistem düzeninde yetiştirici, bir sebze üretiminden sonra aynı sistem üstünde sebze türü değişikliği yapabilir (Güler, 2011).

4. Topraksız Tarım Uygulamalarının Olumsuzlukları

- Topraksız tarım ile bitki yetiştiren üreticilerin özel bilgi ve deneyime sahip olmaları gerekmektedir. Bitkiler, beslendikleri çözelti ortamının en ufak değişikliklerinden hemen etkilenmektedir. Besin çözeltisi çok sıcak veya çok soğuksa bitkiler zarar görebilir. Bu nedenle besin solüsyonu özenle seçilmeli ve hazırlanmalıdır.

- Bu şekildeki bir kültür ortamında hastalık faktörleri hızla yayılmaktadır. Bu da bütün bir yetiştirme döneminin başarısız olmasına ve sistemin kontamine olmasına sebep olabilir. Hastalık ve zararlıların bu sistemlerde ortaya çıkması nadirdir fakat ortaya çıktıklarında ise bulaşma çok hızlı gerçekleşir ve tüm sisteme hızla yayılabilir. Sistem içinde kullanılan sudan kaynaklı mikro-organizma tehdidi ortaya çıkabilir.

- Topraksız tarımda hidroponik düzeneklerde mutlaka plastik maddeler kullanılmaktadır. Topraklı tarımda böyle bir ihtiyaç olmaz. Hidroponik uygulamalarda plastik düzenekler içinde yetiştiricilik gerçekleşir. Çevre kirliliği oluşturan en önemli atıklardan birisinin de plastikler olduğu çok iyi bilinmektedir. Çünkü plastik doğada 500 yıl bozulmadan kalabilen tek maddedir. Ayrıca son zamanlarda insanların çeşitli vücut sıvılarında ve anne sütünde bile mikroplastik bulunduğunun gösterilmesi ile, plastik düzeneklerden oluşmuş bir ortam içerisinde bitki yetiştirmesine yönelik kültür koşullarının oluşturulması, ciddi bir soru işareti olmaktadır. Nitekim insanoğlundan günlük hayatı içerisinde plastiği kullanmasının azaltılması beklenirken, topraksız tarım uygulamalarının doğrudan plastik düzenekler içerisinde bitki besiyeri ortamlarında yapılması ve bu plastik parçalarının da gıdalara geçebileceği ve bu yolla da insan vücuduna alınabileceği ihtimali olumsuzluk oluşturmaktadır.

- Topraksız tarımda, bitkileri canlı tutmak daha zordur. Seralarda kesintisiz güç sistemleri gereklidir. Bir elektrik kesintisi, özellikle NFT gibi bir akış kültüründe sistemin çok kısa bir süre içinde çökmesine neden olabilir. (Güler, 2011; Varış ve Altıntaş, 1998; Varış, 1991).

- Hidroponik bir sistem kurmanın maliyeti yüksektir. Üretim saha koşulları ile sınırlıdır. Bu, sürekli izlenmesi gereken hassas ve zaman alıcı bir üretim sistemidir. Teknik bilgi gereklidir. Ayrıca hidroponik sistem içinde tüm bitki çeşitlerinin üretimi yapılamamaktadır (Bingöl, 2019).

5. Topraksız Tarıma Uygun Bitkiler

Genel olarak hidroponik sistemlerde, lahana, fesleğen, zencefil, ısırgan otu, adaçayı, maydanoz, brokoli, karnabahar, biber, patlıcan, bezelye, nane (*Mentha* sp.), marul (*Lactuca* sp.), kekik (*Thymus* sp.), biberiye (*Rosmarinus* sp.), anason (*Pimpinella* sp.), ıspanak (*Spinacia* sp.), frenk soğanı (*Allium* sp.), dereotu (*Anethum* sp.), salatalık (*Cucumis* sp.), domates (*Solanum* sp.), dolmalık biber (*Capsicum* sp.), çilek (*Fragaria* sp.), su teresi (*Nasturtium* sp.), fasulye (*Phaseolus* sp.), karpuz (*Citrullus* sp.) ve kavun (*Cucumis* sp.) ve çeşitli süs bitkilerinin yetiştiriciliği yapılabilmektedir (Bingöl, 2019).

6. Hidroponik Sistemlerde Marul Yetiştiriciliği

Hidroponik sistemler, uygun miktarda su depolama kapasitesine sahip olmalıdır (Pınar, 2015; Bingöl, 2019). Marul, bütün bir sene süresince topraksız tarım üretimi için özellikle ideal bir mahsuldür. Çünkü marul bitkisi, minimum ısınma maliyeti ile az miktarda ışık ve yüksek olmayan sıcaklık koşullarında büyütülebilen bir sebzedir. Marul yapraklarının büyük çoğunluğu su, birkaç miligram askorbik asit, birkaç gram ham protein, yağ ve karbonhidrattan oluşur. Kalsiyum, fosfor ve demir mineralleri de içerir (Vural vd., 2000). Hidroponik sistemlerde marul sebzесinin üretiminin kolaylık ve düşük maliyetleri nedeniyle üreticiler arasında yaygınlaşması sonucunda, yetiştiricilere hizmet sağlamak üzere, kullanımı kolay, herkesin hazırlamasına gerek olmayan, ticari olarak satılan hazır gübre formülasyonlarının piyasaya sürüldüğü de görülmektedir (Okudur ve Ercan, 2016). Bu şekilde kısıtlı alanlarda, dikey yetiştiricilik sistemlerinde ve su kullanımını minimum seviyeye indirerek, hidroponik koşullarda çok kolay bir şekilde marul yetiştiriciliği yapmaya yönelik, paket ürünler geliştirilmeye çalışılmakta ve her geçen gün sistemlerin daha kolaylaştırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

SONUÇ

Geleneksel tarım yöntemleri nüfus artışı karşısında tüketim taleplerine zorlukla yetişebilmektedir. Günümüzde bu konuyu ele almak için alternatif tarım yöntemlerinin geliştirilmesi, farklı üretim teknikleri ve

bu tekniklerin etkinliği araştırılmaktadır. Bu sistemler üretimi artırmak için ortaya çıkmış, dünya çapında talep görmekte ve hızla yayılmaktadır. Alternatif tarım yöntemleri ve farklı sistemler kurularak ölçeklenebilir sistemler hatta taşınabilir mobil sistemler oluşturulabilir. Su tasarrufunun yanı sıra erkencilik, kalite ve verimlilik iyileştirmeleri alternatif tarım yöntemleriyle sağlanabilir. Sağlanan iklim kontrolü sayesinde her sezon dış etkiler olmadan üretim yapılabilmekte ve hasatlar arası zaman kaybının önüne geçilebilmektedir. Aynı alanda daha fazla ürün çeşitliliği sağlanmaktadır. Hidroponik sistemde yapılan yetiştiricilik faaliyetleriyle, gıda ve ziraat alanlarında adımlar atılmış olur, böylelikle de ülkemiz ekonomisini ve ihracat potansiyelini de arttırmak mümkün olacaktır. Diğer taraftan hidroponik tarım uygulamalarının biyoçeşitlilik ve çevre üzerine olumsuz etkileri yok denilebilecek kadar azdır. Sadece kırsal alanlarda değil, şehirlerde, hatta apartmanlarda, balkonlarda da tarım üretimi yapılmasına olanak sağlar. Kişiler evlerine kuracakları bu sistemlerden para kazanabilecekleri gibi, ev ihtiyaçlarının karşılanmasını da sağlayabilirler. Hidroponik sistemlerin küçük ölçeklerde kurulması aynı zamanda görsel olarak da hoş gözükmekte ve kentsel yaşamdan bunalan insanlar için de güzel bir hobi olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Anonim, (2019). İklim Hayrabolu. <https://www.meteoblue.com/tr/> (Erişim tarihi, 11.01.2018).
- Anonim, (2019a). Worldometers, <https://www.worldometers.info/world-population/>, (Erişim: 30 Ekim 2019).
- Anonim, (2019b). Wikizero, Akuaponik, <https://www.wikizero.com/tr/Akuaponik>, (Erişim: 15 Ekim 2019).
- Bayhan, Y., Avcı, Z., (2019). Örtü altı sebze yetiştiriciliğinde led aydınlatma sistemlerinin bitki gelişimine ve verimine etkisinin belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*, 17:86-95.
- Bayraktar K., (1970). Sebze yetiştirme 'Kültür Sebzeleri'. Ege Üniversitesi, *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2,169, İzmir.
- Bayyurt, R., (2012). Durgun su kültüründe yetiştirilen marulda bitkinin verim ve kalitesi üzerine sudaki O₂ miktarını artırıcı uygulamaların etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı.
- Berry, W.L., Knight, S., (1997). Plant Culture in Hydroponics. In:Langhans, R.W., Tibbits, T.W. (Eds). Plant Growth Chamber Handbook. North Central Regional Publication No:340. Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station Report. No:99.s:227.
- Bingöl, B., (2015). Dikey Tarım. *Ormanlık Dergisi*, 11:2, 92-99.
- Bingöl, B., (2019). Alternatif Tarım Yöntemleri; Aeroponik, Akuaponik, Hidropo-
nik. *Harman Dergisi*, 7(82):34-42
- Çimen, Z.A., (2021). Örtü altı tarımcılık. İksad Yayınevi. S:66-68 ISBN: 978-625-8423-48-8. Ankara
- Dorais, M., Papadopoulos, A.P., Gosselin, A., (2001). Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Reviews*, 26:239-319.
- Eliçin, K., Tantekin, M., Öztürk, F., (2021). Topraksız tarım Türkiye'de sürdürülebilir tarım uygulamaları: zorluklar ve potansiyeller, 135-182. ISBN: 978-625-8423-32-7
- Ercan, N., (1996). Türkiye'de topraksız yetiştiricilik. *Derim Dergisi*, 13,4, Narenciye ve Seracılık Araştırma Enstitüsü Yayını, :146-192.
- Goto, E., Both A.J., Albright, L.D., Langhans, R.W., Leed, A.R., (1996). Effect of dissolved oxygen concentration on lettuce growth in floating hydroponics. *Acta Horticulturae*, 440:205-210.
- Güler, H., (2011). Soğuk cam serada kaya yünü, perlit, zeolit, cibre ve toprakta yetiştirilen kıvrıcık baş salatada gelişme ve verimin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi.
- Hensley, R.A., Fowlkes, D.J., (2002). Burley tobacco production in tennessee, the

- float system for tobacco transplant. <http://tobaccoinfo.utk.edu/>
- Hickman G., (2016). International greenhouse vegetable production. Statistics. Mariposa, CA, USA: Cuesta Roble Greenhouse Vegetable Consulting.
- Jones, B.J., (2005). Hydroponics. A practical guide for the soilless grower. Second Edition. Crc Press. New York., s:423.
- Kahraman, M. R., (2012). Bitki besleme. Gübretaş rehber kitaplar dizisi. No: 2, Ankara
- Khanna-Chopra, R., Selote, D.S., (2007). Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 60:276-283.
- Ödün, U.C., (2016). Güneş enerjisi destekli akuaponik sistemlerde Koi (*Cyprinus carpio*) ve Hıyar (*Cucumis sativus*) yetiştiriciliği üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı.
- Sönmez, C., Mamay, M., Söylemez, S., (2019). Determination of the effect of different hydroponic culture and different $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ ratio on the density of *Aphid aphid* (Hemiptera : Aphididae) population in greenhouse lettuce cultivation. 1. International Göbeklitepe Agriculture Congress, 25-27 November. Harran Üniversitesi. <https://www.researchgate.net/publication/341161150>.
- Megep, (2008). T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), Bahçecilik, Hidroponik Sistemler, Ankara.
- Mutlu, A., (2018). The effect of organic fertilizer on spike characteristics of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology*, 4(2):125-134.
- Okumuş, A., (2019). Dünyada hidrofonic (topraksız tarım) tarım. Tarbio Plant Breeding and Biotechnology Innovation Center. <https://www.researchgate.net/publication/337827935>
- Okur A., (2015). Gelecek Ticari Kentsel Tarımda Mı? Yalın Enstitü Derneği, Nisan.
- Okurdur, E., Ercan, N., (2016). Farklı gübre uygulamalarının durgun su kültüründe yetiştirilen marullarda verim ve kaliteye etkileri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi TARGİD Özel Sayı*, 69-78. doi:10.17100/nevbittek.210967
- Örük, G., Engindeniz, S., (2019). Muğla ilinde örtüaltı domates üretiminin ekonomik analizi üzerine bir araştırma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56(3):345-358.
- Özkaplan, M., Balkaya, A., (2019). Işık ve sıcaklığın topraksız tarım koşullarında salkım domatesin meyve kalitesine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(3):227-238. Doi: 10.7161/omuan.ajas.551680

- Öztürk, G., Engindeniz, S., (2018). Muğla'da örtüaltı domates üretiminde girdi kullanım etkinliğinin analizi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 24(2):175-183.
- Pınar, H., (2015). Topraksız kültürde bitki yetiştiriciliği. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü, Erdemli-Mersin.
- Talaz, A., Nas, E., (2019). Investigation of the feasibility of tomato production in soilless culture in bafra plain. *Erciyes Journal of Agriculture and Animal Sciences*, 2(1):11-19.
- Uzun, S., (2000). Sıcaklık ve ışığın bitki büyüme, gelişme ve verimine etkisi (III. Verim). *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(1):105-108.
- Uzun, S., Demir, Y., (1996). Sıcaklık ve ışığın bitki büyüme, gelişme ve verimine etkisi. (II. Gelişme). *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(3):201-212.
- Varış, S., Altıntaş, S., (1998). Serada Topraklı Topraksız Tarım. *HASAD Dergisi*, (160):28-39.
- Varış, S., (1991). Sera sebzelerinin perlit doldurulmuş torbalarda topraksız yetiştirilmeleri. T.Ü. Ziraat Fakültesi Tekirdağ Yayınları, 128(10):15.
- Vural, H., Eşiyok, D., Duman İ., (2000). Kültür sebzeleri (sebze yetiştirme). Ege Üniversitesi Basım Evi, s:404, Bornova, İzmir,
- Wassink, E.C., Stolwijk, J.A.J., (1956). Effects of light quality on plant growth. *Annual Review of Plant Physiology*, 7:373-400.

“

Bölüm 15

İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİNİN ENDOFİTİK FUNGUSLARIN YAŞAM TARZINA POTANSİYEL ETKİSİ

Derya İŞLER CEYHAN¹

Olçay DEDECAN²

Canan CAN³

”

1 Arş. Gör. Dr., Derya İŞLER CEYHAN Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, islerderya@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-7871-3647

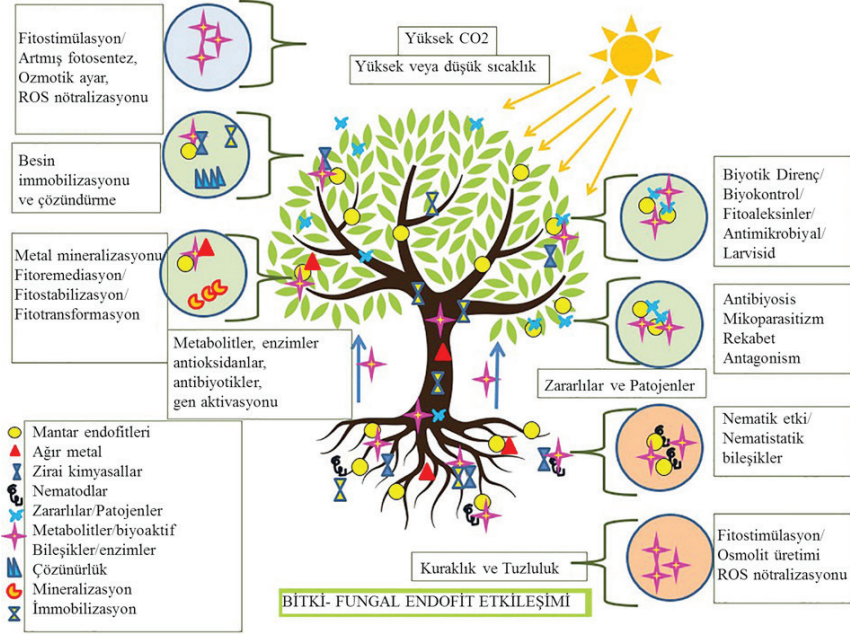
2 Olçay DEDECAN, Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, E-mail: olcaydedecan1@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5804-4696

3 Prof. Dr., Can CAN, Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, can@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0473-1914

1. Giriş

Her geçen gün etkilerini artarak hissettiğimiz iklim değişiklikleri ile birlikte, küresel sıcaklıklar ve birçok bölgede kuraklık oluşumu ve şiddeti giderek artmaktadır. Bu antropojenik stresler, bitki performansı, ürün kayıpları (Rodriguez ve Duran, 2020; Trivedi vd., 2022) ve yeni fitopatojenlerin görülme sıklığı açısından (Velásquez vd., 2018) ciddi tehditler oluşturmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar iklim değişikliğinin bitkiler üzerindeki etkisi ve iklim stres faktörlerine karşı dayanıklılık mekanizmalarını ele alırken, bitki mikrobiyomuna olan etkileri daha az araştırılmıştır (Suryanarayanan ve Uma-Shaanker, 2021; Sharma vd., 2022). Bitki mikrobiyomu, bakteri, fungus, arkeler, nematodlar ve virüslerin (Kaul vd., 2021) dahil olduğu bitki mikro ekosisteminin önemli bileşenleridir (Byregowda vd., 2022). Bu bileşenlerinden olan endofitik funguslar, yaprak, kök ve dallarda kolonize olabilen (Gouda vd., 2016; Baron ve Rigobelo, 2022; Zuo vd., 2022; Grabka vd., 2022), dokularda ve/veya hücreler arası boşluklarda bulunan, biyolojik çeşitlilik açısından zengin bir mikroorganizma grubunu oluşturmaktadır (Wen vd., 2022). En sık rastlanan bitki endofitik fungus cinsleri arasında *Alternaria*, *Trichoderma*, *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Gibberella*, *Glomerella*, *Guignardia*, *Lepptosphaerulina*, *Penicillium*, *Phyllosticta*, *Aspergillus*, *Phom*, *Nigrospora*, *Phomopsis* ve *Xylaria* yer almakta olup (Zheng vd., 2016; Toghueo, 2020; Wang vd., 2020; Khalmuratova vd., 2020; Oliveira vd., 2021 Galindo-Solis vd., 2022), bitki doku örneklerine, bitki türlerine örnekleme mevsimine ve bitkinin coğrafyasına bağlı olarak sayıları ve cinsleri değişebilmektedir (Brader vd., 2017; Galindo-Solis vd., 2022). Endofitik funguslar konukçu bitkilerin gelişimini teşvik ederek, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı adaptasyonlarını arttırarak ve hastalık ve zararlılara karşı bitki toleranslarını güçlendirerek, biyolojik kontrol ajanları olarak hareket ederek (Segaran ve Sathiavelu, 2019; Santra ve Banerjee, 2020; Poveda ve Baptista, 2021; Adeleke vd., 2022; Bogas vd., 2022), konukçu bitkiler üzerinde önemli görevler üstlenmişlerdir (Kaur, 2020; Fontana vd., 2021) (Şekil 1). Konukçu bitkilerde endofit funguslar bu görevlerini doğrudan veya dolaylı mekanizmalar yoluyla sağlarlar. Bu mekanizmalar arasında, azot fiksasyonu, mikro ve makro besin elementlerinin alınımı, sekonder metabolitlerin üretimi ve bu sekonder metabolitler sayesinde biyotik stres faktörlerinden patojenik organizmalara karşı, antibiyoz, mikoparazitizm (Du vd., 2020; Leon-Itacca vd., 2022; Adeleke vd., 2022), rekabet (Fontana vd., 2021) ve bitkilerde ISR (indüklenmiş sistemik direnç)'yi aktive etmek, indol asetik asit (IAA), siderofor ve gibberellin (GA) gibi önemli metabolitlerin üretimi, SOD, POD ve CAT gibi enzimlerin üretimi ve regülasyonu, ROS (Reaktif oksijen türleri) toleransı gibi birçok özellik yer almaktadır (Sadeghi vd., 2020; Baron ve Rigobelo, 2022; Verma vd., 2022)

(Şekil 1). Belirtilen bu aktiviteleri fenolik asitler, steroidler, alkaloidler, saponinler, terpenoidler, kinonlar ve tanenler gibi farklı birçok biyoaktif metabolitin üretilmesi ile gerçekleştirmektedirler (Patil vd., 2016; Fadji ve Babalola, 2020; Wen vd., 2022; Xingyuan vd., 2022; Georgousaki vd., 2022).



Şekil 1. Bitki-Fungal Endofit Etkileşimleri (Verma vd., 2022)

2. İklim değişikliği ve Endofit Fungus-Bitki Simbiyotik Yaşamı

Doğal ekosistemlerde incelenen tüm bitkiler, tamamen endofitik veya kısmen mikorizal funguslar ile simbiyotik bir ilişki içerisindedir (Rodriguez vd., 2004). Bu fungusların geniş kapsamlı ekolojik dağılımları, biyoçeşitlilikleri ve konukçu bitkiler ile simbiyotik ilişkileri ve diğer bitki mikrobiyom üyeleri ile olan etkileşimleri son zamanlarda dikkat çekici konular arasında yer almaktadır (Jia vd., 2016; Alam vd., 2021; Ji vd., 2022). Bir fungus ve bir bitki arasındaki simbiyotik ilişki doğada yaygın bir etkileşim olup, bunun sonucu mutualizimden parazitliğe kadar değişebilmektedir (Kia vd., 2018). Genellikle konukçu bir bitki, bir fungus tarafından kolonizasyonundan zarar görmeden fayda sağlayabilmektedir. Fakat, endofitik fungus ile konukçu bitkinin etkileşimi ince ayarlı bir dengeye dayanmaktadır. Etkileşim dengesiz hale gelirse, faydalı durumda olan fungus konukçusuna karşı patolojik bir etmene dönüşebilir. Bunun sonucu, konak bitki zarar görebilir veya indüklenen savunma reaksiyonları ile fungus etkisiz hale getirilebilir (Kogel vd., 2006). Faydalı veya nötr

endofitlere sahip bitkilerin simbiyozları, patojenlerle bitki etkileşimleri ile birçok ortak özelliği paylaşır. Uyumlu konak-fungus etkileşimleri üzerine yapılan çalışmalardan ortaya çıkan son bulgular, fungusların bir endofit mi yoksa bir parazit olarak mı davrandığı ve bitkilerin zararlı parazitlere karşı sömürüden nasıl kaçındığı tam olarak anlaşılamamıştır (Kogel vd., 2006).

Bitki-endofit etkileşimlerinin doğası, bitki ve mikroorganizmaların genotipleri, çevresel koşullar ve bitki biyomu içindeki dinamik etkileşimler ağı dahil olmak üzere bir dizi abiyotik ve biyotik faktöre bağlıdır (Hardoim vd., 2015). Endofitik veya arbusküler mikorizal mantarlar (AMF) gibi simbiyotik mikroorganizmalar, küresel iklim değişikliği ile ilişkili olanlar da dahil olmak üzere biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı bitkinin direncini artırabilir. Bununla birlikte, stresli ortamlar, karşılıklı olarak faydalı olan bu ilişkilerin oluşumunu da kısıtlayabilir ve bu da değişen çevresel koşullar karşısında bitki tepkilerini karmaşıklaştırabilir (Armarego-Marriott, 2022). Organizmaların uyum sağlama yeteneği ve bunun zorunlu simbiyotik ilişkileri nasıl etkileyeceği de dahil olmak üzere, küresel değişikliklerin biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkileriyle ilgili sayısız belirsizlikler hala devam etmektedir (Seas ve Chaverri, 2020). Diğer taraftan, endofitik fungusların iklimsel faktörlere karşı adaptasyon yeteneklerini konakçılarına ‘aktarma’ yetenekleriyle birlikte bitki adaptasyon yeteneklerini de arttıracığı düşünülmektedir (Compant vd., 2010; Suryanarayanan ve Uma Shaanker, 2021). Tüm bu belirsizlikler yanında iklim değişiklikleri ile birlikte artan özellikle CO², kuraklık ve ısınma gibi faktörlerin, bitki-mikroorganizmalar arasındaki faydalı etkileşimleri nasıl etkilediği ile ilgili çalışmalar artarak devam etmektedir. Çünkü, bitki-mikrobiyom etkileşimlerinin iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltma yollarının daha iyi anlaşılması, bitkilerde dayanıklılığı artırmak için yönetim ve politika araçlarının geliştirilmesine yardımcı olacaktır (Rodriguez ve Duran, 2020).

Bu konuda, Gonçalves vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, 2100 yılı için tahmin edilen atmosferik CO² ve sıcaklık artışlarının, soya fasulyesi (*Glycine max*) yaprak karbon (C) ve azot (N) konsantrasyonlarını etkileyip etkilemediği ve bu faktörlerin endofitik fungusların üzerine olan etkileri değerlendirmiştir. Buna göre, atmosferik CO² oranında ve sıcaklıkta meydana gelen artışın, yapraktaki N konsantrasyonunun azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Artan atmosferik CO² ve sıcaklığın, soya fasulyesi bitkilerinin endofitik mikrobiyotasını potansiyel olarak değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, yüksek CO²'in arbusküler ve ektomikorizal mantarların bolluğu üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu, buna karşın bitki büyümesini teşvik eden endofitik funguslar üzerindeki etkilerinin daha değişken olabileceği ileri sürülmüştür (Compant

vd., 2010). Ayrıca iklim değişikliğinden kaynaklanan sıcaklık artışının, düşük sıcaklıklarda (psikrofilik) gelişen fungal endofitlerin gelişimini olumsuz etkilediği, bu durumun hâlihazırda tehdit altındaki yüksek rakımlı ekosistemlerde faydalı endosimbiyotik fungusların potansiyel adaptasyonu ile ilgili soruları gündeme getireceği öngörülmektedir (Seas ve Chaverri, 2020). Benzer bir çalışmada, kökle ilişkili endofitik fungusların biyocoğrafik modellerini ve sıcaklığa duyarlılıklarının anlaşılmasıyla, gelecekte bu konudaki ekosistem süreçlerinin tahmin edilmesi bakımından önemli olduğu bildirilmiştir. Bu amaçla, kök fungal endofitleri üzerindeki iklim etkilerinin anlaşılması için yüksek ve düşük rakım sıcaklık farklılıklarının etkisine bakılmıştır. Buna göre; yüksek rakımlarda yaygın olan fungus taksonlarının en çok iklimsel ısınma altında azalırken, düşük rakım fungus taksonlarının nötr olduğu veya deneysel ısınma ile arttığı gözlemlenmiştir (Lyons vd., 2020). Guevara-Araya vd. (2022) tarafından, kurak ekosistemlerde yaşayan bitkilerde fungal endofitlerin (FE) kuraklık gradyanı boyunca çeşitliliği ve topluluk kompozisyonundaki değişiklikleri modüle eden çevresel faktörler araştırılmıştır. Bu amaçla, kök ile ilişkili FE çeşitliliğinin (sıklık, zenginlik ve çeşitlilik indeksleri) ve topluluk kompozisyonunun kuraklığın bir fonksiyonu olarak değişip değişmediği değerlendirilmiştir. Buna göre; FE zenginlik indekslerinin kuraklıkla ters orantılı olduğu, dolayısıyla iklimsel değişimlerle birlikte sıklıkla karşılaşılan kuraklığın, FE çeşitliliğini, yapısını ve dağılımını etkilediği bildirilmiştir.

Diğer taraftan bitki ile ilişkili fungal endofitler, biyotik ve abiyotik streslerin bitki sağlığı üzerindeki etkilerini modüle edebilirler. Bitki mikrobiyomlarının bileşiminde ve aktivitelerinde iklim değişikliğinin (artan sıcaklık, CO² ve kuraklık) neden olduğu konukçu fonksiyonlarını etkileyebilirler (Rodriguez ve Duran, 2020). Bu değişiklikler ya bitkinin değişen biyolojisine bir yanıt olarak ya da stresörlerin fungusların üzerindeki doğrudan etkisinden kaynaklanmaktadır (Chanda vd., 2020). Endofitler, bitkilerdeki hormonal dengeyi düzenleyerek ve strese karşı sistemik toleransı indükleyerek, bitkilerin abiyotik strese tepkilerini hafifletir (Hashem vd., 2016). Bu konuda, kuraklık stresi altındaki bitkilerden izole edilen endofitik fungusların, kuraklığa dayanmak için konakçılara uyarlanabilir faydalar sağladığı kanıtlanmıştır (Zuo vd., 2022). Örneğin, salisilik asit (SA), fenolikler, flavonoidler, enzimatik antioksidanlar APX (askorbat peroksidaz) ve CAT (Katalaz) ve enzimatik olmayan antioksidanlar (askorbik asit) üretimiyle, özellikle kurak bölgelerde stres toleransını artırabildikleri belirlenmiştir (Javed vd., 2022). Bununla birlikte bitkilerin kuraklığa toleransını geliştirmede önemli fitohormonlar aracılığıyla strese duyarlı genleri aktive ederek antioksidan sistemi geliştirebildikleri ve kuraklığın neden olduğu oksidatif hasardan koruyabildikleri gösterilmiştir

(Khan vd., 2013). Endofit ortakyaşamının iklimsel koşullar karşısında bitki yararına sağladığı fayda olarak, stoma açıklığını kontrol etmedeki etkilerine ilişkin farklı sonuçlar sunulmuştur. Bir yandan endofitlerin, suyu korumak için stoma kapanmasını kolaylaştırdıkları rapor edilirken, bir yandan da endofitlerin daha fazla atmosferik CO² emmek için daha büyük bir stoma açıklığı indükleyerek fotosentezi arttırdığı ve nihayetinde daha büyük bir biyokütle oluşumuna neden olduğu bildirilmiştir (Malinowski ve Belesky, 2000; Rho vd., 2018).

3. Sonuç

Günümüzde ve gelecekte sürdürülebilir tarım açısından en büyük kaygılarımızdan biri, küresel iklim değişiklikleri ile şiddetlenen kuraklık, artan sıcaklık, CO² ve toprak tuzlanmasının ürün verim ve kalitesini etkilemesidir. Küresel ısınmaya bağlı olarak gelişen iklim değişiklikleri tarımsal ekolojiyi değiştirebilir, coğrafik fenolojilere neden olabilir. Bununla birlikte, bitki gelişim ve adaptasyonunu etkileyen bitki-mikrobiyom yapısını ve biyoçeşitliliğini etkileyebilir. Diğer taraftan sıcaklık, kuraklık ve CO² konsantrasyonunda beklenen değişikliklerin ekonomik öneme sahip ürün verim ve kalitesini etkileyen bitki patojenlerinin çeşitliliğini ve bunların etkileşimlerini tetikleyebilir. Tüm bu olumsuzluklar ve belirsizliklerle birlikte, giderek artmakta olan dünya nüfusunun gıda arz ve taleplerinin karşılanabilmesi için bütüncül stratejilerin geliştirilmesi ve uygulamaya geçilmesi zorunluluk oluşturmaktadır. Bu kapsamda sürdürülebilir tarım açısından önemli, bitki-mikrobiyom yapısının önemli bileşenlerinden olan endofitik funguslar dikkat çekmektedir. Endofitik funguslar, bitki sağlığı açısından önemli birçok sekonder metabolit üretme yeteneğine sahip olup, bu aktiviteleri sayesinde biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı bitki gelişimine ve savunmasına önemli katkılar sağlamaktadırlar. Özellikle son zamanlarda yapılan birçok çalışmada, bu türlerin iklimsel faktörlere bağlı abiyotik streslere (artan sıcaklık, CO₂, kuraklık, tuzluluk) karşı bitki adaptasyon yeteneklerini arttırabileceği kanıtlanmıştır. Dolayısıyla, sürdürülebilir tarım açısından izlenecek entegre mücadele kapsamında ekonomik açıdan önemli tarımsal bitkilerde endofit mikrobiyom yapısının belirlenmesi ve değişen iklimsel faktörler karşısında yapısal ve biyoçeşitlilikleri bakımından değerlendirilmeleri önem arz etmektedir. Böylece, sürdürülebilir tarımın geliştirilmesi amacıyla, gelecekte bitkilerin çevresel streslerden korunmasına ve bu stres faktörlerinin azaltılmasına yardımcı olacak yeni modeller geliştirilmeli ve bu konuda farkındalık yaratılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Adeleke, B. S., Ayilara, M. S., Akinola, S. A., & Babalola, O. O. (2022). Biocontrol mechanisms of endophytic fungi. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32(1), 1-17.
- Alam, B., Li, J., Gě, Q., Khan, M. A., Gōng, J., Mehmood, S., ... & Gōng, W. (2021). Endophytic Fungi: From Symbiosis to Secondary Metabolite Communications or Vice Versa?. *Frontiers in Plant Science*, 3060.
- Armarego-Marriott, T. (2022). Consider fungal friends. *Nature Climate Change*, 12(2), 118-118.
- Baron, N. C., & Rigobelo, E. C. (2022). Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. *Mycology*, 13(1), 39-55.
- Bogas, A. C., Cruz, F. P. N., Lacava, P. T., & Sousa, C. P. (2022). Endophytic fungi: an overview on biotechnological and agronomic potential. *Brazilian Journal of Biology*, 84.
- Brader, G., Compant, S., Vescio, K., Mitter, B., Trognitz, F., Ma, L. J., & Sessitsch, A. (2017). Ecology and genomic insights into plant-pathogenic and plant-nonpathogenic endophytes. *Annual Review of Phytopathology*, 55(1).
- Byregowda, R., Prasad, S. R., Oelmüller, R., Nataraja, K. N., & Prasanna Kumar, M. K. (2022). Is Endophytic Colonization of Host Plants a Method of Alleviating Drought Stress? Conceptualizing the Hidden World of Endophytes. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(16), 9194.
- Chanda, A., Maghrawy, H., Sayour, H., Gummadidala, P. M., & Gomaa, O. M. (2020). Impact of climate change on plant-associated fungi. In *climate change impacts on agriculture and food security in Egypt* (pp. 83-96). Springer, Cham.
- Compant, S., Clément, C., & Sessitsch, A. (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizo-and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5), 669-678.
- Du, W., Yao, Z., Li, J., Sun, C., Xia, J., Wang, B., ... & Ren, L. (2020). Diversity and antimicrobial activity of endophytic fungi isolated from *Securinega suffruticosa* in the Yellow River Delta. *PLoS one*, 15(3), e0229589.
- Fadiji, A. E., & Babalola, O. O. (2020). Elucidating mechanisms of endophytes used in plant protection and other bioactivities with multifunctional prospects. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 467.
- Fatma, M., Khan, M. I. R., Masood, A., & Khan, N. A. (2013). Coordinate changes in assimilatory sulfate reduction are correlated to salt tolerance: involvement of phytohormones. *Annual Research & Review in Biology*, 267-295.
- Fontana, D. C., de Paula, S., Torres, A. G., de Souza, V. H. M., Pascholati, S. F., Schmidt, D., & Dourado Neto, D. (2021). Endophytic fungi: Biological

- control and induced resistance to phytopathogens and abiotic stresses. *Pathogens*, 10(5), 570.
- Galindo-Solís, J. M., & Fernández, F. J. (2022). Endophytic Fungal Terpenoids: Natural Role and Bioactivities. *Microorganisms*, 10 (2), 339.
- Georgousaki, K., González-Menéndez, V., Tormo, J. R., Tsafantakis, N., Mackenzie, T. A., Martín, J., ... & Genilloud, O. (2022). Comoclathrin, a novel potent skin-whitening agent produced by endophytic Comoclathris strains associated with Andalusia desert plants. *Scientific reports*, 12(1), 1-12.
- Gonçalves, H. V., Oki, Y., Bordignon, L., Ferreira, M. C., dos Santos Jr, J. E., Tameirão, L. B. S., ... & Fernandes, G. W. (2021). Endophytic fungus diversity in soybean plants submitted to conditions of elevated atmospheric CO₂ and temperature. *Canadian Journal of Microbiology*, 67(4), 290-300.
- Gonçalves, H. V., Oki, Y., Bordignon, L., Ferreira, M. C., dos Santos Jr, J. E., Tameirão, L. B. S., ... & Fernandes, G. W. (2021). Endophytic fungus diversity in soybean plants submitted to conditions of elevated atmospheric CO₂ and temperature. *Canadian Journal of Microbiology*, 67(4), 290-300.
- Gouda, S., Das, G., Sen, S. K., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2016). Endophytes: a treasure house of bioactive compounds of medicinal importance. *Frontiers in microbiology*, 7, 1538.
- Grabka, R., d'Entremont, T. W., Adams, S. J., Walker, A. K., Tanney, J. B., Abbasi, P. A., & Ali, S. (2022). Fungal Endophytes and Their Role in Agricultural Plant Protection against Pests and Pathogens. *Plants*, 11(3), 384.
- Guevara-Araya, M. J., Escobedo, V. M., Palma-Onetto, V., & González-Teuber, M. (2022). Changes in Diversity and Community Composition of Root Endophytic Fungi Associated with *Aristolochia chilensis* along an Aridity Gradient in the Atacama Desert. *Plants*, 11(11), 1511.
- Hardoim, P. R., Van Overbeek, L. S., Berg, G., Pirttilä, A. M., Compant, S., Campisano, A., ... & Sessitsch, A. (2015). The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiology and molecular biology reviews*, 79(3), 293-320.
- Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Al-Huqail, A. A., Wirth, S., & Egamberdieva, D. (2016). The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardii* under salt stress. *Frontiers i*
- Javed, J., Rauf, M., Arif, M., Hamayun, M., Gul, H., Ud-Din, A., ... & Lee, I. J. (2022). Endophytic Fungal Consortia Enhance Basal Drought-Tolerance in *Moringa oleifera* by Upregulating the Antioxidant Enzyme (APX) through Heat Shock Factors. *Antioxidants*, 11(9), 1669.
- Ji, X., Xia, Y., Zhang, H., & Cui, J. L. (2022). The microscopic mechanism between endophytic fungi and host plants: From recognition to building stable mutually beneficial relationships. *Microbiological Research*, 127056.

- Jia, M., Chen, L., Xin, H. L., Zheng, C. J., Rahman, K., Han, T., & Qin, L. P. (2016). A friendly relationship between endophytic fungi and medicinal plants: a systematic review. *Frontiers in microbiology*, 7, 906.
- Kaul, S., Choudhary, M., Gupta, S., & Dhar, M. K. (2021). Engineering host microbiome for crop improvement and sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 12, 635917.
- Kaur, P., Kumar, V., Singh, R., Dwivedi, P., Dey, A., & Pandey, D. K. (2020). Biotechnological strategies for production of camptothecin from fungal and bacterial endophytes. *South African Journal of Botany*, 134, 135-145.
- Khalmuratova, I., Choi, D. H., Woo, J. R., Jeong, M. J., Oh, Y., Kim, Y. G., ... & Kim, J. G. (2020). Diversity and plant growth-promoting effects of fungal endophytes isolated from salt-tolerant plants.
- Kia, S. H., Jurkechova, M., Glynou, K., Piepenbring, M., & Maciá-Vicente, J. G. (2018). The effects of fungal root endophytes on plant growth are stable along gradients of abiotic habitat conditions. *FEMS Microbiology Ecology*, 94(2), fix162.
- Kia, S. H., Jurkechova, M., Glynou, K., Piepenbring, M., & Maciá-Vicente, J. G. (2018). The effects of fungal root endophytes on plant growth are stable along gradients of abiotic habitat conditions. *FEMS Microbiology Ecology*, 94(2), fix162.
- Kivlin, S. N., Emery, S. M., & Rudgers, J. A. (2013). Fungal symbionts alter plant responses to global change. *American Journal of Botany*, 100(7), 1445-1457.
- Kogel, K. H., Franken, P., & Hückelhoven, R. (2006). Endophyte or parasite—what decides?. *Current opinion in plant biology*, 9(4), 358-363.
- Kogel, K. H., Franken, P., & Hückelhoven, R. (2006). Endophyte or parasite—what decides?. *Current opinion in plant biology*, 9(4), 358-363.
- Malinowski, D. P., & Belesky, D. P. (2000). Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Science*, 40(4), 923-940.
- Oliveira, T. G., Bezerra, J. D., Silva, I. R. D., Souza-Motta, C. M., & Magalhães, O. (2021). Diversity of endophytic fungi in the leaflets and branches of *Poincianella pyramidalis*, an endemic species of Brazilian tropical dry forest. *Acta Botanica Brasílica*, 34, 755-764.
- Patil, R. H., Patil, M. P., & Maheshwari, V. L. (2016). Bioactive secondary metabolites from endophytic fungi: a review of biotechnological production and their potential applications. *Studies in natural products chemistry*, 49, 189-205.
- Poveda, J., & Baptista, P. (2021). Filamentous fungi as biocontrol agents in olive (*Olea europaea* L.) diseases: Mycorrhizal and endophytic fungi. *Crop Protection*, 146, 105672.

- Rho, H., Doty, S. L., & Kim, S. H. (2018). Estimating microbial respiratory CO₂ from endophytic bacteria in rice. *Plant signaling & behavior*, *13*(8), e1500067.
- Rho, H., Hsieh, M., Kandel, S. L., Cantillo, J., Doty, S. L., & Kim, S. H. (2018). Do endophytes promote growth of host plants under stress? A meta-analysis on plant stress mitigation by endophytes. *Microbial ecology*, *75*(2), 407-418.
- Rodriguez, R. J., Redman, R. S., & Henson, J. M. (2004). The role of fungal symbioses in the adaptation of plants to high stress environments. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, *9*(3), 261-272.
- Rodriguez, R., & Durán, P. (2020). Natural holobiome engineering by using native extreme microbiome to counteract the climate change effects. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, *8*, 568.
- Sadeghi, F., Samsampour, D., Seyahooei, M. A., Bagheri, A., & Soltani, J. (2020). Fungal endophytes alleviate drought-induced oxidative stress in mandarin (*Citrus reticulata* L.): toward regulating the ascorbate–glutathione cycle. *Scientia Horticulturae*, *261*, 108991.
- Santra, H. K., & Banerjee, D. (2020). Fungal endophytes: a source for biological control agents. In *Agriculturally Important Fungi for Sustainable Agriculture* (pp. 181-216). Springer, Cham.
- Seas, C., & Chaverri, P. (2020). Response of psychrophilic plant endosymbionts to experimental temperature increase. *Royal Society open science*, *7*(12), 201405.
- Segaran, G., & Sathivelu, M. (2019). Fungal endophytes: A potent biocontrol agent and a bioactive metabolites reservoir. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *21*, 101284.
- Sharma, B., Singh, B. N., Dwivedi, P., & Rajawat, M. V. S. (2022). Interference of Climate Change on Plant-Microbe Interaction: Present and Future Prospects. *Front. Agron.* *3*: 725804. doi: 10.3389/fagro.
- Spagnoletti, F. N., & Giacometti, R. (2020). Dark septate endophytic fungi (DSE) response to global change and soil contamination. In *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives II* (pp. 629-642). Springer, Singapore.
- Suryanarayanan, T. S., & Shaanker, R. U. (2021). Can fungal endophytes fast-track plant adaptations to climate change?. *Fungal Ecology*, *50*, 101039.
- Tacca, B. L., Yataco, R. J. Y., Farfán, A. A., Calderón, L. M., & Cantoral, J. C. A. (2022). Antibiosis y micoparasitismo de hongos endófitos sobre el agente causal del moho gris del arándano (*botrytis cinerea*). *Bioagro*, *34*(3), 209-222.
- Toghueo, R. M. K. (2020). Bioprospecting endophytic fungi from *Fusarium* genus as sources of bioactive metabolites. *Mycology*, *11*(1), 1-21.
- Trivedi, P., Batista, B. D., Bazany, K. E., & Singh, B. K. (2022). Plant–microbi-

ome interactions under a changing world: Responses, consequences and perspectives. *New Phytologist*.

- Velásquez, A. C., Castroverde, C. D. M., & He, S. Y. (2018). Plant–pathogen warfare under changing climate conditions. *Current Biology*, 28(10), R619-R634.
- Verma, A., Shameem, N., Jatav, H. S., Sathyanarayana, E., Parray, J. A., Poczai, P., & Sayyed, R. Z. (2022). Fungal endophytes to combat biotic and abiotic stresses for climate-smart and sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, 13.
- Wang, Y. L., Gao, C., Chen, L., Ji, N. N., Wu, B. W., Lü, P. P., ... & Guo, L. D. (2020). Community assembly of endophytic fungi in ectomycorrhizae of betulaceae plants at a regional scale. *Frontiers in microbiology*, 10, 3105.
- Wen, J., Okyere, S. K., Wang, S., Wang, J., Xie, L., Ran, Y., & Hu, Y. (2022). Endophytic fungi: an effective alternative source of plant-derived bioactive compounds for pharmacological studies. *Journal of Fungi*, 8(2), 205.
- Xingyuan, Z., Linjun, M., & Fang, C. (2022). The medicinal potential of bioactive metabolites from endophytic fungi in plants. *eFood*, 3(4), e28.
- Zheng, Y. K., Qiao, X. G., Miao, C. P., Liu, K., Chen, Y. W., Xu, L. H., & Zhao, L. X. (2016). Diversity, distribution and biotechnological potential of endophytic fungi. *Annals of Microbiology*, 66(2), 529-542.
- Zuo, Y., Hu, Q., Zhang, K., & He, X. (2022). Host and Tissue Affiliations of Culturable Endophytic Fungi Associated with Xerophytic Plants in the Desert Region of Northwest China. *Agronomy*, 12(3), 727.

“

BÖLÜM 16

ZEHİRLİ MANTARLARA DİKKAT!

Hakan ALLI¹

”

¹ Doç. Dr., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü

GİRİŞ

Mantarlar birçok topluluk tarafından farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Bazı mantarlar besleyici özellikleriyle dikkat çekerler (Akgül ve ark. 2016). Bünyelerinde vitamin, mineral, protein gibi birçok önemli besin elementlerini barındırır. Bazı mantarlar ise tıbbi özellikleriyle dikkat çekerler (Sevindik ve ark. 2017). Yapılan birçok araştırma mantarların antioksidan, antimikrobiyal, antikanser, DNA koruyucu gibi birçok biyolojik aktiviteye sahip olduğu bildirilmiştir (Sevindik ve ark. 2016; Akgül ve ark. 2017; Bal ve ark. 2017; Gürgeç ve ark. 2020; Eraslan ve ark. 2021). Mantarların bu özelliklerinin yanı sıra zehirli olma durumları da vardır. Mantar zehirlenmelerinin tarihi oldukça eski olmakla birlikte mantarın İtalyancası “**Fungo**” kelimesi latince ölüm anlamına gelen “**Funus**” ile neden olmak anlamına gelen “**agere**” kelimelerinden türetilmiş bir kelimedir. Mantarları çok iyi tanıyan Romalılar bu bilgilerini özellikle zehirli mantarları kullanarak tarihsel sürece etki etmişlerdir. Roma imparatoru II. Claudius mantarları çok seviyordu özellikle de *Amanita caesara*’yı. Bu sebepten bu mantara kendi ismi konmuştur ve hala öyle tanınmaktadır. *Amanita caesara* mantarını çok sevdiğini bilen karısı Agrippine, sezar mantarının üzerine dünyanın en zehirli mantarı olan ve halk arasında “Köy Göçüren” ya da “Ölüm Meleği” olarak bilinen *Amanita phalloides*’in mantarını karıştırarak kimsenin kuşullanmasına fırsat vermeden ölümüne neden olmuştur. İşbirlikcisi ise daha sonra Roma’yı yakacak olan, oğlu Neron’dur (Mat 2000).

Türkiye’de ise, özellikle son yıllarda görülen mantar zehirlenmeleri insan yaşamını tehdit eden boyutlara ulaşmıştır ve bazıları da ölümlerle sonuçlanmaktadır. Sonbahar aylarında yağışların bollaşmasıyla birlikte mantarların toplanması ve tüketilmesinin artışı nedeniyle zehirlenmelerde daha fazla görülmektedir. Ülkemizin farklı bölgelerinde ortaya çıkan zehirlenmeler yazılı ve görsel medya tarafından duyurulmaktadır. Son yıllarda makromantarlar özellikle de zehirli mantarlar ile ilgili yapılan çalışmalar her ne kadar artsa da bu konuda halkımızın bilgisi ya çok yetersiz ya da kulaktan duyma bilgiler şeklindedir. Halk arasında doğru olduğu düşünülen fakat mantarları birbirinden ayırt etme de hiçbir işe yaramayan bazı yanlış inanışları şöyle sıralayabiliriz:

MANTARLAR HAKKINDAKİ YANLIŞ İNANIŞLAR:

1- “Böcekler ve kurtçuklar ve bunların larvaları tarafından yenen mantarlar zehirli değildir, bu mantarlar yenir!”

Bu bilgi yanlış olup *Amanita phalloides* dünyanın en zehirli mantarı olduğu halde mantar yaşlandıkça üzerinde böcek larvaları ve kurtlar barındırır, salyangozlar, böcekler ve çeşitli orman canlıları tarafından yenmektedir (Şekill).



Şekil1. Çeşitli canlılar tarafından yenen *Amanita phalloides* (Köygöçüren Mantarı)

2- “Zehirli mantarlar, parlak ve göz alıcı renklere sahiptir”.

Dikkat çekici renkler, mantarlar için, tek başına, mantarın zehirli veya zehirsiz olması konusunda ayırt edici özellik olamaz. Dünyanın en zehirli mantarı olan *Amanita phalloides* zeytin yeşili, yada kirli beyazımsı renklerdedir.



Şekil 2. *Amanita phalloides* (Fr.) Link. (Köy Göçüren Mantarı)

Foto: Hakan ALLI

2- “Mantar pişirilirken gümüş kaşık kararır ise mantar zehirlidir”

Mantarların pişirilmesi nedeniyle mantarın içinde bulunan kükürtün gümüşü karartmasının o mantarın zehirli olup olmadığını göstermez. Mantarın zehirli olup olmadığını, ancak bilimsel yöntemler ve deneylerle anlamaya çalışmak, en doğru olanıdır.

3- “Hoş kokulu ve lezzetli olan mantarlar tehlikesizdir. Zehirli mantarlar kötü kokarlar, tatları da çok kötüdür” BURADA KALINDI.....

Yine mantarın kötü kokmasının zehirli olduğunu göstermesi kanaati tamamen asılsız olup çok

güzel kokan ve lezzetli olduğu söylenen (bizzat zehirlenenlerce) zehirli mantarlarında olduğu bilimsel olarak kanıtlanmıştır (Bresinsky & Besl 1990). Buna en güzel örnek; Tadı hoş ve fındıksı kokusu olan *Amanita pallioides* ve *Ramaria* sp. (Tellice) türleri mantarlar sakıncalı veya zehirlidir (Şekil 2).



Şekil 2. *Ramaria* sp. (Tellice)

Foto: Hakan ALLI

5- “Biz yedik, zehirlenmedik “

Mantar zehirlenmelerinin sonucu her zaman ölümle bitmeyebilir fakat bu zehirlenme olmadığı anlamına gelmez. Eğer bireyde baş dönmesi, kusma, şiddetli veya hafif karın ağrısı, hazımsızlık, mide ekşimesi halsiz-

lik gibi belirtiler varsa zehirlenme meydana gelmiş olabilir.



şekil 3. *Amanita muscaria* (L.) Lam. “Gelin mantarı, Sinek Mantarı”
Foto: Hakan ALLI

6- “Zehirli ve Ölümcül Zehirli mantarları haşlırsak ve iyi pişirsek zehiri kaybolur”

Kesinlikle yanlış olan bir bilgi olup, mantarları kaynatmak veya iyice pişirmek mantarın zehir yapısını bozmaz. Ancak, bazı yenilebilir mantarlar iyi pişirilerek tüketilmelidir (Ör. *Amanita rubescens*). Zehirli mantarların bileşenleri birbirinden farklı olduğu için bazı toksinler ısıya dayanıklıdır. (Türkoğlu ve ark. 2009). Örneğin “*Gyromitra esculenta* mantarının içeriğindeki zehirli madde; sıcaklık ile bozulan termolobil bir özelliğe sahiptir (şekil 4). Bu sebepten bu mantarlar yenir olduğu düşünülerek bazı yöresel pazarlarda satılmaktadır (şekil 5). Ancak, çok aşırı sıcaklık uygunlansa bile zehir yapısı bozulmayacak birçok mantar (*Amanita palloides*, *A. pantherina*, *Galerina marginata* gb.) vardır. Dolayısıyla bu asla kesin bir ayıraç olamaz.



Şekil 4. *Gyromitra esculenta* (Pers.) Fr. “Kuzu Göbeği Ebesi”

Foto: Hakan ALLI



Şekil 5. Zehirli mantardan olan Kuzu Göbeği Ebesi (*Gyromitra esculenta*) ve Çanak mantarının (*Sarcosphaera coronaria*) yöresel pazarlarda satılmaktadır.

7- “Yoğurtla yenilen mantar zehirlemez”

Bu bilgide kesinlikle doğru olmayıp, yoğurt veya başka bir besin ile mantar yemek zehirlenmeyi asla önlemez.

8- “Mantarın zehiri, sirkeli ve tuzlu suda kaynatılarak giderilir, sonrasında pişirilip yenildiğinde zehirlemez”

Bu bilgi kesinlikle yanlış olduğu gibi, mantarlar ile de şaka olmaz. Bunun gibi bilimsel olmayan basit deneme-yanılma deneyleri ile mantardaki zehirli toksinler giderilmez (Şekil 6).



Şekil 6. *Sarcosphaera coronaria* (Jacq.) J. Schröt. “Çanak”

Foto: Hakan ALLI

9- “Kurutulmuş mantarlar zehirli değildir”

Zehirli bir mantarı kurutmak mantarın zehirliliğini ortadan kaldırmaz. *Amanita phalloides* mantarınının zehiri kurutulularak, azalmaz ya da ortadan kalkmaz (Şekil 7).



Şekil 7. *Amanita phalloides* (Fr.) Link. (Köy Göçüren)

Foto: Hakan ALLI

10- “Çayırlarda yetişen mantarlar zehirli değildir.”

Çayırlarda yetişip yenen mantarlar olmasına karşılık, asla unutulmamalıdır ki, çayırlarda yetişen *Psilocybe* sp., *Lepiota* sp. ya da *Agaricus* sp. gibi zehirli mantarlarda (Şekil 8) bulunmaktadır.



Şekil 8. *Psilocybe semilanceata* (Fr.) P. Kumm.

Foto: Hakan ALLI

11- “Koparıldığında rengi değişmeyen mantar zehirsiz. Kesildiğinde veya bölündüğünde iç kısmı renk değiştirir, kızarır, morlaşır veya mavileşirse zehirlidir”

Doğru olmayan bu bilgiye göre; mantarlarda renk değişimi mantarın zehirli olup, olmaması ile ilgili ayırt edici bir özellik olamaz. Mantarların şapka veya sapları kesildiğinde ya da topraktan koparıldığında renk değişimi meydana gelebilir fakat bu kesinlikle zehirli mantar için ayırt edici özellik değildir. Aynı zamanda zehirli mantarlar içerisinde renk değiştirebilenler olduğu gibi yenilebilir türlerde renk değiştirebilirler (Şekil 9 a-b).



Şekil 9. a. Yenilebilir özellikte mantar b. Zehirli özellikte mantar

12- “Ağaçlar üzerinde yetişen mantarlar zehirsizdir”

Ağaçlar üzerinde, yetişen *Pleurotus ostreatus* (İstiridye-Kavak mantarı) mantarı çok lezzetli bir mantar olmasına rağmen (Şekil 10), başka bir mantar türü *Galerina marginata* ise yine ağaçlar üzerinde yetişen öldürücü zehirli bir mantardır (Şekil 11). Yani bu bilgi de kesinlikle yanlıştır.



Şekil 10. *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm (Kavak Mantarı)

Foto: Hakan ALLI



Şekil 11. *Galerina marginata* (Batsch) Kühner

13- “Zehirli mantarları Salyangozlar yemezler.”

Bu bilgi doğru olmayıp, yanlış bir bilgidir. Çünkü salyangozların birçok zehirli mantarı yedikleri çok defa tespit edilmiş bir gerçektir (Şekil 12).



Şekil 12. Bir salyangozun *Amanita muscaria* 'yı yerken çekilmiş fotoğrafı

Foto: Hakan ALLI

14- “Zehirli mantarlara dokunulmaz”

Hiçbir zehirli mantar temas ya da el ile dokunma yoluyla zehirlemez. *Amanita phalloides* mantarı dahil zehirli mantarlara dokunmak, koklamak, hatta yutmadıktan sonra tadına bakmak bile insanları zehirlemez ya da zehirleyerek öldürmez. Çünkü insanların mantardan zehirlemesi için yenilmesi ve daha sonra sindirilmesi gereklidir (Işıoğlu ve ark. 2009). Eğer dokunmakla insanları zehirlemiş olsaydı; mikologların hiçbirinin yaşamaması gerekirdi (Şekil 13).



Şekil 13. Elde tutulan *Amanita phalloides* mantarının fotosu

Foto: Hakan ALLI

15- “Sütü çıkan mantarlar zehirlidir”

Kırıldığında ya da koparıldığında süt salgılayan ve lezzetli olan *Lactarius volemus* (geyik sütü), *Lactarius deliciosus* (Çıntar) (Şekil 14) türlerinde mevcut olup *Lactarius chrysorrheus* (Şekil 15 a-b) türü gibi yenme-

yen acı veya zehirli mantar türleri de mevcuttur. Bir mantarın yapısında sütün bulunup, bulunmaması; mantarın zehirli olduğunu veya olmadığını göstermez.



Şekil 14. *Lactarius deliciosus*

Foto: Hakan ALLI



Şekil 15a. *Lactarius chrysorrheus*

Foto: Hakan ALLI



Şekil 15b. *Lactarius chrysorrheus*

Foto: Hakan ALLI

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Sonuç olarak bir mantarın zehirli veya zehirsiz olduğunu anlayabilmek için tek doğru ve geçerli yöntem, bilimsel yöntemlerdir. Dış görünüşüne bakarak mantarın zehirli olup, olmadığına karar vermek oldukça riskli bir yöntemdir. Bu sebepten mantarın yapısında toksin içerip içermediğine yani zehirli olup olmadığına laboratuvar ortamında bakmak en doğru yöntemdir. Laboratuvar ortamı dışında, mantarın zehirli olup olmadığına dair söylenen tüm bilgiler, inanışlar ve kullanılan yöntemler, bilimsel olmayan, gerçek dışı ve kulaktan duyma bilgilerdir.

Mantarlar aleminin gizemli ve çekici ortamı bizi aldatmamalı, gizemli ve çekici oldukları kadar da tehlikeli oldukları asla unutulmamalıdır. Mantarları hafife almamak, bu işin şakası olmadığını unutmamak ve bilmediğimiz mantarlardan uzak durmanızı gerektirir.

Unutmayın ki **“Her MANTAR yenir, AMA bazıları SON yemeğiniz olabilir “**

Bilimden şaşmamalı, doğru bilinen yanlışlara, orman efsanelerine, uydurulmuş söylemlere ve inanışlara kanmamalıyız.

Şu bilinmelidir ki, **“Her mantar kendi şahsına münhasırdır”** yani farklı farklı zehir yapısına sahiptirler. Tüm zehirli mantarları da aynı grupta toplamak ve tedavi yöntemlerini aynı uygulamak oldukça yanlıştır (Mat 2000).

Yukarıda sıralanan bu iddialara inanarak mantar tüketmek, geri dönüşümü mümkün olmayan acı sonuçlara yol açabilir. Bunlar gibi yanlış bilgilerin düzeltilmesi ve mantarlar konusunda halkımız ivedilikle bilgilendirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizdeki her yıl özellikle sonbahar mevsiminde meydana gelen mantar zehirlenmelerinin başlıca nedenleri arasında; özellikle kırsal kesimlerde orman ve çayırlardan ya da yaylalardan insanların mantar toplayıp yeme alışkanlığının oldukça yaygın olması gelmektedir. Hatta bu toplanan doğal mantarların bir kısmı da yerel pazarlarda maalesef dene-timsiz bir şekilde satılmaktadır (Şekil 14-15)



Şekil 14. Halk arasında Kuzu Göbeği, Göbelek olarak bilinen mantarın (*Morchella esculenta*) yöresel pazarlarda satılması



Şekil 15. Halk arasında Çıntar, Kanlıca, Melki olarak bilinen mantarın (*Lactarius deliciosus*) yöresel pazarlarda satılması

Halk arasında “Kuzu göbeği”, “Göbelek”, “Çıntar”, “Kanlıca”, “Melki”, “Fındık Kırmiti”, “Ak Kanlıca”, “İçi kızıl”, “Söbelen”, “Dedebörük”, “Turna Bacağı”, “Borazan”, “Cıvcıv Bacağı”, “Tellice”, “Geyik Mantarı”, “Sığır Dili”, “Cincile”, “Mıh Başı”, “Kayışkıran”, “Etce”, “Malkadın”, “Mor Cincile”, “Çörek Mantarı” ve “Kavak Mantarı” gibi yöresel isimlerle bilinen mantarlar vatandaşlarımız tarafından en çok toplanan ve sevilerek tüketilen doğal mantarlardır. Bu mantarların yakınında ya da bunlara çok benzeyen, ancak bir mantar uzmanı tarafından ayırt edilebilecek mantarlar maalesef karıştırılarak tüketilmekte, hatta halk pazarlarında satılmaktadır. Bu gibi durumlarda yerel pazarlarımızın da yeterince denetlenmiyor olması istenmeyen olaylara neden olmakta, insanlarımız zehirlenmektedir.

Mantar zehirlenmelerinin ve bu zehirlenmelerden kaynaklanan ölümlerin önüne geçmek için mantarların özellikle de zehirli mantarların halkımıza tanıtılması oldukça önemlidir. Bunların dışında tedavi de yeni yöntemler geliştirilmelidir. Özellikle Avrupa ülkelerinde insanlara man-

tarların çok iyi tanıtılması ve bu konuda her kesimin bilinçlendirilmesi ile zehirlenme ve ölüm oranı oldukça düşük olup, mantar zehirlenmesinden ölen insan sayısı yılda 1 ya da nadiren 2 kişidir. Bunda özellikle medyanın rolü büyüktür. Özellikle televizyon belgesellerin de zehirli mantarlara dikkat çekilmesi, çok sayıda renkli el kitaplarının olması, “fungus foray” adı ile yapılan mantar toplama ve tanıma gezileri büyük önem taşımaktadır.

Mantar zehirlenmelerinde; zehirlenmeye sebep olan mantar türünün teşhisi tedavinin başarılı olması için oldukça önemlidir. İleride de açıklanacağı gibi zehirli mantarlar birbirlerinden farklı sendromlara göre gruplandırılmaktadır. Her mantar farklı sendromlara neden olur. Dolayısıyla her bir gurup zehirli mantar için birbirinden farklı tedavi yöntemleri uygulamak gereklidir. Buna bir örnek vermek gerekirse; *Coprinus atramentarius* halk arasında “mürekkep mantarı” olarak bilinen ve tüketilen bir mantardır. Eğer bu mantar tüketilirken, yanında alkol alınmazsa, herhangi bir zehirlenmeye neden olmaz iken, ancak mantar ile birlikte ya da mantar yedikten sonra 5 gün içerisinde alkol alındığında (bira da dahil) “Coprinus Sendromu” adı verilen zehirlenmeye neden olur. Bir sağlık kuruluşuna başvurduğunuzda eğer doktor bunu bilmeden hastaya sedatif yerine kusturmak için ipeka şurubu verecek olursa; içindeki alkol hastayı iyileştirmek yerine daha kötü hale getirerek ağırlaştıracaktır. Bu sebepten zehirlenme olduktan sonraki 5 gün içerisinde bırakın alkol almayı, içerisinde alkol olan ilaç bile tüketilmemelidir.

MANTAR ZEHİRLENMESİ NEDİR?

Bazı makro mantarların yapısında bulunan zehirli bileşiklerin neden olduğu hastalık belirtilerine “**mantar zehirlenmesi**” ya da “**misetismus**” adı verilir. Ortaya çıkan bu belirtilerin şiddeti, tüketilen mantarın miktarına göre değişiklik göstermektedir. Mantarı yedikten sonra ilk belirtilerin görülmesine kadar geçen süreye “**gizli dönem**” veya “**latent dönem**” adı verilir. Mantar zehirlenmeleri bu dönemde geçen sürenin uzun ya da kısa oluşuna göre iki büyük gruba ayrılır.

1. Grup: Erken belirti gösteren mantar zehirlenmeleri

Mantarı yedikten sonra 2-3 saat içerisinde belirtiler ortaya çıkar. Bu tip zehirlenmelerde ölüm oranı oldukça düşüktür. Mide lavajı ve semptomatik tedavi ile hasta kısa süre de iyileşir. Aşağıdaki zehirlenme tipleri bu grupta incelenir:

- Coprinus Sendromu
- Gastrointestinal Sendromu
- Muscarin Sendromu

- Pantherina Sendromu
- Pisilosibin Sendromu

2. Grup: Geç belirti gösteren mantar zehirlenmeleri

Bazı mantarlar yenildikten sonra 6 ila 24 saat arasında hatta daha geç bir zamanda belirti gösterebilirler. Zehirli bileşiklerin öncelikle karaciğer ve böbreklerde etkili olması nedeniyle belirtiler daha geç oraya çıkmaktadır ve bu tarz zehirlenmeler oldukça tehlikeli olup genellikle ölüm meydana gelir. Mantarı yiyen bireyin en kısa sürede tam teşekküllü bir hastaneye yatırılması hayati önemdedir. Aşağıdaki sendromlar 2. Grup zehirlenmelere örnektir.

- Gyromitra Sendromu
- Orellanus Sendromu
- Phalloides Sendromu

Bu sendromları ayırdıktan sonra aşağıda ülkemizde şimdiye kadar tespit edilmiş zehirli mantarları ve bunların neden olduğu zehirlenme sendromlarını bulabilirsiniz.

MANTAR ZEHİRLENMESİ OLAYINDA YAPILACAK İLK İŞLEMLER

- Hemen 112 Acil aranmalı,
- **Hasta mümkün olan en kısa sürede kusturulmalı,**
- Zehirlenmeye neden olan mantarı tanımlamak için; gerekli her türlü mutfak artıkları, yemek kalıntıları ve kusmalar muhafaza edilmelidir.

Mantar zehirlenmelerinde tedavinin ana prensipleri; su ve elektrolitlerin kaybını, herhangi bir semptomatik uyarıyı, krampları veya dolaşım yetersizliğini dengelemek için mümkün oldukça en kısa sürede zehirin elemine edilmesini sağlamaktır (Öder 1977). İhtiyaç duyulan özel tedavi zehirlenmenin teşhisine bağlıdır. Eğer zehirlenmeye neden olan mantar tespit edebilirse hastanın kurtulma ihtimali daha yüksek olacaktır. Bu sebepten ulusal zehir merkezlerinde zehirli mantarları tanımlayabilecek uzman mikologların olması ve ülkemizin yenen ve zehirli mantar türlerinin halka tanıtılması oldukça önemlidir (Allı 2011).

Öte yandan mantar yendikten sonra ortaya çıkan her rahatsızlık gerçek bir mantar zehirlenmesi yani misetismus olarak tanımlanmamalıdır. Bunlar “**yalancı mantar zehirlenmeleri**” olarak isimlendirilirler. Yalancı mantar zehirlenmelerini hafife almamak gerekir. Çünkü bazı durumların sonunda ölüm vakaları da olabileceği göz ardı edilmemelidir. Bunlar:

1. Aşırı Tüketim

Mantarın sindirimi güç olduğu için, duyarlı midelere sahip kişilerin küçük miktarlarda bile mantar yemeleri sindirimlerini etkileyerek onları rahatsız edebilir.

2. Mantar Zehirlenme Kuruntusu

Meydana gelen zehirlenme semptomları; genellikle insanlarda zehirli bir mantar yeme korkusundan oluşan psikolojik bir durumdur. Böyle durumlar bazı kimselerde kültür mantarında bile olabilir. Titreme, terleme, mide ağrıları, bulantı ve kusma ile gerçekleşen bu semptomları gerçek mantar zehirlenmelerinden ayırt etmek hemen hemen imkansızdır.

3. Bozulmuş Mantarlar

Mantarlar yaşlandıkça, nemli havalarda kurtçuklar tarafından zarara uğratarak bozulabilir, ya da uygun olmayan depolama şartlarında mantarlar üzerinde gelişen bakteri ve küfler mantarları zehirli hale gelebilirler. Bunlar daha çok gıda zehirlenmesi olarak bilinir.

4. Bazı insanlarda meydana gelen Alerjiler

Birkaç tane mantarı tükettikten sonra bazı kişilerde fungal bileşenlere karşı antijen gibi, ki bunlar protein benzeri maddelerdir, antikorlar oluşur. Aynı mantarın daha sonrada yenmesi ile; vücudumuzdaki immünojenik reaksiyonlardan kaynaklı, alerji dediğimiz zehirlenme belirtileri ortaya çıkar.

5. Bazı Şekerlere olan Toleranslık

Çok iyi tanınan, yenen mantarları tükettikleri zaman bazı kişilerde zehirlenme belirtileri ortaya çıkmıştır. Araştırmalar sonucunda zehirlenen kişilerin mantarda sık olarak rastlanan **trehaloz tipi şekerlere** doğuştan gelen bir toleranssızlık olarak tanımlanır. Bu intestinal sistemde trehalaz enziminin yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Bunun neticesinde, mantarın yendiği her zaman veya trehalozun alınmasından sonra karın ağrıları ve diyare oluşur. Buda gerçek bir mantar zehirlenmesi değildir.

6. Toksik Ağır Metaller ve Diğer Çevresel Zehirler

Yapılan araştırmalarda mantarın bünyesinde bulundurduğu metalle, yetiştiği yerdeki metalin ilişkili olduğu tespit edilmiş, yapısında kurşun ve civa gibi toksikolojik öneme sahip metallerin varlığı görülmüş ve bu tip metallere pollusyona uğramış alanlardaki mantarlarda rastlanmıştır. Bu alanlardan toplanan doğal mantarların faydadan çok zarar vererek ağır metal zehirlenmesine neden olduğu görülmüştür. Bu sebepten mantarlar toplanırken toplanılan alana dikkat etmek gerekmektedir. Aşağıda açıklanan kurallara uymak gerekmektedir.

MANTAR TOPLARKEN DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN KURALLAR

1. KURAL

Doğadan mantarlar toplanırken, bıçakla keserek toplanmalı ve temizledikten sonra ayrı ayrı muhafaza edilmelidirler.

2. KURAL

Gerek doğal mantarların gerekse kültür mantarlarının sık sık ve çiğ olarak tüketilmesinden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.

3. KURAL

Kuru havalarda az toplanmalı ve kırağı varsa toplanmamalı, Mantarlar kurtlanmamış ve yaşlanmamış olmalıdır. Buzdolabında tutulduklarında bile mümkün olduğunca çabuk tüketilmelidir.

4. KURAL

Yenir olduğu %100 bilinen mantar türleri yenilebilir. Aksi takdirde yenmemelidir.

5. KURAL

Mantardan hoşlanmadığını belli eden kişilere bir defalık denemesi için bile asla direktmemeli, bu ısrar özellikle çocuklara yapılmamalıdır.

6. KURAL

Mantarın şapkasına ya da sapına el ile dokunduğunda veya ezildiğinde rengi değişerek sararan *Agaricus* sp. türlerinden kaçınılmalı, fabrika çevrelerinden, yol kenarlarından, maden ocaklarının yakınları gibi ağır metal kirliliği olan alanlardan mantarlar toplanmamalı ve tüketilmemelidir.

7. KURAL

Eğer çevrenizde bir mikolog veya mantar uzmanı kimseler olmadığı sürece; mantarların yenilebilirliği konusunda kimseye güvenilmemelidir.

Son olarak da şu cümle ile konunun önemini özetlemek istiyor, herkeşe bol mantarlı günler diliyorum...

“TÜM MANTARLAR YENİR AMA BAZILARI SADECE BİR KEZ”

DOÇ. DR. HAKAN ALLI

KAYNAKLAR:

1. Akgul, H., Sevindik, M., Coban, C., Allı, H., Selamoglu, Z. (2017). New approaches in traditional and complementary alternative medicine practices: *Auricularia auricula* and *Trametes versicolor*. *J Tradit Med Clin Natur*, 6(2), 239.
2. Akgül, H., Sevindik, M., Akata, I., Altuntaş, D., Bal, C., Doğan, M. (2016). *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer. Mantarının Ağır Metal İçeriklerinin ve Oksidatif Stres Durumunun Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(3), 504-508.
3. Allı H (2011). Macrofungi of Kemaliye district (Erzincan), *Turk J Bot.* 35 (2011) 299-308.
4. Bal, C., Akgul, H., Sevindik, M., Akata, I., & Yumrutas, O. (2017). Determination of the anti-oxidative activities of six mushrooms. *Fresenius Envir Bull*, 26(10), 6246-6252.
5. Bresinsky A & Besl A (1990). *A Colour Atlas of Poisonous Fungi*, London: Wolfe Publishing Ltd.
6. Eraslan, E. C., Altuntas, D., Baba, H., Bal, C., Akgül, H., Akata, I., Sevindik, M. (2021). Some biological activities and element contents of ethanol extract of wild edible mushroom *Morchella esculenta*. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 39(1), 24-28.
7. Gürgen, A., Sevindik, M., Yıldız, S., Akgül, H. (2020). Determination of antioxidant and oxidant potentials of *Pleurotus citrinopileatus* mushroom cultivated on various substrates. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(3), 586-591.
8. Işıloğlu M., Helfer S., Allı H., Yılmaz F., (2009) A Fatal *Inocybe* Poisoning in Mediterranean-Turkey, *Turk J Bot* 33. 71-73.
9. Mat A. (2000). Türkiye’de Mantar Zehirlenmeleri ve Zehirli Mantarlar, Nobel Tıp Kitabevleri Ltd. Şti.
10. Öder N (1977). Bazı Zehirli Mantarlar ve Mantar Zehirlenmelerinde İlk Yardım, Şafak Matbaası, Ankara.
11. Sevindik, M., Akgul, H., Akata, I., Allı, H., Selamoglu, Z. (2017). *Fomitopsis pinicola* in healthful dietary approach and their therapeutic potentials. *Acta alimentaria*, 46(4), 464-469.
12. Sevindik, M., Akgül, H., Günal, S., Doğan, M. (2016). *Pleurotus ostreatus*’ un doğal ve kültür formlarının antimikrobiyal aktiviteleri ve mineral madde içeriklerinin belirlenmesi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 16(1): 153-156
13. Türkoğlu A., Işıloğlu M., Allı H., Karakuş T. (2009). A False Morel, *Gyromitra esculenta* (Pers.) Fr. (Ascomycetes), Poisoning in Turkey, *International Journal of Medicinal Mushrooms*, Volume 11, Issue 1, 2009, pp. 101-102.