

FEN BİLİMLERİ VE MATEMATİKTE ARAŞTIRMA VE DEĞERLENDİRMELER - I

ARALIK 2021

EDİTÖRLER

PROF. DR. HASAN AKGÜL
PROF. DR. ALPASLAN DAYANGAÇ

İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel

Editörler / Editors • Prof. Dr. Hasan AKGÜL

Prof. Dr. Alpaslan DAYANGAÇ

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2021

ISBN • 978-625-8075-10-6

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin
almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı.

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

Gece Kitaplığı / Gece Publishing

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

Sokak Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR

Telefon / Phone: +90 312 384 80 40

web: www.gecekitapligi.com

e-mail: gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

**Fen Bilimleri ve
Matematikte Araştırma ve
Değerlendirmeler - I**
Aralık 2021

Editörler

Prof. Dr. Hasan AKGÜL
Prof. Dr. Alpaslan DAYANGAÇ

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

GAZLAR

Mehmet ÇİFTÇİ..... 1

Bölüm 2

CYPRINUS CARPIO GONAT DOKUSU YAĞ ASİDİ İÇERİĞİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ

Semra KAÇAR & Mehmet BAŞHAN 21

Bölüm 3

BUĞDAY, İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI KURAKLIK VE KURAKLIĞA KARŞI DİRENÇ MEKANİZMASINDA GST İZOZİMLERİNİN FONKSİYONU*

Can YILMAZ & Metin KONUŞ & Pınar YILMAZ 37

Bölüm 4

SPODOPTERA EXIGUA’NIN YAŞAM DÖNGÜSÜ VE İNSEKTİSİTLERE KARŞI DİRENÇ DURUMLARI

Metin KONUŞ & Can YILMAZ & Nurhan Didem KIZILKAN 63

Bölüm 5

SİVAS İLİ FLORA BİYOÇEŞİTLİLİĞİ

Hüseyin Aşkın AKPULAT 79

Bölüm 6

HATALARIN NORMAL DAĞILMAMASI DURUMUNDA M REGRESYONUN ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

Murat ERİŞOĞLU & Ülkü ERİŞOĞLU 99

Bölüm 7

MİKROBİYAL ENZİMLER: ÜRETİMDEN ENDÜSTRİYEL, TIBBİ VE BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALARA

Nazlı Pınar ARSLAN & Özden Canlı TAŞAR & Mesut TAŞKIN 115

Bölüm 8

BİTKİLERDE MİKRO BESİN ELEMENTİ BOR VE BİTKİ İLİŞKİLERİ

Murat ARDIÇ..... 149

Bölüm 9

TİYAZOL TÜREVİ BİLEŞİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE BİYOLOJİK AKTİVİTE ARAŞTIRMALARI

Ayşen IŞIK & Ahmet KOÇAK..... 167

Bölüm 10

EKSTREMOFİLİK FUNGUSLAR

Serap KÖKCÜ & Nermin SARIGÜL..... 183

Bölüm 1

GAZLAR

Mehmet ÇİFTÇİ¹

¹ Prof. Dr., Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi

GAZLAR

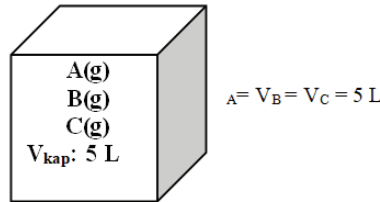
Çevremizi dikkatli bir şekilde incelediğimiz zaman birçok gazın var olduğunu görürüz. Örneğin hava birçok gazın oluşturduğu homojen bir karışımdır. Tabiattaki yanma olaylarının sebebi yine atmosferde yaklaşık olarak % 21 oranında bulunan O_2 gazıdır. Dünyamızın etrafında bulunan atmosfer tabakasının olmaması hayatın da olmaması anlamına gelir. Buradan da maddenin gaz halinin önemi kendiliğinden anlaşılır mı? Yine solunum yaparken havadaki oksijen gazını alıp CO_2 gazını dışarıya veririz. Bu durum vücudumuzda gerçekleşen binlerce biyokimyasal reaksiyonlarda gazların önemini göstermektedir. Diğer taraftan, bitkilerin fotosentez yapması sırasında yine aynı gazlar kullanılmaktadır. Birçok kimyasal reaksiyonda reaktant ve ürünlerin bazıları ya da tümü gaz halindedir. Dolayısıyla kimyasal reaksiyonların doğru gerçekleştirilebilmesi ve gazların güvenli bir şekilde sanayide kullanılabilmesi için gazların özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.

Gazlar hızla hareket eden ve aralarında büyük boşluklar bulunan atom ya da moleküllerden oluşan, belirli hacmi ve şekli olmayan ve sıkıştırılabilen maddelerdir. Gaz karışımlarının tümü homojen yapıdadır. Gazlar sıkıştırıldığında tanecikler arasındaki mesafe azalır ve tanecikler birbirine yaklaşır. Bir tüpteki gaz dışarı bırakıldığında ise gaz tanecikleri birbirinden uzaklaşarak bulundukları odayı tamamen doldururlar. Ayrıca gaz molekülleri bulundukları kabın çeperlerine çarparak basınç uygularlar. **Sonuç olarak Gazlar bulunduğu kabın hacmini tam doldurabilen ve sıkıştırıldığında, hacimleri büyük ölçüde küçülebilen akışkan maddelerdir.**

Gazlar konusunun daha iyi anlaşılabilmesi için bazı kavramları iyi bilinmesi gerekir. Bunlar hacim, sıcaklık ve basınç kavramlarıdır.

1.1. Hacim

Gazlar bulundukları kabın hem hacmini hem de şeklini alırlar. Dolayısıyla bir gazın hacmi bulunduğu kabın hacmine eşittir. Aşağıdaki kapta bulun A, B ve C gazlarının hacimleri birbirine eşit ve 5 litredir.



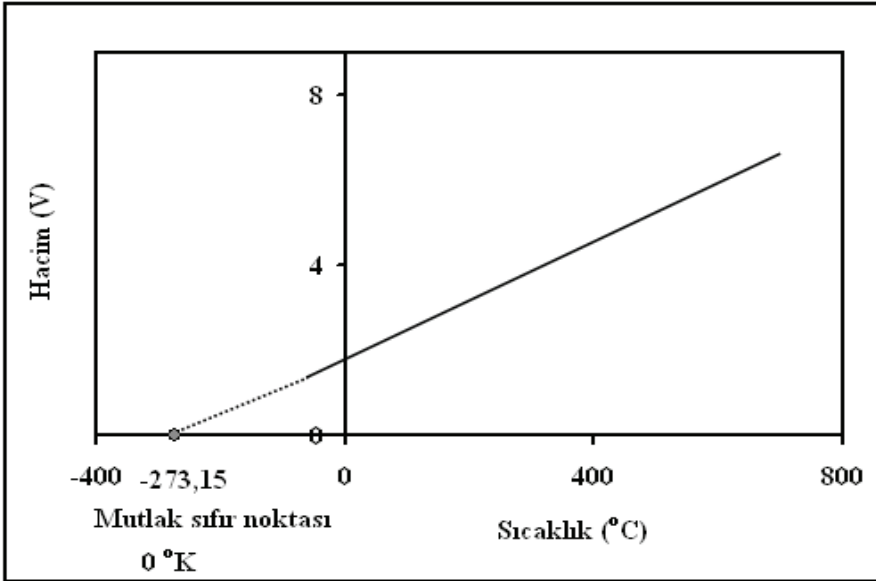
Gazların hacmi m^3 birimi veya bu birimin ast ve üst katları ile ifade edilir. Kimyada en çok kullanılan birimler m^3 , dm^3 (litre: L) ve cm^3 'tür.

Çoğu kez cm^3 yerine mililitre (ml) kullanılmaktadır. Laboratuarlarda, gaz hacimleri belirli şartlarda büretleri ile ölçülür.

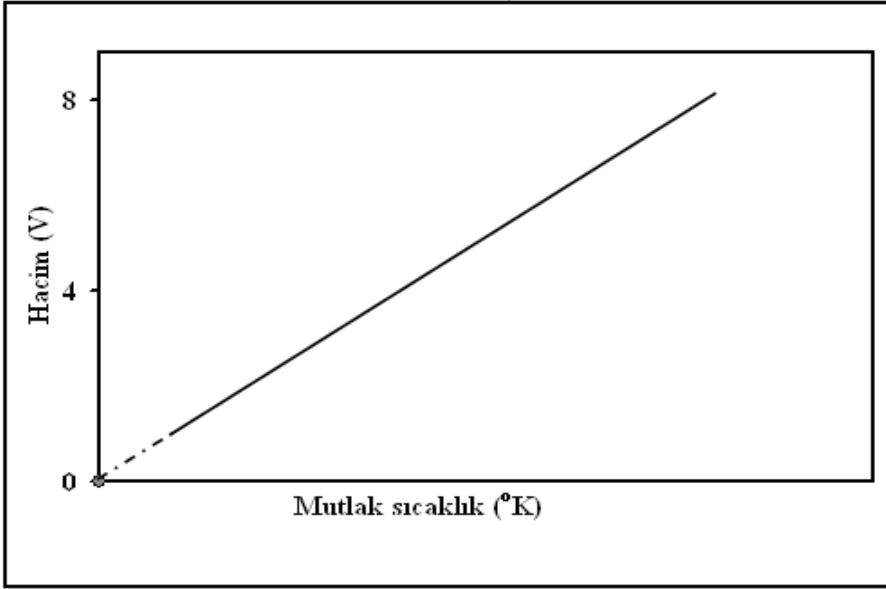
1.2. Sıcaklık

Gazlarda sıcaklık kavramı çok önemlidir. Çünkü gazların hacmi ve basıncı sıcaklıktan çok etkilenir. Celsius ısınma ve soğuma sırasında hacmi önemli ölçüde değişen, düzgün genleşen ve yoğunluğu yüksek olan cıvayı kullanarak ilk termometreyi icat etmiştir. Bir atmosfer basınç altında, suyun donma noktasındaki cıva yüzeyini sıfır, kaynama noktasındaki cıva yüzeyini ise yüz olarak işaretleyen Celsius, aradaki uzunluğu 100 eşit parçaya bölerek her bir parçayı 1°C (Celsius derece veya santigrad derece) olarak kabul etmiştir.

Aynı koşullarda suyun donma ve kaynama noktasını 32 ve 212 olarak işaretleyen, aradaki mesafeyi 180 eşit parçaya bölen ve her bir parçayı 1°F olarak tanımlayan Fahrenheit ise, ikinci bir termometre yapmıştır. Yine aynı şekilde suyun donma ve kaynama noktasını 0 ve 80 olarak işaretleyip aradaki mesafeyi 80 eşit parçaya bölen ve her bir parçayı 1°Re olarak tanımlayan Réaumur bir başka termometre yapmıştır. SI birim sisteminde sıcaklık birimi Kelvin¹ (K)'dir ve 0°K , herhangi bir gazın hacminin teorik olarak sıfır olduğu sıcaklık olan $-273,15^\circ\text{C}$ 'dir (Şekil Şekil 2.1.). Bu sıcaklık 0°K veya **mutlak sıfır noktası** olarak adlandırılır.



Şekil 2.1. Basıncı ve mol sayısı sabit tutulan ideal bir gazın hacmi (V) ve sıcaklığı (oC) arasındaki grafik.



Şekil 2.2. Basıncı ve mol sayısı sabit tutulan ideal bir gazın hacmi (V) ve mutlak sıcaklığı ($^{\circ}K$) arasındaki grafik.

1 $^{\circ}K$ ayrıca suyun üçlü noktasının sıcaklığının $1/273,15$ 'sı olarak da tanımlanır. Kolaylık olsun diye $^{\circ}C$ birimi t , $^{\circ}K$ birimi de T ile gösterilecektir. Bu farklı sıcaklık birimleri arasındaki bağıntılar aşağıdaki gibidir.

$$^{\circ}C = (1/1,8) \cdot (^{\circ}F - 32)$$

$$^{\circ}F = 1,8 ^{\circ}C + 32$$

$$^{\circ}C = (5/9) ^{\circ}R$$

$$^{\circ}K = ^{\circ}C + 273,15$$

¹**William T. Kelvin:** 1824 – 1907 yıllarında yaşamış bir İngiliz bilim adamıdır. Telsiz ve termodinamik konularındaki çalışmaları yapmıştır.

1.3. Basınç

Kapalı bir kaptaki bulunan bir gazın tanecikleri birbirlerine ve içinde bulundukları kabın çeperlerine çarparak kabın iç çeperlerine bir kuvvet uygularlar. Bir gazın taneciklerinin oluşturduğu toplam kuvveti ölçmek oldukça zordur. Bu toplam kuvvet yerine ortalama gaz basıncından bahsetmek daha kolaydır. Basınç “*birim alana uygulanan kuvvet*” olarak tanımlanır ve **P** ile simgelenir.

$$P = \frac{F}{S}$$

Uluslararası birim (SI) sisteminde kuvvetin (F) birimi Newton (N) ve alan (S) birimi metrekare (m²)’dir. Birim yüzeydeki kuvvetin (basıncın) birimi ise, N / m²’dir ve Pascal (Pa) adını alır.

1.4. Sıvıların Basıncı

Gazların basıncı, sıvı basıncıyla kıyaslanarak dolaylı yoldan ölçüldüğünden dolayı sıvıların basıncının nasıl bulunacağı önemlidir. Sıvıların basıncı, sıvıların yüksekliğine ve yoğunluğuna bağlıdır.

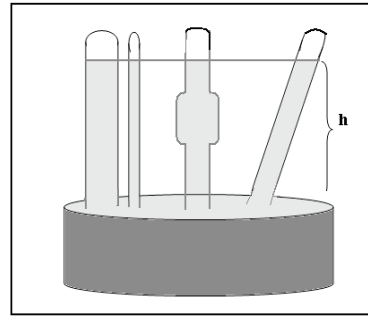
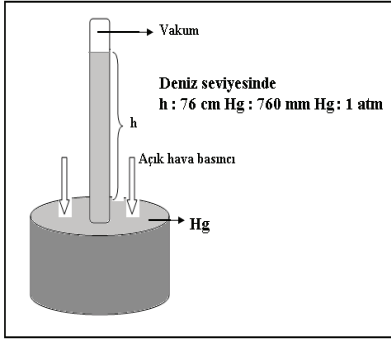
$$P_s = h_s \cdot d_s$$



Yukarıdaki şekilde kesitleri farklı olan her iki tüpte de Hg bulunduğu düşünüldüğünde tüplerin tavanına yapılan basınçlar cıva seviyeleri eşit olduğundan dolayı eşit olur.

1.5. Açık Hava Basıncı

Açık hava basıncı veya atmosfer basıncı, dünyayı saran hava tabakasının dünyaya uyguladığı basınçtır. Evangelista Torricelli¹ 1643 yılında oluşturduğu bir düzenele (ilk barometre) atmosfer basıncının ölçülebilmesini sağlamıştır. Açık hava basıncını ölçen aletlere barometre denir. Şekil X’de Torricelli’nin kullandığı barometre düzeneği görülmektedir. Torricelli ağzı açık bir kaba cıva doldurarak içine cıva doldurulmuş bir ucu kapalı uzun bir cam borunun açık ucunu kabın içine daldırılmıştır. Borunun içindeki cıva seviyesi bir süre düşmüş daha sonra belirli bir seviyede sabitlenmiştir. Torricelli bu deneyi ile borudaki cıva seviyesinin kaptaki cıva seviyesinin çok daha yukarısında (h kadar) kalmasından, “atmosfer basıncının” sorumlu olduğunu ispatlamıştır. Burada oluşan h yükseklik farkı kullanılan borunun çapına ve şekline bağlı olmayıp (Şekil X) barometrede kullanılan sıvının yoğunluğuna, sıcaklığına ve dış basınca bağlıdır.



Şekil 1.5.1. İlk defa Torricelli tarafından kullanılan bir barometre.

Şekil 1.5.2. Cıva seviyesinin borunun boyutu ve şekline bağlı olmadığını gösteren barometre.

1 Atmosfer = 760 mmHg = 76 cmHg (0°C’da); 1 Torr = 1 mm.Hg = 1/760 atm = 133,3224 Pa

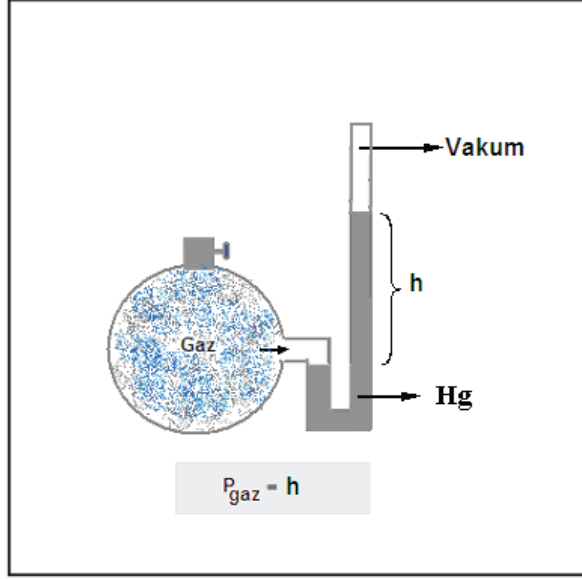
$P = h \cdot d \cdot g$ olduğuna göre

(Hg için $d = 13590 \text{ Kg.m}^{-3}$, $h = 0,76 \text{ m}$ ve yer çekimi ivmesi $g = 9,807 \text{ m.s}^{-2}$) değerlerini kullanarak, bir atmosfer basıncının karşılığını SI biriminden hesaplayalım.

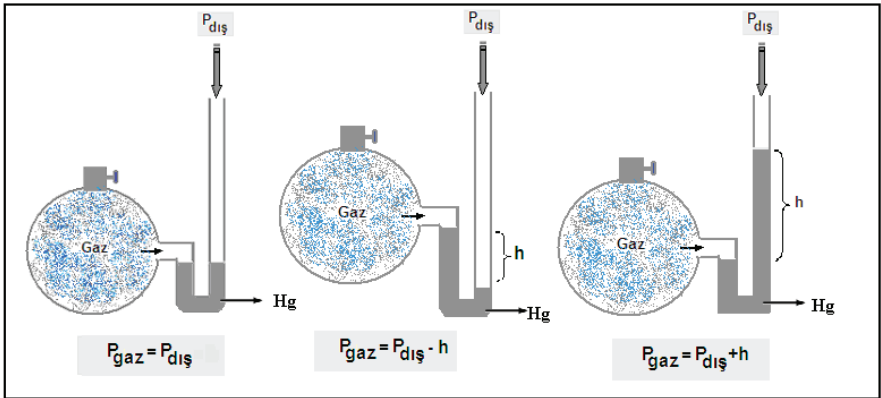
1 atm : $(0,76 \text{ m}) \cdot (13590 \text{ Kg.m}^{-3}) \cdot (9.807 \text{ m.s}^{-2}) : 101325 \text{ N.m}^{-2} : 101325 \text{ Pascal}$

1.6. Gaz Basıncı

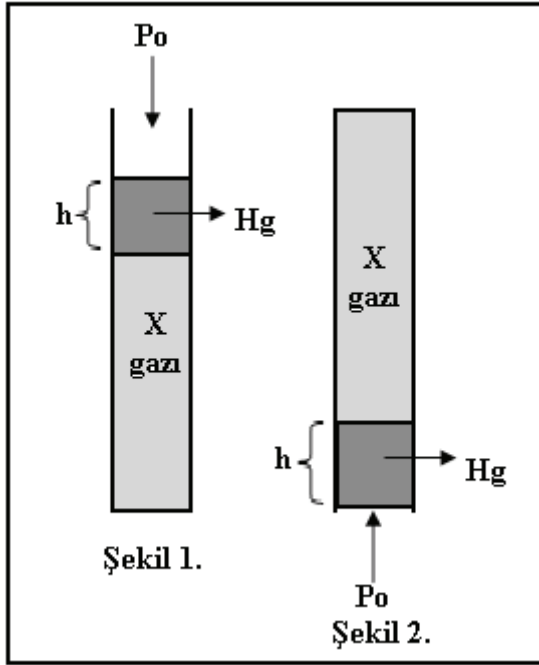
Kapalı bir kaptaki gaz taneciklerinin kabın çeperlerine çarpması sonucu basınç oluşur. Dolayısıyla birim zamanda birim yüzeye çarpan gaz taneciklerinin oluşturduğu ortalama basınca gaz basıncı denir. Gaz basıncını ölçen aletlere manometre adı verilir. Manometreler açık uçlu manometreler ve kapalı uçlu manometreler olmak üzere 2'ye ayrılır. Açık uçlu manometrelerde gaz basıncı ölçülürken atmosfer basıncı dikkate alınır. Aşağıdaki şekillerde açık uçlu ve kapalı uçlu manometreler gösterilmiştir.



Şekil 1.6.1. Kapalı uçlu bir manometre



Şekil 1.6.2. Açık uçlu manometreler

Örnek Soru:

7V hacimli Şekil 1’deki tüp aynı ortamda Şekil 2’deki gibi ters çevrilince hacmi 8V oluyor, h : 5 cm olduğuna göre P_o ’ı hesaplayınız.

2. GAZ KANUNLARI**2.1. Basınç - Hacim İlişkisi (Boyle Yasası)**

Belirli miktardaki (mol sayısı sabit) ideal bir gazın sıcaklığı sabit tutulduğunda basıncı, hacmi ile ters orantılı olarak değişir.

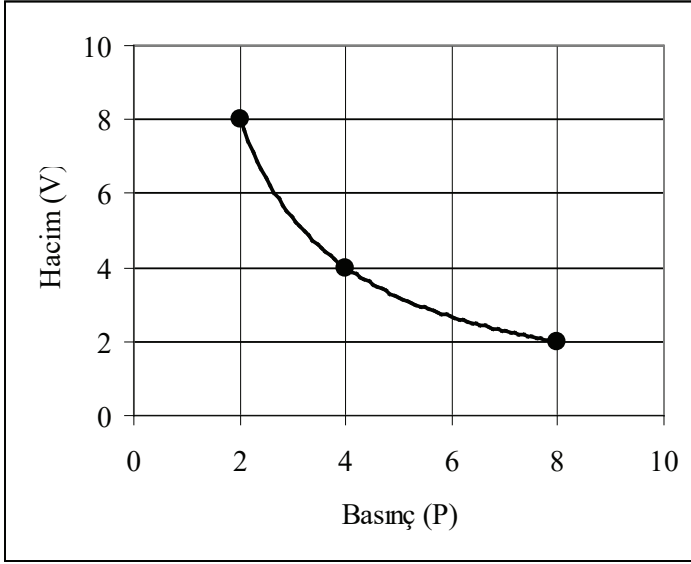
$$P \propto 1/V \text{ (n: sabit; T : sabit)}$$

Buradan ideal davranan ve **mol sayıları eşit** olan tüm gazların, sabit sıcaklıktaki **hacimleri** ile **basınçları çarpımının** daima birbirine **eşit** ve **sabit** olduğunu söyleyebiliriz (Şekil X.). Dolayısıyla bu yasa matematiksel olarak,

$P \cdot V$: sabit olarak ifade edilebilir

Bir gazın iki durumu için ise formül;

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \text{ şeklinde ifade edilir.}$$



Şekil 2.1.1. Sabit sıcaklıkta belirli miktardaki ideal gazın basınç – hacim grafiği.

2.2. Hacim – Mutlak Sıcaklık İlişkisi (Charles Yasası)

Gazlar sabit basınçta ısıtıldığında hacimleri büyür. DeneySEL veriler sabit basınçta miktarı sabit bir gazın sıcaklığının 1 °C artırılmasıyla hacminin 1/273 kat arttığını göstermiştir. Örneğin 0 °C'deki 273 ml'lik bir gaz örneğinin sıcaklığı 1 °C artırıldığında hacmi 1/273 kat yani 1 ml artarak 274 ml olur. Gazın 0 °C'deki hacmi V_0 son son hacmi V olarak ifade edilirse

$$V = V_0 + \left(\frac{V_0}{273}\right) \cdot t \text{ olur. Buradan}$$

$$V = V_0 \cdot \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$

$$V = V_0 \left(\frac{273 + t}{273}\right); \quad 273 + t = T \text{ olduğundan}$$

$V = V_0 \left(\frac{T}{273}\right)$ denklemi elde edilir. Sabit basınç altında V_0 ve $V_0/273$ değerleri sabit olduğundan bağıntı $V = k \cdot T$ olur.

Dolayısıyla **Charles Yasası** “*sabit basınçta belirli miktardaki (n: sabit) ideal bir gazın hacmi (V) ile mutlak sıcaklığı (T) doğru orantılıdır*” şeklinde ifade edilebilir.

$$V \propto T \text{ (P ve n sabit)}$$

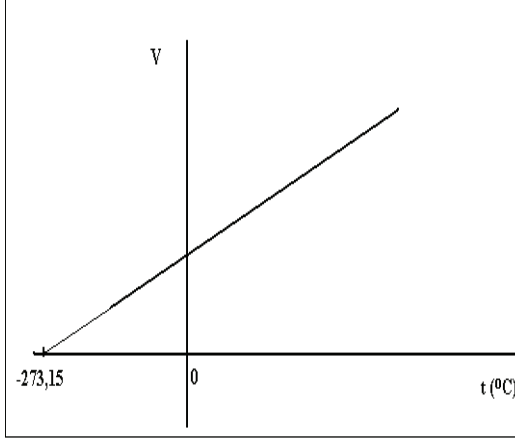
Charles Yasasına göre ideal olarak davranan ve mol sayıları eşit olan tüm gazların sabit basınç altında sıcaklık değişimi ile hacimlerinin eşit oranda arttığı ya da azaldığı söylenebilir. **Charles Yasası** matematiksel olarak,

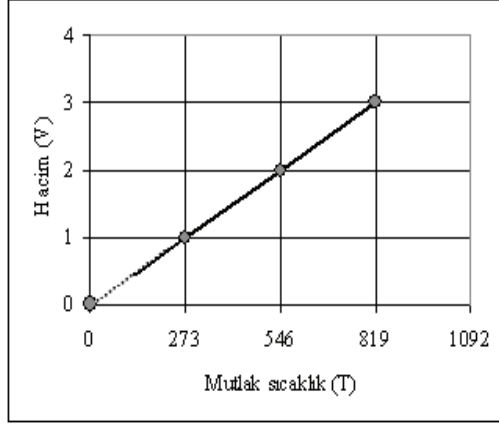
$$\frac{V}{T} = \text{Sabit (P ve n sabit)}$$

veya

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ eşitliği ile ifade edilebilir.}$$

Sabit basınç altındaki bir gaz örneğinin hacmi mutlak sıcaklığına karşı grafik edilirse bir doğru elde edilir. Hacim mutlak sıcaklıkla doğru orantılı olduğundan mutlak sıcaklık sıfır olduğunda gaz hacmi de teorik olarak sıfır olur. Mutlak sıfır noktasında (-273,15 °C) hiçbir madde gaz halinde olmadığından bu durum ancak teorik olarak düşünülebilir.





Şekil 2.2.1. Sabit basınçta belirli miktardaki ideal bir gaz için sıcaklık hacim grafikleri (Charles yasası).

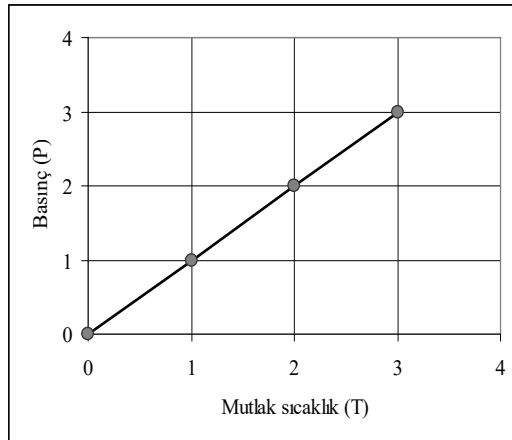
2.3. Basınç-Mutlak Sıcaklık İlişkisi (Amontons Yasası)

Sabit hacimli bir kapta bulunan belirli miktardaki ideal bir gazın (n: sabit) basıncı sıcaklık arttıkça artar ve gazın basıncı (P) mutlak sıcaklıkla (T) doğru orantılı olarak artar.

$$P \propto T$$

$P = k \cdot T$; k incelenen gazın miktarına ve hacmine bağlıdır.

Amontons yasası ayrıca gazın iki hali için $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ şeklinde ifade edilebilir.

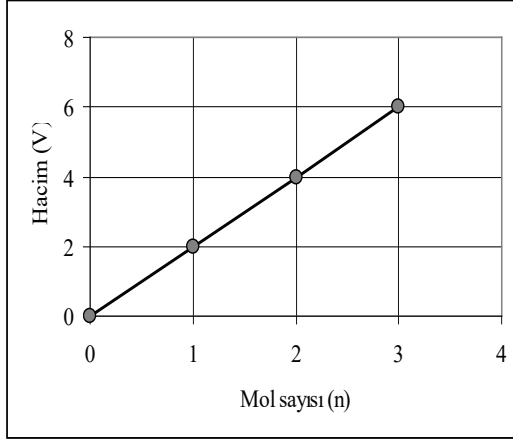


Şekil 2.3.1. Hacmi sabit tutulan belirli miktardaki ideal bir gaz için basınç-mutlak sıcaklık grafiği (Amontons yasası).

2.4. Avagadro Yasası

Aynı şartlarda (aynı sıcaklık ve basınç) gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda mol veya molekül bulunur. Diğer bir deyişle hangi gazlar olursa olsun aynı şartlarda hacimleri eşit ise mol sayıları da eşit veya mol sayıları eşit ise hacimleri de eşittir.

$$n \propto V \text{ (P ve T sabit)}$$



Şekil 2.4.1. Sıcaklık ve basıncı sabit tutulan ideal bir gaz için mol sayısı-hacim grafiği (Avagadro yasası).

2.5. İdeal Gaz Yasası

İdeal olarak davranan gazların **hacmi (V)**, **basıncı (P)**, **mutlak sıcaklığı (T)** ve **molü (n)** arasında herhangi ikisi sabit tutulduğunda, diğer ikisi arasındaki bağıntılar daha önceden Boyle, Charles, Amontons ve Avagadro yasaları şeklinde verilmişti. İdeal gaz yasası ise bize bu değişkenlerin **tümü birden değiştiğinde** kullanılması gereken matematiksel bağıntıyı verir. **İdeal gaz denklemi** adı verilen bu bağıntı ideal gazlara ait dört değişkenin (P, V, n, T) birlikte yer aldığı çok özel bir denklemdir. Bir başka deyişle bu denklem, Boyle, Charles, Amontons ve Avagadro yasaları ile elde edilen bağıntıların toplamıdır.

$$V \propto 1/P \text{ (n ve T sabit) Boyle Yasası}$$

$$V \propto T \text{ (n ve V sabit) Charles Yasası}$$

$$V \propto n \text{ (n ve T sabit) Avagadro Yasası}$$

Buradan $V \propto n.T.1/P$; R ile simgelenen ve “evrensel gaz sabiti” olarak adlandırılan bir **orantı katsayısı** kullanılarak,

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Denklemleri elde edilir. Bu denklemlere **ideal gaz denklemleri** adı verilir.

Bu denklemlerde; **P** = Basıncıdır ve birimi atmosferdir (atm)

V = Hacimdir birimi litredir (L)

n = mol sayısı

T = Mutlak sıcaklık veya °K

R = Evrensel gaz sabiti veya genel gaz sabitidir (L.atm/ mol. °K)

R sabitinin değeri 1 mol gaz için normal şartlar dikkate alınarak;

$$R = \frac{P \cdot V}{n \cdot T} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 22,43 \text{ L}}{1 \text{ mol} \cdot 273,15 \text{ °K}} = 0,082062 \text{ L.atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Ayrıca $n = \frac{m}{M_A}$ ve $d = \frac{m}{V}$ eşitlikleri ideal gaz denkleminde kullanılarak;

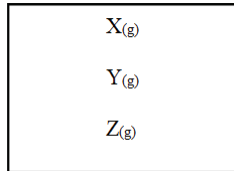
Burada m = Verilen kütle, M_A = Mol kütlesi, d = yoğunluk ve V = Hacim olmak üzere;

$$P \cdot V = \frac{m}{M_A} \cdot R \cdot T \quad \text{ve} \quad P \cdot M_A = \frac{m}{V} \cdot R \cdot T \quad \text{veya} \quad P \cdot M_A = d \cdot R \cdot T$$

denklemleri de elde edilebilir

2.6. Gazların Kısmi Basıncı

Herhangi bir gaz karışımında bulunan gazların her birinin kaba uyguladığı basıncı o gazın kısmi basıncı denir. Örneğin X, Y ve Z gazlarından oluşan bir karışım V hacimli bir kaptaki T sıcaklığında olsun.



X'in kısmi basıncı P_X , Y'in kısmi basıncı P_Y , Z'in kısmi basıncı P_Z , toplam basınç P_T ve toplam mol sayısında n_T olsun. Gazların sıcaklık ve hacimleri eşit olduğuna göre her birinin kısmi basıncı kendi mol sayısı ile doğru orantılı olur. Dolayısıyla;

$$P_X \propto n_X$$

$$P_Y \propto n_Y$$

$$P_Z \propto n_Z$$

$$P_T \propto n_T \text{ olacaktır.}$$

Buradan, $n_X \rightarrow P_X$ 'i yaparsa

n_T 'de P_T 'yi yapar sonucu çıkar. Oran orantıdan faydalanılarak

$$P_X = \frac{n_X}{n_T} \cdot P_T$$

denklemleri elde edilir. Benzer denklemler Y ve Z gazları içinde aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$P_Y = \frac{n_Y}{n_T} \cdot P_T$$

$$P_Z = \frac{n_Z}{n_T} \cdot P_T$$

$\frac{n_X}{n_T}$ oranı X'in, $\frac{n_Y}{n_T}$ oranı Y'nin ve $\frac{n_Z}{n_T}$ oranı da Z'nin mol kesri

olduğuna göre aynı denklemler aşağıdaki gibide yazılabilir.

$$P_X = X_X \cdot P_T$$

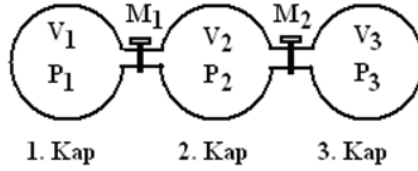
$$P_Y = X_Y \cdot P_T$$

$$P_Z = X_Z \cdot P_T$$

Örnek: 5 litrelik bir kaptaki belirli bir sıcaklıkta 11 g CO_2 , 2 g He ve 2,8 g N_2 gazları karışımı bulunmaktadır. Kaptaki toplam basınç 950 mmHg olduğuna göre kaptaki bulunan her bir gazın kısmi basıncını mmHg olarak bulunuz. (C: 12 g/mol, O: 16 g/mol, He: 4 g/mol, N: 14 g/mol)

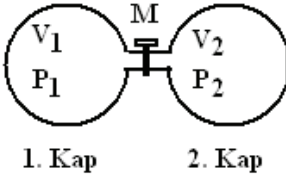
2.7. Birleşik Gaz Kapları (Sabit Sıcaklıkta Gazların Karıştırılması)

Sıcaklıkları eşit olan aşağıdaki gaz kaplarından 1. kabın hacmi V_1 , basıncı P_1 ; 2. kabın hacmi V_2 , basıncı P_2 ; ve 3. kabın hacmi V_3 , basıncı da P_3 olsun. Sabit sıcaklıkta kaplar arasındaki M_1 ve M_2 muslukları açıldığında ortalama basınç (P_{ort}) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.



$$P_1 \cdot V_1 + P_2 \cdot V_2 + P_3 \cdot V_3 = P_{ort} \cdot V_T$$

Örnek:



Yandaki birleşik gaz kabında $V_1 = 2$ L, $P_1 = 300$ mmHg, $V_2 = 4$ L'dir. Kaplar arasındaki musluk açıldığında ortalama basınç 150 mmHg olduğuna göre P_2 kaç mmHg'dir?

2.8. Kinetik Teori

1. Gaz tanecikleri bulundukları kaplarda birbirlerinden oldukça uzaklıkta bulunurlar. Dolayısıyla gaz moleküllerinin hacmi gazın toplam hacmi yanında ihmal edilebilir.

2. Gaz tanecikleri sürekli hareket halindedirler ve dolayısıyla birbirleri ile sık sık çarpışırlar. Bu çarpışmalar elastikidir ve çarpışma esnasında bir tanecikten diğerine enerji aktarımı olabilir, fakat taneciklerin toplam enerjisi sabittir.

3. Gaz tanecikleri kap içinde üç boyutlu olarak hareket ederler.

4. İdeal gaz özelliği taşıyan gazlarda tanecikler arasında itme ve çekme kuvvetleri ihmal edilebilir.

5. Gaz tanecikleri kabın çeperlerine çarparak bir kuvvet uygularlar. Buna gaz basıncı denir. Gaz tanecikleri kabın her tarafına homojen olarak dağılırlar. Dolayısıyla kabın 1 cm²'lik yüzeyine ortalama olarak aynı sayıda tanecik çarpar ve ortalama olarak aynı basınç uygulanır.

2.9. Gazların Difüzyonu (Graham Kanunu)

Gazların çok yoğun ortamdaki az yoğun ortama doğru yayılmasına *difüzyon* denir. Bir balondaki gazın balonu porlarından sızarak çıkmasına ise *efüzyon* adı verilir. Aynı sıcaklıkta bulunan iki gazın kinetik enerjisi eşittir. Bundan faydalanılarak gazların difüzyon hızları karşılaştırılabilir. Elimizde sıcaklıkları ve dolayısıyla kinetik enerjileri aynı olan 2 gazın olduğunu düşürsek. 1. gazın molekül kütlesi M_1 ve kinetik enerjisi Ek_1 , 2. gazın molekül kütlesi M_2 ve kinetik enerjisi ise Ek_2 olsun. Sıcaklıklar eşit olduğundan

$Ek_1 = Ek_2$ yazılabilir. Buradan

$\frac{1}{2} M_1 \cdot V_1^2 = \frac{1}{2} M_2 \cdot V_2^2$ yazılır ve buradan gerekli düzenlemeler yapıldığında;

$$\frac{g_1}{g_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \text{ formülü elde edilir.}$$

Aynı şartlarda gazların yoğunlukları molekül kütlesiyle doğru orantılı olduğundan ($d \propto M$) formül

$$\frac{g_1}{g_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} \text{ şeklinde düzenlenebilir.}$$

Dolayısıyla Graham Kanunu “*aynı şartlarda bulunan gazların yayılma hızları molekül kütleleri veya yoğunluklarının karekökü ile ters orantılıdır*” şeklinde ifade edilir.

2.10. İdealden Sapmalar ve Gerçek Gazların Hal Denklemi

Gaz kanunlarını anlatırken gazların ideal olduğunu varsaymış ve gaz kanunlarını birleştirerek ideal gaz denklemini ($P \cdot V = n \cdot R \cdot T$) elde etmiş-tik. Hâlbuki tabiatta gerçek manada ideal olarak davranan gazlar mevcut değildir. Dolayısıyla ideal gazlar için elde edilen ideal gaz denkleminin gerçek gazlara uygulanabilmesi için bazı uyarlamaların yapılması gerekir.

Bu uyarlamaları ilk kez 1879 yılında Van Der Walls yapmıştır. Bu uyarlamaların birisi “*hacim düzeltme faktörü*” diğeri ise “*basınç düzeltme faktörüdür*”.

2.11. Hacim Düzeltme Faktörü

Kinetik teoriye göre ideal gazların taneciklerinin hacmi toplam gaz hacmi yanında ihmal edilir. Gerçek gazlarda ise bu hacim ihmal edilmez. Dolayısıyla gerçek gazlarda gazın hacmi ideal gazın hacmi ile taneciklerin hacimlerinin toplamıdır. Bir mol gazın hacmi **b** ile gösterilirse n mol gaz için bu değer **n.b** olur. Bu hacme “*bastırılmayan hacim*” veya “*hacim düzeltme faktörü*” denir. Bu durumda bir mol ideal gazın hacmi bir mol gerçek gazın hacminden **n.b** kadar düşük olur. ($V_{ideal} = V_{gerçek} - n.b$).

2.12. Basınç Düzeltme Faktörü

Kinetik teoride ideal gazlarda tanecikler arasındaki etkileşimler ihmal edilir. Gerçek gazlarda ise bu etkileşimler ihmal edilmez. Dolayısıyla kabın çeperlerine çarpan her bir tanecik kaptaki diğer tanecikler tarafından çekilir. Bu durumda kaba yapılan basınç azalır. Azalan basınç (ΔP) kaptaki molekül sayısı ile doğru orantılıdır.

Dolayısıyla basınç azalması bir molekül için $\Delta P \propto N$; N molekül için ise $\Delta P \propto N^2$ olur. Gazların derişimi arttıkça tanecik sayısı da artacağından $\Delta P \propto N^2 \propto (n/V_{gerçek})^2$ olacaktır. Buradan gerekli işlemler yapıldığında

$$\ddot{A} = \frac{a.n^2}{V_{gerçek}^2} \text{ burada } \Delta P \text{ basınç düzeltme faktörüdür.}$$

$$P_{ideal} = P_{gerçek} + \Delta P$$

$$P_{ideal} = P_{gerçek} + \frac{a.n^2}{V_{gerçek}^2}$$

$$P_{ideal} \cdot V_{ideal} = n \cdot R \cdot T \text{ olduğuna göre}$$

$$(P_{gerçek} + \frac{a.n^2}{V_{gerçek}^2}) \cdot (V_{gerçek} - n \cdot b) = n \cdot R \cdot T \text{ denklemi elde edilir.}$$

Burada **a** ve **b** sabitleri Van Der Walls sabitleri olup gazın cinsine bağlıdır. Bazı gerçek gazların Van Der Walls sabitleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.12.1. Bazı gerçek gazların Van Der Walls sabitleri.

Gaz	a (L ² .atm.mol ⁻²)	b (L.mol ⁻¹)
He	0,034	0,0171
CO ₂	3,610	0,0426
O ₂	1,360	0,0318
CH ₄	2,250	0,0428

2.13. Gazların Sıvılaştırılması (Kritik Sıcaklık Ve Basınç)

Gazlar sıkıştırılıp aynı zamanda soğutulursa kinetik enerjileri azalır. Moleküller arası çekim kuvvetleri etkinleşmeye başlar. Dolayısıyla gaz sıvılaşma sürecine girer. Bir gazın sıvılaşabileceği sıcaklığa **Kritik Sıcaklık** denir. Kritik sıcaklığa kadar soğutulmayan bir gazın basıncı ne olursa olsun sıvılaşması mümkün değildir. Ayrıca her bir gazın sıvılaşması için gaza belirli bir basıncın uygulanması gerekir. Bu basınca **Kritik Basınç** denir. Bir gaza kritik basınç kadar basınç uygulanmadığında sıcaklığı ne olursa olsun sıvılaşması mümkün değildir. Örneğin Helyum gazının kritik sıcaklığı -215oC, kritik basıncı ise 2,26 atm'dir. Kritik değerler gazın miktarına değil cinsine bağlıdır. Dolayısıyla bu değerler aynı zamanda ayırt edici özelliklerdir. Kritik noktada, **Sıvı Gaz** dengesi vardır. P_K kritik basıncı, T_K kritik sıcaklığı, V_K kritik hacmi, d_K kritik yoğunluğu, S_K gazın cinsine bağlı sıkışma faktörünü, M_A 'da molekül kütlesini simgelerse;

$$d_K = \frac{M_A}{V_K} \text{ ve } S_K = \frac{P_K \cdot V_K}{R \cdot T_K} \text{ formülleri yazılabilir.}$$

KAYNAKLAR

1. Petrucci, R.H., Harwood, W.S., (1994), Genel Kimya, Prensipler ve Modern Uygulamalar (Çeviri Editörü: Tahsin Uyar), Ankara, Palme Yayıncılık, Altıncı Baskı.
2. Chang, R., Goldsby, K.A., (2014), Genel Kimya, (Çeviri Editörleri: Recai İnam ve Serpil Aksoy), Ankara, Palme Yayıncılık, On birinci baskıdan Çeviri.
3. Apaydın, S., Şimşek, A., (2014), Genel Kimya, Konya, Eğitim Yayınevi, Sekizinci Baskı.
4. Mcmurry, J.E., Fay, R.C., (2020), Kimya, (Çeviri Editörü: Cavit Uyanık), İstanbul, Umut Matbacılık San. Tic. Ltd. Şti., Yedinci baskıdan Çeviri.
5. Tro, N.J., (2016), Genel Kimya, Moleküler Bir Yaklaşımla Kimyanın İlkeleri, (Çeviri Editörleri: Ekrem Köksal ve Adil Denizli), Ankara, Nobel Akademik yayıncılık Eğitim danışmanlık Tic. Ltd. Şti. Üçüncü basımdan Çeviri.
6. Atkins, P., Jones, L., (2013), Genel Kimya, İlkeler ve İç Yüzünü Kavrama (Çeviri Editörü: Ali Rehber Türker), Ankara, Palme Yayıncılık, Beşinci baskıdan Çeviri.
7. Sienko, M.J., Plane, R.A., (1983), Temel Kimya, (Çevirenler: Necla Gündüz, Turgut Gündüz, Celal Tüzün, Emsal Bulat, Saadet Üneri, Ayhan Zeren, Selmin Özgüner), Ankara, Savaş Yayınları, Dördüncü Baskı.
8. Aras K.A., Tunalı, K.A., (1987), Kimya, Temel Kavramlar, Ankara, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş. Beşinci Baskı.
9. Soydan, B., Saraç, A.S., (2004), Genel Üniversite Kimyası ve Modern Uygulamaları, İstanbul, Alfa Basım Yayım Dağıtım İnş. Tur. San. ve Dış Tic. Ltd. Şti. Yedinci Baskı.

Bölüm 2

CYPRINUS CARPIO GONAT DOKUSU YAĞ ASİDİ İÇERİĞİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ

Semra KAÇAR¹

Mehmet BAŞHAN²

1 Mardin Artuklu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Mardin

2 Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Diyarbakır

Dipnot: Bu çalışma Semra KAÇAR'ın doktora tezinin bir kısmını içermektedir.

Tez Adı: Atatürk Baraj gölündeki bazı tatlısu balıklarının total lipit ve yağ asitlerinin mevsimsel değişimi. 2010. Doktora Tezi/ 276 s. Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet BAŞHAN, Tez No:300022

GİRİŞ

Cyprinus carpio, dünyada hemen hemen her yerde bulunan hızlı büyüyen ve üreme yeteneği iyi olan, eti lezzetli tatlısı balıktır. Sazan balığı göllerde, kanallarda ve sakin akan sularda yaşar. Hayvansal ve bitkisel besinlerle beslenir. 3-30 °C sıcaklıkta yaşarlar. Kışın toplu olarak kendilerini çamura gömerler ve kış uykusuna yatarlar. Nisan-haziran ayları arasında yumurtlarlar (Geldiay ve Balık 1996).

Kimyasal yapısı itibariyle, balık eti mükemmel bir gıdadır. Esansiyel amino asitlerini dengeli bir şekilde bulundurması, vitamin ve mineral bakımından zengin olması, kolesterol içeriğinin düşük olması, balık etinin önemini artırmaktadır. Bununla birlikte beslenme açısından balık etinin önemini artıran en önemli özellik; balık yağının yağ asidi içeriği özellikle de omega-3'ten kaynaklanmaktadır (Ackman ve Ratnayake 1989). Balık yağlarında bulunan omega-3 serisi yağ asitlerinin, kalp ve damar, depresyon, hipertansiyon, mafsal iltihabı ve kanser gibi bazı önemli rahatsızlıklarda faydalı olduğunun anlaşılmasından sonra balıkların yağ asitleri kompozisyonuna olan ilgi son yıllarda giderek artmıştır.

Balıklar, lipidleri yağ dokusunda depo eden memelilerin aksine, daha çok iskelet kası ve karaciğer dokusunda depo ederler (Neuhaus ve Halver 1969). Balıklarda depolanan bu lipidlerin bir kısmı hayvanın fizyolojik durumu ve çevre koşullarında meydana gelen değişimlere göre gereksinim duyulan kısımlara nakledilir (Johansson ve ark. 2000).

Balıkların yağ asidi bileşimindeki mevsimsel değişim; besin, sıcaklık gibi birçok faktörle ilgili olmasına rağmen en belirgin değişim üreme döneminde görülmektedir. Gamet oluşumu ve gelişimi için kullanılacak lipidin büyük kısmı üreme evresinden önce balık türüne göre kas, karaciğer ve karın gibi yerlerde depo edilmektedir (Kiessling ve ark. 1989).

Üreme, adaptasyon, büyüme ve gelişme gibi besleme ve balık biyolojisi ile ilgili konular üzerine çalışırken de balığın yağ asidi bileşimini bilmek oldukça önemlidir.

Bu çalışmada Atatürk Baraj Gölü'nden toplanan *C. carpio*'nun gonat dokusu total lipid, fosfolipit (PL) ve triaçilgliserol (TAG) yağ asitleri içeriğinin mevsimsel değişimlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Balık Örneklerinin Toplanması:

Bu çalışmada, *C. carpio*, balık türlerine ait örnekler, Atatürk Baraj Gölü'nden Mayıs 2008 ile Mart 2009 arasında her ayın ortalarında iki ayda bir olmak üzere bir yıllık sürede, göz aralıkları 18 x 18 mm, 25 x 25 mm, 32 x 32, 36 x 36, 40 x 40 mm ve 55 x 55 mm gözenekli fanyalı ağlar kul-

lanılarak yakalanmıştır. Örneklemeler; Bozova, Arıkök, Yashica, Bağpınar, Belören, Samsat ve Kahta yerleşim birimleri civarındaki Adıyaman avlak sahalarında yörede bulunan balıkçılar yardımıyla yapılmıştır.

Yakalanan balık örnekleri, aynı gün, içinde buz bulunan ısı yalıtımlı koruyucu kaplara konularak laboratuvara getirilmiştir. Balık örneklerinin karınları açılarak büyük çoğunluğunun eşeyleri makroskopik, küçük bireylerin eşeyleri ise stereoskopik binoküler mikroskop altında saptanmıştır. Yeterli miktarda gonat örnekleri alınmıştır. Alınan gonat örneklerinin yaş ağırlıkları saptandıktan sonra tüplere konularak analiz edilinceye kadar -80 °C'de kloroform-metanol (2:1v/v) karışımında muhafaza edilmiştir.

Lipit Ekstraksiyonu ve Yağ Asitlerinin Metil Esterlerine Dönüştürülmesi

Gonadlar; kloroform-metanol (2:1 v/v) karışımında yüksek devirli IKA marka homojenizatörde homojenize edilmiştir (Folch ve ark., 1957). Homojenat, Whatman No: 1 süzgeç kağıdı ile süzülmüştür. Aşırı doymamış yağ asitlerinin otooksidasyonunu önlemek için ekstraksiyon sistemine, kloroformda %2 oranında hazırlanan bütillenmiş hidroksitoluen (BHT) maddesinden 50 µl ilave edilmiştir. Sulu fazın ayrılması için, süzüntü, bir ayırma hunisine alınmıştır. Süzüntüye total hacminin 1/4 'i kadar % 0.88'lik KCl çözeltisi ilave edilerek iyice karıştırılmıştır. Berrak iki faz oluşuncaya kadar beklenmiştir. Faz ayırımından sonra alt tabakadaki kloroform fazı ikinci bir ayırma hunisine alınarak hacminin 1/4'i kadar metanol-su ile (1:1 v/v) yıkanmış ve faz ayırımı için tekrar bekletilmiştir. İkinci faz ayırımından sonra alttaki kloroform tabakası temiz bir erlen içine alınarak susuz sodyum sülfat ile muamele edilerek, kloroform içinde bulunan eser miktardaki su uzaklaştırılmıştır. Saf lipit bileşenlerinden oluşan kloroform fazı, darası alınmış bir tartı kabı içerisine Whatman No: 1 süzgeç kağıdı ile süzülmüştür. Tartı kabı içerisindeki ekstraktın çözücüsü, evaporatörde tamamen uçurulmuştur. Daha sonra hassas terazide tartılarak total lipit miktarı gr olarak bulunarak % lipit miktarı hesaplanmıştır. Örneklerdeki total lipitlerin fraksiyonlanmasında ince tabaka kromatografi tekniği kullanılmıştır. Bunun için 30 gr silikajel ile 50 ml saf su karıştırılarak hamur haline getirildikten sonra, 20 cm X 20 cm ebatındaki pleytlere ince bir tabaka halinde sürülüp etüvde 100 °C'de bir saat boyunca kurutulmuş, bu süre sonunda etüvden çıkarılan pleytler havada soğumaya bırakılmıştır. Örneklerin total lipit ekstraktları, pleytlerin üzerine tek sıra halinde spotlanmıştır. Total lipitler; petrol eteri-dietil eter-asetik asit (80:20:1) karışımında yürütülmüştür. Pleytler havada kurutulduktan sonra, 2'7' dikloroflorosein püskürtülerek, lipit fraksiyonları UV lambası altında görülür hale getirilmiştir. Standartlar yardımıyla saptanan fosfolipit ve triaçilgliserol fraksiyonuna ait bantlar kazılarak reaksiyon tüplerine aktarılmıştır. Her fraksiyona, ayrı ayrı 3 ml metanol ve 3-5 damla sülfürik asit damlatılarak 2 saat süreyle geri soğutucu altında 85 °C'de ısıtılmıştır. Böylece yağ asitlerinin,

yağ asidi metil esterlerine dönüşümü sağlanmıştır. Çözelti soğuduktan sonra, hekzan kullanılarak metil esterleri ekstrakte edilmiştir. Yağ asidi metil esterlerinin analizi için FID dedektörüne sahip gaz kromatografi aleti kullanılmıştır.

Gaz Kromatografi Koşulları

Metil esterlerine dönüştürülen yağ örneklerinin yağ asitleri analizleri HP 6890 model Gaz Kromatografisi (GC) cihazında, alev iyonizasyon dedektörü (FID) ve BPX 70 (70 % Cyanopropyl polysilphenylene-siloxane) kapiler kolon (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm film kalınlığı) kullanılarak yapılmıştır. Dedektör sıcaklığı: 280 °C; enjektör sıcaklığı: 270 °C; enjeksiyon: Split-model 1/20. Gaz akış hızları: Taşıyıcı gaz: 30 m'lik kolon için helyum 1.4 ml/dk; 60 m'lik kolon için 2.8 ml/dk (sabit akış modeli); hidrojen: 30 ml/ dk; hava: 300 ml/dk. Kolon (fırın) sıcaklığı: 130 °C'de, bekleme süresi, 1 dakika; 170 °C'ye 6.5 °C/dakika; 215 °C'ye 2.75 °C/dakika, bekleme süresi 12 dakika; 230 °C'ye 40 °C/dakika, bekleme süresi 3 dakika; toplam analiz süresi: 38.8 dakika. Örnek, alete 1 mikrolitre enjekte edilmiştir. Yağ asitlerinin teşhisinde, standart olarak yağ asitlerinin metil esterleri karışımı (Sigma-Aldrich Chemicals) kullanılmıştır. Yağ asitleri metil esterlerinin kromatogramları ve toplam yağ asitleri miktarları bilgisayarda HP 3365 Chem Station bilgisayar programı ile elde edilmiştir. Analiz edilen örneklerin kromatogramındaki pikler, standarttaki bütün yağ asitlerinin metil esterlerinin alı- konma zamanları ile karşılaştırılarak teşhis edilmiştir.

Verilerin değerlendirilmesi

Yağ asitleri yüzdelерinin karşılaştırılmasında SPSS 16 bilgisayar programı uygulanmıştır. Çalışmamızdan elde edilen bütün veriler üç tekrarın ortalamasından elde edilmiştir. Yağ asidi metil esterlerinin gaz kromatografik analizlerinde, her döneme ait üçer numune ayrı ayrı enjekte edilerek aynı yağ asidine ait üç değerin ortalaması alınmıştır. Yağ asidi yüzdelерinin karşılaştırılması, tek yönlü varyans analizi (Anova) ile yapılmıştır. Farklılıklar TUKEY HSD testi ile belirlenmiştir. Yapılan istatistikler sonucu, veriler $p < 0.05$ düzeyinde olduğu zaman farkların önemli olduğu kabul edilmiştir.

BULGULAR

***C. carpio* bireylerinin gonat total lipidindeki yağ asidi içeriği**

Atatürk Baraj Gölü'nden toplanan *C. carpio*'nun dişi ve erkek bireylerinde 16:0 ve Σ SFA miktarı üremeden sonraki dönem olan temmuz ayında artarken, dişilerde ocak, erkeklerde eylül ayında azalmıştır. Oleik asit ve Σ MUFA miktarı, her iki bireyde ocak ayında azalma göstermiştir. Arakidonik asit, 20:5n-3, 22:6n-3 ve bu bileşenlere bağlı olarak Σ PUFA oranı dişilerde, diğer aylara oranla daha soğuk olan kasım ve ocak aylarında,

erkeklerde eylül ve ocak aylarında artmıştır. Dişi balıklarda, mayıs ve temmuz aylarında en çok Σ SFA, kasım ve ocak aylarında Σ PUFA, gonatların gelişimi olan mart ayında ise en çok Σ MUFA; erkeklerde; mayıs ve temmuz aylarında en çok Σ SFA, eylül, ocak ve martta Σ PUFA, kasım ayında Σ MUFA bulunmuştur.

Her iki bireyde, su sıcaklığının arttığı dönemde en çok doymuş yağ asitleri, sıcaklığın azaldığı dönemlerde ise doymamış yağ asitlerinin arttığı görülmüştür. Her iki eşeyde palmitik asit ve Σ SFA yüzdesi temmuz ayında artmış; oleik asit ve dolayısıyla Σ MUFA oranı ocak ayında azalmış, aşırı doymamış yağ asitleri aynı dönemde artmış ve n-3/n-6 oranının üreme dönemi olan mayıs ayında artmıştır.

Bir yıl boyunca baskın bulunan yağ asitleri Σ SFA'ler içinde 16:0 (dişilerde % 21.99-30.31; erkeklerde % 15.61-29.27), Σ MUFA'ler içinde 18:1n-9 (dişilerde % 16.17-26.76; erkeklerde % 8.83-19.94), Σ PUFA'ler arasında 22:6n-3 (dişilerde % 10.35-24.26; erkeklerde % 5.82-23.27)'dür (Tablo 1-2).

C. carpio dişi bireylerinin gonat total lipidinde n-3/n-6 oranı, 1.96 (temmuz)-2.90 (mayıs); erkeklerinde 1.41 (kasım)-2.66 (mayıs) aralığında saptanmıştır.

Yılmaz ve ark. (1995), *Capoeta capoeta umbla*'nın dişi ve erkek bireylerinin üreme öncesi ve sonrasında gonatlarında başlıca 16:0, 18:1n-9, 18:2n-6, 20:0, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:6n-3 ve 24:1n-9 tespit etmişlerdir. Ceyhan Nehri'nden toplanan *Chondrostoma regium*'un gonat dokusunda, 16:0 ve 18:1n-9 en fazla bulunan yağ asitleridir (Kara ve Çelik 2000). Çek Cumhuriyeti'nden *C. carpio*'nun testisleri; 16:0, 18:1n-9, 20:5n-3 ve 22:6n-3; ovaryumları ise 16:0, 18:1n-9 ve 22:6n-3 bakımından zengindir (Kminkova ve ark. 2001). Doğal ve kültür Japon Kedi balığının ovaryum yağ asidi kompozisyonu ve lipid içeriğine yumurtlama ve mevsimin etkileri incelenmiştir. Balığın ovaryumunda 16:0, 18:1n-9 ve 22:6n-3 dominant yağ asitleri olarak bulunmuştur (Shirai ve Wada 2001). Bir deniz balığı olan *Diplodus sargus*'un ovaryum yağ asidi analizinde, 16:0, 16:1n-7, 18:0, 18:1n-9, 18:2n-6, 18:3n-3, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:5n-3, 22:6n-3 baskın olarak saptanmıştır (Cejas ve ark. 2003). *Salmo trutta labrax*'ın gonat dokusunda, 16:0, 18:1n-9, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:6n-3 yağ asitleri en fazla bulunmuştur (Aras ve ark. 2003a). *Sander lucioperca*'nın hem testis hem de ovaryumlarda doymuş yağ asitlerinden 16:0, MUFA'lerden 18:1n-9, PUFA'lerden 22:6n-3, 20:5n-3 ve 20:4n-6 asitler en çok bulunan yağ asitleridir (Uysal 2004).

Araştırmamızda çalıştığımız balık türünün ovaryum ve testislerinde, tüm dönemlerde yüzde olarak, SFA'leri içinde en çok 16:0, MUFA'leri arasında 18:1n-9 ve 16:1n-7, PUFA'leri arasında 22:6n-3, 20:4n-6 ve 20:5n-3 saptanmıştır. Bunlar arasında oran olarak en çok bulunan ilk üç bile-

şen; 16:0, 18:1n-9 ve 22:6n-3 asitlerdir. Bu veriler, diğer balıklardan elde edilenlere uygunluk göstermektedir (Yılmaz ve ark. 1995; Kara ve Çelik 2000; Kminkova ve ark. 2001; Shirai ve Wada 2001; Cejas ve ark. 2003; Aras ve ark. 2003a; Uysal 2004).

Yirmi karbonlu ve C22 PUFA'ler kaslardan ziyade balık gonatlarında özellikle testislerde birikirler. İncelediğimiz balıklarda, C20 PUFA'lerin kaslara oranla gonatlarda daha fazla biriktiği saptanmıştır. Arakidonik asitin gonatlarda fazla bulunmasının nedeni, bu bileşenin üremede aktif rol oynamasından kaynaklanabilir. Bu bileşenden sentezlenen PGE₂, ovaryum ve testiküler steroidogenezi uyarırlar (Kellner ve Van Der Kraak 1992, Wade ve Van Der Kraak 1993). Diğer çalışmalara göre (Mustafa ve Srivastava 1989, Sorbera ve ark. 1998), eikosanoidler, ovulasyon kontrolünde önemlidir.

S. lucioperca'da yumurtlamadan hemen önce gonatların olgun olduğu mart ayında testislerde 14:0, 15:0, 16:0, 18:1n-9 önemli derecede düşerken 16:1n-7, 18:2n-3, 18:3n-3, 20:1n-9, 20:5n-3, 22:2n-6, 24:1n-9 yağ asitleri de yükselmiştir. Ovaryumlarda ise 12:0, 16:0, 18:1n-9, 20:4n-6 düşüş gösterirken 14:1n-9, 16:1n-7, 18:2n-3, 18:3n-3, 20:1n-9, 20:2n-6 ve 24:1n-9 yükselmiştir. Burada dikkat çeken hem testis hem de ovaryumlarda, 18:3n-3 ve 18:2n-6'lerin gonatların olgun dönemi olan mart ayında önemli oranda artmış olmasıdır. Genel olarak her iki dokuda da mart ayında doymamış yağ asitleri kasım ayına göre artış gösterirken doymuş yağ asitleri de düşüş göstermiştir. Mart ayında çoklu doymamış yağ asitlerindeki artış dikkat çekmektedir (Uysal 2004). Doğal Japon Kedi balığı *Silurus asotus*'un yumurtlama mevsiminde ovaryumdaki 20:4n-6 yüzdesi, yumurtlama sonrasında daha düşük oranda bulunmuştur. Bu bileşen, yumurtlamayı sürdürmek için gereklidir. Eikosapentaenoik asit ve DHA içeriği, ovaryum olgunlaşmasıyla birlikte artmıştır (Shirai ve ark. 2001). Mogan Gölü'ndeki *C. carpio*'nun gonatlarında yapılan çalışmada, 20:3n-6, 20:5n-3, 22:5n-3, 22:6n-3 asitlerinin mart, nisan, mayıs aylarında, olgun testis ve ovaryumlarda daha yüksek yüzdelerde bulundukları saptanmıştır. Bu durumda, bu yağ asitlerinin balıkların üremesinde önemli rol oynadıkları sonucu ortaya çıkmaktadır (Akpınar 1985). Yılmaz ve ark. (1995), *C. c. umbla*'nın dişi ve erkek bireyinin üreme öncesi ve sonrasında gonatlarında yağ asidi analizini çalışmışlardır. Her iki eşeyin incelenen bütün dokularında, üreme sonrasında yağ asitleri miktarında özellikle dişilerde 20:4n-6, 20:5n-3 ve 22:6n-3 gibi aşırı doymamış yağ asitlerinde önemli derecede azalma olduğu görülmüştür. Bu durum aşırı doymamış yağ asitlerinin, gonatların gelişmesinde (Akpınar 1987a) ve yumurta yapımında kullanılmalarından kaynaklanmaktadır (Atchison 1975). Toplam doymuş yağ asitleri ise değişim göstermemiştir.

Araştırmamızda, saptanan tüm yağ asitleri içerisinde yüzde olarak yüksek miktarda bulunan doymuş yağ asitlerinden 16:0 ve tekli doymamış

yağ asitlerinden 18:1n-9, *C. carpio*, dişilerinde genellikle ocak ayı ile gonat gelişiminin olduğu mart ayında yüzde olarak azalma göstermiştir. Bu bulgu, anılan bileşenlerin gonat gelişimi esnasında enerji kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Palmitik asit ve 18:1n-9, dişi balıklarda yumurtaların oluşum safhasında temel metabolik enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Huynh 2007).

Çalışmamızda, *C. carpio*'nun dişilerinde Σ SFA, erkeklerinde Σ MUFA; üreme sonrası evre olan temmuz ayına oranla, üreme periyodunda (mayıs) azalma göstermiştir. İlgili bileşenlerin mayıs ayında azalması, gonat gelişimi ve gamet oluşumundaki fonksiyonlarından ileri gelebilir. *C. carpio* dişilerinde Σ SFA, erkek bireylerinde Σ MUFA oranı, üreme ayına (mayıs) oranla, gonatların olgunlaştığı ayda (mart) azalma göstermiştir. Bunun nedeni, ilgili bileşenlerin, enerji amacıyla kullanılmalarından kaynaklanabilir.

***C. carpio* bireylerinin gonat lipidindeki fosfolipit ve triaçilgliserol yağ asidi içeriği**

Atatürk Baraj Gölü'nden avlanan *C. carpio*'nun gonat PL fraksiyonunda mevsime bağlı olarak yağ asitlerinin değişimi eşeyler arasında farklılık göstermiştir. Total SFA oranı dişi bireylerde % 30.52-39.47; erkeklerde % 34.25-43.42; Σ MUFA oranı dişilerde % 18.32-24.74; erkeklerde % 14.87-19.10; Σ PUFA oranı dişilerde % 36.26-44.67; erkeklerde % 38.19-50.81 arasında bulunmuştur. Dişilerde Σ SFA oranı, gonat gelişiminin gerçekleştiği mart ayında azalma göstermiştir. Diğer aylarda değişim saptanmamıştır. Erkeklerde 16:0 ve buna bağlı olarak Σ SFA, üreme dönemi olan mayıs ve temmuz aylarında artmıştır. Oleik asit ve Σ MUFA oranı, dişilerde üreme sonrası dönem olan temmuz ve kasım aylarında, erkeklerde eylül ayında azalmıştır. Dişilerde ocak, mart ve mayıs dönemlerinde, erkeklerde de eylül ayı dışında diğer dönemlerde fazla değişim göstermemiştir. Arakidonik asit ve Σ PUFA oranı, her iki eşeyde üreme döneminde (mayıs) azalmış, üreme sonrasında (eylül) artmaya başlamıştır. Eikosapentaeoik asit, her iki eşeyde mart ayında artmıştır. Dokosaheksaeoik asit, erkeklerde aylar arasında çok fazla değişim göstermezken, dişilerde ise üreme sonrası dönem olan temmuz ayında azalmıştır. *C. carpio*'nun gonat PL fraksiyonunda n-3/n-6 oranı dişilerde 1.62 (temmuz)-3.55 (mayıs); erkeklerde 1.58 (eylül)-2.60 (mayıs) oranında saptanmıştır.

Her iki bireyde ortak olan, 18:1n-9 ve Σ MUFA'lerin üremeden sonraki dönemde, 20:4n-6 ve Σ PUFA'lerin üreme dönemi olan mayıs ayında azalması ve bu dönemden sonra artmaya başlaması, mayıs ayı dışında analizi yapılan tüm dönemlerde en çok Σ PUFA, daha sonra Σ SFA, en az ise Σ MUFA'lerin saptanmış olmasıdır. N-3/n-6 oranı, en fazla mayıs ayında tespit edilmiştir (Tablo 3-4).

C. carpio'nun gonat TAG fraksiyonunda, Σ SFA oranı dişi bireylerde % 34.36-47.06; erkeklerde % 34.20-38.25; Σ MUFA oranı dişilerde % 33.38-46.43; erkeklerde % 37.22-40.81; Σ PUFA oranı dişilerde % 18.96-26.94; erkeklerde % 23.29-26.01 aralığında bulunmuştur. Dişilerde 16:0 ve Σ SFA oranı, eylül ayında azalıp temmuz ayında artmıştır. Erkeklerde fazla değişim görülmemiştir. Oleik asit ve Σ MUFA oranı, dişilerde gonatların olgunlaştığı dönem olan mart ayında artmış fakat üremeden sonraki dönem olan temmuz ayında azalmıştır. Arakidonik asit, 20:5n-3, 22:6n-3 ve buna bağlı olarak Σ PUFA oranı, dişilerde üremeden sonraki dönem olan eylül ayında artmıştır. Total SFA, Σ MUFA ve Σ PUFA oranı erkek bireylerde farklılık göstermemiştir. Erkeklerde bu yağ asitleri de fazla değişmemiştir. Bu fraksiyonda ortak olarak dişilerde temmuz ayı dışında en çok Σ MUFA, en az Σ PUFA saptanmıştır. *C. carpio*'nun gonat TAG fraksiyonunda n-3/n-6 dişilerde 1.23 (kasım)-2.14 (eylül); erkeklerde de 1.07 (temmuz)-1.73 (mart) aralığında bulunmuştur.

Her iki fraksiyondaki farklılıklar ise, çoktan aza sıralama PL fraksiyonunda mayıs ayı hariç, Σ PUFA, Σ SFA ve Σ MUFA olarak sıralanırken, TAG'de dişilerde temmuz ayında en çok Σ SFA, diğer aylarda Σ MUFA daha baskın; erkeklerde tüm aylarda en çok Σ MUFA bulunmuştur. Bu fraksiyonda en az Σ PUFA saptanmıştır. Kas ve karaciğerde olduğu gibi gonat TAG'ünde PL ile karşılaştırıldığında, 14:0, 16:0, 16:1n-7, 18:1n-9, 18:2n-6 ve 18:3n-3 daha fazla yüzdede, PL'de ise 18:0, 20:4n-6, 20:5n-3, 22:6n-3 daha fazla oranda bulunmuştur. Her iki bireyde PL'deki n-3/n-6 oranı TAG'ündeki orana göre yüksek olarak saptanmıştır (Tablo 5-6). *C. carpio*'nun ovaryum PL ve TAG'ünde üreme döneminde (mayıs), üreme sonrası döneme oranla (temmuz) Σ MUFA'lerin yüksek olması, bu bileşenlerin yumurtlamada rol oynadıklarını göstermiştir.

Baykal Gölü'nde ergin dişi *Coregonus baicalensis*'te ovaryumlarının nötral lipidlerinde en çok Σ MUFA oluşturmuştur. Bunu Σ SFA'ler izlemiştir en az ise Σ PUFA'ler bulunmuştur. Total MUFA'lardan en çok 18:1n-9 saptanmıştır (Kozlova ve Khotimchenko 2000). Çalıştığımız balık türünün ovaryum ve testis TAG'ünde *C. baicalensis*'te olduğu gibi, analizi yapılan çoğu dönemlerde yüzde olarak en çok Σ MUFA, daha sonra Σ SFA en az ise Σ PUFA bulunmuştur. Total MUFA'ler içinde de en çok 18:1n-9 bulunmuştur.

Comephorus dybowskii'nin ovaryum polar lipidlerinde Σ PUFA'lerden 22:6n-3, nötral lipidlerde ise 16:0 en çok bulunmuştur. Diğer major yağ asitleri 16:1n-7, 18:1n-7, 20:5n-3'dür (Kozlova ve Khotimchenko 2000). *C. carpio*'nun ovaryum ve testis PL'inde en çok Σ PUFA ve PUFA'lerden de 22:6n-3 bulunmuştur.

D. sargus'un ovaryum TAG ve PL alt sınıfları incelenmiştir (Cejas ve ark. 2003). *D. sargus*'un ovaryum TAG'ünde Σ PUFA oranı, çalıştığımız balıklarinkinden yüksektir. Bunun nedeni, *D. sargus*'un deniz balığı olmasından kaynaklanabilir. Çünkü, deniz balıklarındaki PUFA oranı, tatlısu balıklarına oranla daha yüksektir.

KAYNAKÇA

- Ackman, R.G., Ratnayake, W.M.N. 1989. Fish oils, seal oils, esters and acids are all from of omega 3 intake equal. In: Health effects of fish and fish oils. Chandra, R.K., eds. Arts Biomedical Publisher and Distributors, p. 373-393. Newfoundland.
- Akpınar, M.A. 1985. *Cyprinus carpio* L. (Osteichthyes, Cyprinidae)'nin ergin ve ergin olmayan bireylerinde gonadların total lipid ve yağ asidi bileşimleri. Doktora Tezi. C. Ü. Fen Ede. Fak. Sivas.
- Akpınar, M.A. 1987a. Ergin olmayan ve ergin sazanların (*Cyprinus carpio* L.) gonatlarında total lipid değişimi. C.Ü. Fen- Ede. Fak. Fen Bil. Derg., 5: 173-190.
- Aras, N.M., Haliloğlu, H.I., Bayır, A., Atamanalp, M., Sirkecioğlu, A.N. 2003a. Karasu Havzası Yeşildere Çayı Olgun Dere Alabalıkları (*Salmo trutta macrostigma*, Dumeril, 1858)'nda farklı dokuların yağ asidi kompozisyonlarının karşılaştırılması. Turk. J. Vet. Anim. Sci., 27: 887-892.
- Atchison, G.J. 1975. Fatty acid levels in developing brook trout (*Salvenus fontinalis*) eggs and fry. J. Fish. Res. Bd. Can., 32: 2513-2515.
- Cejas, J.R., Almansa, E., Villamandos, J.E., Badia, P., Bolanos, A., Lorenzo, A. 2003. Lipid and fatty acid composition of ovaries from wild fish and ovaries and eggs from captive fish of white sea bream (*Diplodus sargus*). Aquacult., 216 (1-4): 299-313.
- Folch, J., Lees, M., Sladane-Stanley, G.H.A. 1957. Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem., 226: 497-509.
- Geldiay, R., Balık, S. 1996. Türkiye tatlısu balıkları. Ege Üni. Su Ürünleri Fak. Yay. No: 46 (II. Baskı), İzmir.
- Huynh, M.D. 2007. Comparison of fatty acid profiles of spawning and non-spawning Pacific herring, *Clupea harengus pallasi*. Comp. Biochem. Physiol., 146 B: 504-511.
- Johansson, L., Kiessling, A., Kiessling, K.H., Berglund, L. 2000. Effects of altered ration levels on sensory characteristics, lipid content and fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) their intrinsic variation and practical implications. Food Qual. Pref., 11 (3): 247-254.
- Kara, C., Çelik, M. 2000. Fatty acid composition of gonad tissue in female and male *Chondrostoma regium* (Heckel, 1843) living in Ceyhan River, Kahramanmaraş-Turkey. Fen ve Mühendislik Dergisi. 3: 160-166.
- Kellner, R.G., Van Der Kraak, G., 1992. Multifactorial regulation of prostaglandin synthesis in preovulatory goldfish ovarian follicles. Biol. Reprod., 46: 630-635.

- Kiessling, A., Johansson, L., Storebakken, T. 1989. Effects of reduced feed ration levels on fat content and fatty acid composition in white and red muscle from rainbow trout. *Aquacult.*, 79: 169-175.
- Kminkova, M., Winterova, R., Kucera, J. 2001. Fatty acids in lipids of carp (*Cyprinus carpio*) tissues. *Czech. J. Food Sci.*, 19: 177-181.
- Kozlova, T.A., Khotimchenko, S.V. 2000. Lipids and fatty acids of two pelagic cottoid fishes (*Comephorus* spp.) endemic to Lake Baikal. *Comp. Biochem. Physiol.*, 126 B: 477-485.
- Mustafa, T., Srivastava, K.C. 1989. Prostaglandins (eicosanoids) and their role in ectothermic organisms. *Adv. Comp. Environ. Physiol.*, 5: 157-207.
- Neuhaus, O.W., Halver, J.C. 1969. *Fish in research*, Academic Press. p.135. New York.
- Shirai, N., Wada, S. 2001. Seasonal variation of fatty acid composition of phosphatidylinositol in the dorsal meat, liver and ovary of cultured Japanese catfish *Silurus asotus*. *Fisheries Sci.*, 67: 386-388.
- Sorbera, L.A., Zanuy, S., Carrielo, M. 1998. A role for polyunsaturated fatty acids and prostaglandins in oocyte maturation in the sea bass (*Dicentrarchus labrax*). In: Vandry, H., Tonon, M.C., Roubos, E.W., Loof, A. (Eds.), *Trends in Comparative Endocrinology and Neurobiology: From Molecular to Integrative Biology*. Ann. N.Y. Acad. Sci., vol. 839. New York Academy of Sciences, p. 535-537. New York.
- Uysal, K. 2004. Gonad olgunlaşması esnasında sudak (*Sander lucioperca*) balığının ovaryum ve testislerinin yağ asidi bileşimindeki değişimler. DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. 7. Sayı.
- Wade, M.G., Van Der Kraak, G. 1993. Regulation of prostaglandins E and F production in the goldfish testes. *J. Exp. Zool.*, 266: 108-115.
- Yılmaz, Ö., Konar, V., Çelik, S. 1995. Elazığ Hazar Gölü'ndeki *Capoeta capoeta umbla*'nın dişi ve erkek bireylerinde bazı dokularının total lipit ve yağ asidi bileşimleri. *Biyokimya Derg.* 20: 31-42.

Tablo 1: Dişi C. carpio'nun gonat total yağ asidinin yüzdelerinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 ^s	0.02±0.01	-	-	-	-	-
12:0	-	0.18±0.01a	0.02±0.02b	0.01±0.01c	0.03±0.02b	0.04±0.03d
13:0	0.01±0.01a	0.31±0.02b	0.16±0.01c	0.04±0.03d	-	-
14:0	1.12±0.15a	3.49±0.13b	1.10±0.11a	1.34±0.13a	0.60±0.02c	1.12±0.18a
15:0	0.76±0.05a	1.26±0.16b	1.13±0.14b	1.07±0.17b	0.74±0.56a	0.44±0.02c
16:0	29.14±1.14a	30.31±1.14a	25.56±1.12b	23.59±1.12b	21.99±1.11b	23.31±1.12b
17:0	0.35±0.02a	1.17±0.16b	0.24±0.01a	0.80±0.05b	0.59±0.03ab	0.51±0.03ab
18:0	6.20±0.56a	9.34±0.78b	6.30±0.56a	4.17±0.37a	4.38±0.32a	5.47±0.34a
ΣS.F.A	37.60±1.17a	46.06±1.35b	34.51±1.14a	31.02±1.15c	28.34±1.09c	30.89±1.15c
16:1n-7	7.03±0.56a	7.10±0.56a	4.32±0.14b	6.07±0.56a	7.04±0.56a	14.84±1.04c
18:1n-9	22.85±1.12a	17.86±1.07b	26.76±1.13a	16.17±1.06b	16.61±1.06b	24.21±1.12a
20:1n-9	1.19±0.16a	0.92±0.67a	1.50±0.14a	1.56±0.14a	1.32±0.19a	1.63±0.15a
ΣM.U.F.A.	31.07±1.15a	25.88±1.09b	32.58±1.16a	23.80±1.08b	24.97±1.08b	40.68±1.22c
18:2n-6	1.76±0.13a	2.26±0.12b	2.11±0.12b	2.84±0.12b	0.99±0.78a	1.47±0.10a
18:3n-3	0.42±0.02a	0.87±0.07b	1.69±0.10c	0.47±0.03a	0.33±0.02a	0.56±0.03a
20:2n-6	0.47±0.03a	0.33±0.02a	0.59±0.03a	0.72±0.04b	0.25±0.01c	0.49±0.03a
20:3n-6	0.32±0.03a	0.42±0.03a	0.41±0.04a	0.56±0.03b	0.35±0.03a	0.67±0.04b
20:4n-6	5.46±0.15a	6.43±0.16a	7.75±0.56a	8.48±0.67a	13.85±1.03b	6.56±0.16a
20:5n-3	3.67±0.13a	4.50±0.14a	2.72±0.12b	5.47±0.15c	6.15±0.16c	3.53±0.13a
22:5n-3	2.15±0.12a	2.82±0.14a	2.03±0.11a	2.28±0.12a	4.09±0.14b	2.29±0.12a
22:6n-3	17.03±1.07a	10.35±0.90b	15.52±1.05a	24.26±1.29c	20.61±1.08a	12.82±1.02b
ΣP.U.F.A	31.28±1.15a	27.98±1.07b	32.82±1.16a	45.08±1.34c	46.62±1.35c	28.39±1.09b
ω3	23.27±1.09a	18.54±1.08a	21.96±1.11a	32.48±1.16b	31.18±1.15b	19.20±1.08a
ω6	8.01±0.67a	9.44±0.68a	10.86±0.9a	12.6±1.02b	15.44±1.05b	9.19±0.67a
ω3/ω6	2.90	1.96	2.02	2.57	2.01	2.08

*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

§ her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri.

Tablo 2: Erkek C. carpio'nun gonat total yağ asidi yüzdelerinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 ^s	0.24±0.02a	-	-	-	0.04±0.03b	-
12:0	0.08±0.05a	0.09±0.06a	0.05±0.03b	0.15±0.01a	0.11±0.06a	0.01±0.01c
13:0	0.47±0.02a	0.11±0.04b	0.23±0.01c	0.69±0.03a	-	0.02±0.02d
14:0	1.56±0.11a	2.76±0.12b	1.22±0.16a	5.31±0.15c	0.40±0.02d	1.86±0.17a
15:0	0.82±0.44a	1.73±0.16b	0.99±0.54a	0.96±0.56a	0.54±0.31c	0.92±0.58a
16:0	25.43±1.08a	29.27±1.09a	15.61±1.05b	17.57±1.07b	17.04±1.07b	17.75±1.07b
17:0	0.28±0.03a	0.83±0.44b	0.47±0.27c	0.62±0.44c	1.06±0.10b	1.06±0.17b
18:0	11.52±1.01a	6.36±0.46b	6.58±0.49b	6.67±0.47b	9.45±0.86a	6.28±0.43b
ΣS.F.A	40.40±1.29a	41.15±1.29a	25.15±1.08b	31.97±1.09c	28.49±1.08c	27.87±1.08bc
16:1n-7	5.19±0.34a	7.31±0.44a	2.82±0.12b	8.07±0.67a	2.06±0.12b	6.38±0.43a
18:1n-9	12.45±1.01a	17.59±1.07b	10.07±0.91a	19.94±1.08b	8.83±0.56c	17.76±1.07b
20:1n-9	0.75±0.45a	5.16±0.33b	0.94±0.07a	7.39±0.45b	1.19±0.15c	2.70±0.12d
ΣM.U.F.A.	18.39±1.08a	30.06±1.09b	13.83±1.03c	35.40±1.25b	12.08±1.02c	26.84±1.08d
18:2n-6	1.33±0.16a	3.88±0.27b	3.32±0.24b	6.28±0.42c	5.72±0.41c	4.47±0.33bc
18:3n-3	0.32±0.02a	2.14±0.12b	1.22±0.10c	1.31±0.18c	0.43±0.26a	1.95±0.15b
20:2n-6	0.12±0.01a	0.51±0.33b	2.34±0.12c	1.57±0.17d	1.17±0.16d	0.88±0.43b
20:3n-6	0.50±0.32a	0.39±0.02a	0.94±0.67b	0.75±0.67b	1.19±0.18b	0.76±0.67b
20:4n-6	9.19±0.91a	5.20±0.33b	14.66±1.04c	4.85±0.31b	14.52±1.04c	9.06±0.94a
20:5n-3	7.95±0.44a	4.45±0.34b	8.54±0.58a	9.21±0.96a	7.26±0.44a	6.58±0.39ab
22:5n-3	3.76±0.23a	2.70±0.12a	6.71±0.33b	2.72±0.12a	5.77±0.33b	3.99±0.21a
22:6n-3	17.37±1.07a	9.42±0.86b	23.21±1.08c	5.82±0.15d	23.27±1.08c	17.51±1.07a
ΣP.U.F.A	40.42±1.36a	28.69±1.09b	60.94±1.44c	32.51±1.24b	59.33±1.43c	45.20±1.29d
ω3	29.40±1.09a	18.71±1.08b	39.68±1.36c	19.06±1.07b	36.73±1.25c	30.03±1.29a
ω6	11.02±1.15a	9.98±0.83a	21.26±1.08b	13.45±1.01a	22.60±1.08b	15.17±1.05c
ω3/ω6	2.66	1.87	1.86	1.41	1.62	1.97

*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

§ her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri.

Tablo 3: Dişi C. carpio'nun gonat fosfolipit fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
14:0 [§]	0.78±0.55a	1.09±0.11b	1.01±0.13b	1.34±0.15b	0.70±0.55a	0.70±0.55a
15:0	0.71±0.54a	1.23±0.13b	1.27±0.10b	1.27±0.10b	1.06±0.18b	0.40±0.13c
16:0	30.01±1.16a	23.84±1.12b	28.76±1.15a	31.42±1.16a	30.88±1.16a	23.11±1.12b
17:0	0.25±0.02a	0.44±0.12b	0.38±0.13a	0.65±0.15b	0.79±0.16b	0.54±0.15b
18:0	7.20±0.56a	11.95±1.01b	6.12±0.55a	4.79±0.45a	5.23±0.53a	5.77±0.51a
ΣS.F.A	38.95±1.32a	38.55±1.32a	37.54±1.31a	39.47±1.33a	38.66±1.32a	30.52±1.16b
16:1n-7	4.02±0.41a	2.49±0.21b	6.46±0.56a	3.72±0.34b	9.06±0.78c	6.62±0.56a
18:1n-9	19.87±1.11a	16.23±1.06a	13.39±1.03b	13.52±1.03b	14.15±1.04b	17.20±1.06a
20:1n-9	0.80±0.02a	0.18±0.01b	0.34±0.03c	1.08±0.14a	0.91±0.05a	0.92±0.05a
ΣM.U.F.A.	24.69±1.13a	18.90±1.07b	20.19±1.11b	18.32±1.16b	24.12±1.12a	24.74±1.12a
18:2n-6	1.25±0.10a	1.10±0.16a	1.05±0.10a	2.38±0.13b	1.16±0.10a	1.20±0.18a
18:3n-3	0.23±0.01a	0.46±0.02b	0.35±0.02ab	0.25±0.02a	0.11±0.01c	0.16±0.01c
20:2n-6	0.52±0.03a	0.52±0.03a	0.27±0.01b	0.46±0.03a	0.25±0.02b	0.39±0.02ab
20:3n-6	0.47±0.02a	0.51±0.03a	0.16±0.01b	0.44±0.03a	0.35±0.02a	0.82±0.05c
20:4n-6	5.72±0.51a	14.07±1.04b	12.70±1.02b	8.80±0.57c	12.06±1.02b	9.42±0.81c
20:5n-3	4.28±0.44a	3.52±0.36a	2.47±0.28b	5.46±0.45a	4.72±0.43a	9.71±0.84c
22:5n-3	2.35±0.12a	4.60±0.49b	2.58±0.23a	2.01±0.26a	2.06±0.25a	3.46±0.33ab
22:6n-3	21.44±1.12a	17.67±1.07b	22.61±1.12a	22.34±1.12a	16.44±1.06b	19.51±1.08ab
ΣP.U.F.A	36.26±1.31a	42.45±1.33b	42.19±1.33b	42.14±1.33b	37.15±1.31a	44.67±1.34b
ω3	28.30±1.15a	26.25±1.14a	28.01±1.15a	30.06±1.16b	23.33±1.12c	32.84±1.16b
ω6	7.96±0.67a	16.20±1.06b	14.18±1.04b	12.08±1.02c	13.82±1.03c	11.83±0.99c
ω3/ω6	3.55	1.62	1.97	2.48	1.68	2.77

*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

§ her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri.

Tablo 4: Erkek C. carpio'nun gonat fosfolipit fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
14:0 ^s	1.79±0.17a	0.26±0.03b	0.51±0.02c	0.44±0.02c	1.59±0.11a	0.40±0.02c
15:0	0.45±0.02a	0.96±0.08b	0.97±0.08b	0.96±0.08b	1.65±0.15c	0.62±0.03a
16:0	25.67±1.09a	25.06±1.09a	19.83±1.08b	21.46±1.12b	19.27±1.08b	23.47±1.09a
17:0	0.22±0.02a	0.33±0.02b	0.36±0.02b	0.45±0.02b	0.65±0.03c	0.89±0.04d
18:0	15.29±1.05a	12.67±1.02a	12.58±1.02a	13.34±1.03a	11.68±1.05a	11.37±1.01a
ΣS.F.A	43.42±1.34a	39.28±1.28b	34.25±1.24c	36.65±1.26c	34.84±1.24c	36.75±1.26c
16:1n-7	4.67±0.14a	3.56±0.13a	2.33±0.12b	3.39±0.13a	3.59±0.13a	5.52±0.15a
18:1n-9	13.50±1.03a	13.45±1.03a	10.63±0.90a	14.25±1.04a	14.08±1.04a	9.84±0.67b
20:1n-9	0.12±0.07a	0.24±0.02b	1.91±0.15c	1.23±0.17c	1.43±0.18c	1.93±0.13c
ΣM.U.F.A.	18.29±1.08a	17.25±1.07a	14.87±1.04b	18.87±1.08a	19.10±1.08a	17.29±1.07a
18:2n-6	3.79±0.13a	2.76±0.12a	2.35±0.12a	3.22±0.13a	5.81±0.15b	1.17±0.10c
18:3n-3	0.61±0.04a	0.75±0.06a	0.51±0.04a	0.65±0.06a	1.20±0.10b	0.26±0.02c
20:2n-6	0.34±0.02a	0.35±0.02a	1.06±0.15b	1.12±0.14b	1.88±0.17b	0.30±0.02a
20:3n-6	0.25±0.03a	0.88±0.04b	0.44±0.02c	0.96±0.06b	1.44±0.10d	0.45±0.02c
20:4n-6	6.21±0.16a	10.23±0.92b	15.84±1.05b	9.21±0.67b	5.46±0.15a	13.54±1.03b
20:5n-3	4.58±0.14a	5.53±0.15a	7.82±0.34b	5.66±0.15a	2.80±0.12c	7.12±0.34b
22:5n-3	2.85±0.12a	2.43±0.16a	4.25±0.14b	3.45±0.13ab	5.86±0.15b	2.73±0.12a
22:6n-3	19.56±1.08a	20.44±1.09a	18.54±1.08a	20.11±1.07a	21.51±1.05a	20.31±1.09a
ΣP.U.F.A	38.19±1.28a	43.37±1.34b	50.81±1.50c	44.38±1.34b	45.96±1.34b	45.88±1.34b
ω3	27.60±1.08a	29.15±1.10a	31.12±1.15b	29.87±1.19a	31.37±1.15b	30.42±1.15b
ω6	10.59±0.90a	14.22±1.04b	19.69±1.16c	14.51±1.04b	14.59±1.04b	15.46±1.05b
ω3/ω6	2.60	2.04	1.58	2.05	2.15	1.96

*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

§ her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri.

Tablo 5: Dişi C. carpio 'nun gonat triaçilgliserol fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değişimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 ⁸	0.25±0.02	-	-	-	-	-
12:0	0.26±0.02a	0.91±0.07b	0.38±0.02a	0.02±0.01c	0.01±0.01d	0.04±0.03e
13:0	0.24±0.03a	1.32±0.11b	0.52±0.02c	0.03±0.02d	-	0.02±0.01d
14:0	2.82±0.12a	2.76±0.12a	2.80±0.13a	3.01±0.13a	2.63±0.12a	2.25±0.12a
15:0	1.16±0.13a	1.37±0.14a	1.28±0.18a	1.41±0.16a	1.68±0.14a	0.46±0.02b
16:0	31.04±1.16a	35.49±1.17a	24.60±1.13b	29.27±1.15a	30.18±1.15a	27.36±1.14b
17:0	0.79±0.04a	0.78±0.05a	0.77±0.03a	1.71±0.16b	0.73±0.03a	0.43±0.02c
18:0	2.25±0.13a	4.43±0.14b	5.49±0.15b	3.61±0.13a	4.35±0.14b	3.80±0.14a
ΣS.F.A	38.81±1.18a	47.06±1.36b	35.84±1.17c	39.06±1.20a	39.58±1.20a	34.36±1.17c
16:1n-7	18.24±1.08a	12.14±1.02b	15.62±1.05ab	14.49±1.04b	13.73±1.03b	18.43±1.08a
18:1n-9	22.67±1.12a	20.83±1.14a	20.71±1.17a	25.63±1.13a	23.62±1.12a	26.91±1.13a
20:1n-9	1.22±0.19a	0.41±0.03b	0.79±0.04ab	1.26±0.13a	1.07±0.15a	1.09±0.17a
ΣM.U.F.A.	42.13±1.33a	33.38±1.16b	37.12±1.18b	41.38±1.31a	38.42±1.18ab	46.43±1.35a
18:2n-6	3.76±0.13a	2.59±0.12b	2.63±0.12b	5.88±0.15c	2.51±0.12b	2.80±0.12b
18:3n-3	0.99±0.04a	0.77±0.03a	1.53±0.15b	1.89±0.14b	0.75±0.03a	0.76±0.03a
20:2n-6	0.26±0.02a	0.92±0.04b	0.39±0.02c	0.76±0.03b	0.48±0.02c	0.60±0.05c
20:3n-6	0.40±0.03a	0.99±0.04b	0.19±0.01c	0.41±0.02a	0.41±0.02a	0.23±0.01c
20:4n-6	2.55±0.12a	3.90±0.13a	5.36±0.15b	1.69±0.15c	3.94±0.13a	3.85±0.13a
20:5n-3	1.57±0.19a	2.65±0.12ab	3.91±0.13b	1.81±0.17a	3.90±0.16b	2.72±0.12ab
22:5n-3	0.42±0.03a	2.31±0.12b	2.24±0.12b	0.51±0.03a	2.49±0.12b	0.99±0.04c
22:6n-3	9.01±0.80a	5.34±0.15b	10.69±0.99a	6.57±0.23b	7.43±0.28b	7.23±0.28b
ΣP.U.F.A	18.96±1.08a	19.47±1.07a	26.94±1.15b	19.52±1.09a	21.91±1.12a	19.18±1.09a
ω3	11.99±1.01a	11.07±1.01a	18.37±1.08b	10.78±0.90a	14.57±1.04c	11.70±1.01a
ω6	6.97±0.16a	8.40±0.76a	8.57±0.76a	8.74±0.76a	7.34±0.66a	7.48±0.76a
ω3/ω6	1.72	1.31	2.14	1.23	1.98	1.56

*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

§ her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri.

Tablo 6: Erkek *C. carpio*'nun gonat triaçilgliserol fraksiyonundaki yağ asidi yüzdelерinin aylara göre değışimi

Yağ asidi	Mayıs(2008) (ORT±S.H)*	Temmuz(2008) (ORT±S.H)*	Eylül(2008) (ORT±S.H)*	Kasım(2008) (ORT±S.H)*	Ocak(2009) (ORT±S.H)*	Mart(2009) (ORT±S.H)*
10:0 ^s	0.87±0.06a	0.01±0.01b	-	-	-	-
12:0	0.98±0.05a	0.02±0.02b	0.01±0.01c	0.25±0.09d	0.02±0.01b	0.23±0.07d
13:0	0.96±0.07a	0.16±0.07b	0.13±0.01b	0.34±0.02c	0.29±0.03c	-
14:0	1.09±0.11a	1.24±0.13a	1.31±0.17a	1.29±0.13a	0.21±0.02b	1.74±0.16a
15:0	1.29±0.15a	0.99±0.04a	0.77±0.03b	0.35±0.02c	0.69±0.05b	0.24±0.01c
16:0	27.90±1.09a	28.88±1.09a	30.29±1.14a	26.66±1.08a	30.84±1.18a	30.25±1.14a
17:0	1.21±0.14a	1.22±0.16a	0.61±0.03b	0.76±0.04b	1.47±0.18a	0.28±0.01c
18:0	3.95±0.20a	3.28±0.22a	2.53±0.12b	4.55±0.33a	3.19±0.26a	4.20±0.39a
ΣS.F.A	38.25±1.28a	35.80±1.25a	35.65±1.25a	34.20±1.21a	36.71±1.25a	36.94±1.25a
16:1n-7	16.34±1.06a	17.33±1.07a	20.15±1.12b	19.45±1.09b	18.21±1.08ab	15.88±1.05a
18:1n-9	18.97±1.08a	22.21±1.09a	19.28±1.08a	19.68±1.08a	18.15±1.08a	20.24±1.16a
20:1n-9	1.91±0.10a	1.27±0.14a	0.25±0.02b	0.56±0.03c	0.87±0.07c	1.17±0.14a
ΣM.U.F.A.	37.22±1.27a	40.81±1.29a	39.68±1.19a	39.69±1.19a	37.23±1.27a	37.29±1.27a
18:2n-6	5.15±0.15a	4.76±0.14a	4.56±0.14a	4.98±0.14a	4.84±0.14a	4.28±0.14a
18:3n-3	1.76±0.16a	1.25±0.17a	1.96±0.10a	0.89±0.56b	0.81±0.56b	0.77±0.56b
20:2n-6	0.05±0.03a	0.04±0.03a	0.76±0.30b	0.28±0.01c	0.85±0.50b	0.34±0.03c
20:3n-6	1.22±0.15a	1.55±0.18a	0.26±0.01b	0.96±0.04a	0.95±0.04a	1.00±0.14a
20:4n-6	3.72±0.13a	4.87±0.14a	3.71±0.13a	4.21±0.14a	4.46±0.14a	3.76±0.13a
20:5n-3	2.64±0.12a	1.21±0.10b	3.02±0.13a	5.10±0.15c	3.72±0.13a	2.97±0.12a
22:5n-3	1.15±0.10a	2.38±0.12b	1.48±0.10a	3.20±0.13c	2.22±0.12b	3.73±0.13c
22:6n-3	8.74±0.67a	7.23±0.56a	8.82±0.67a	6.39±0.45a	8.11±0.67a	8.82±0.67a
ΣP.U.F.A	24.43±1.04a	23.29±1.04a	24.57±1.04a	26.01±1.05a	25.96±1.04a	25.67±1.04a
ω3	14.29±1.04a	12.07±1.02a	15.28±1.05a	15.58±1.05a	14.86±1.04a	16.29±1.06a
ω6	10.14±0.93a	11.22±1.10a	9.29±0.67a	10.43±0.96a	11.10±1.14a	9.38±0.67a
ω3/ω6	1.40	1.07	1.64	1.49	1.33	1.73

*Her veri 3 tekrarın ortalamasıdır. Her tekrarda 3 enjeksiyon yapılmıştır.

ş her satırda aynı harflerle belirlenen veriler P>0.05 olasılık düzeyinde birbirinden farklı değildir.

S.H.: Standart hata, S.F.A.: Doymuş Yağ Asitleri, M.U.F.A.: Tekli Doymamış Yağ Asitleri, P.U.F.A.: Aşırı Doymamış Yağ Asitleri.

Bölüm 3

BUĞDAY, İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI KURAKLIK VE KURAKLIĞA KARŞI DİRENÇ MEKANİZMASINDA GST İZOZİMLERİNİN FONKSİYONU*

Can YILMAZ¹

Metin KONUŞ²

Pınar YILMAZ³

1 Dr Öğr. Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, C.Y. ORCID: 0000-0002-0028-6614

2 Doç. Dr. Hitit Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, ORCID: 0000-0002-9953-1375

3 Hitit Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, ORCID: 0000-0001-9787-7957

(*) : corresponding author, cyilmaz@yyu.edu.tr

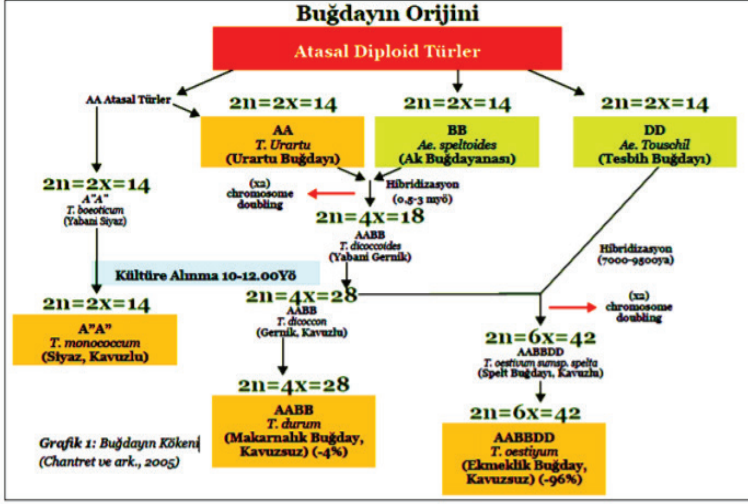
1. Buğday, tür sınıflandırması, yayılımı ve insanlık için önemi

Buğday (*Triticum*); insanlığın tüm tarihi boyunca, ülkemizde ve dünyada büyük bir öneme sahip olan, ekimi ve ıslahı en çok yapılan tahıl ürünleri arasında yer alan tek yıllık ve otsu bir tarımsal bitki türüdür. Başak, kök ve sap kısımlarından oluşur. Karasal iklimlerde yetiştirilmesi daha kolaydır. Buğday, ekmek gıdasının da ana maddesidir. Ayrıca un ve yem üretiminde de temel besin kaynağı olarak kullanılan bir tahıl çeşididir. İnsanların günlük besin ihtiyaçlarının karşılanmasında da buğday oldukça önemli bir yere sahiptir (El-Afry ve ark., 2012).

İlk olarak Neolitik dönemde üretiminin yapıldığına dair kanıtlar bulunan buğday bitkisi insanlığın varlığından beri çok büyük bir öneme sahip olmuştur. Buğdayın ilk olarak Mezopotamya’da ekiminin yapıldığı düşünülmektedir. Mısır’da çeşitli kazılar esnasında piramitler içerisinde buğday taneleri bulunmuş ve bazı duvarlar üzerinde buğday bitkisine ait olduğu düşünülen betimlemeler tespit edilmiştir.

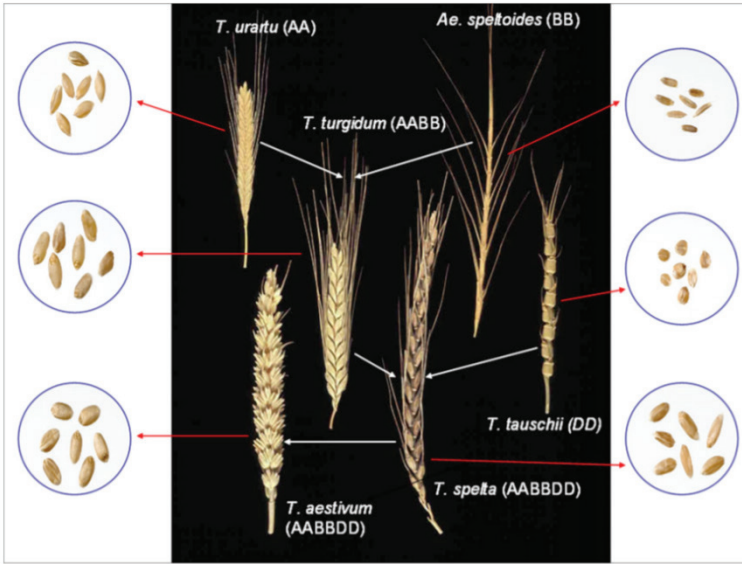
Buğdayın üretimi, verimli ve dirençli türlerinin geliştirilmesi, dünya nüfusunun giderek artması ile yeryüzünde oluşabilecek besin sıkıntısının oluşmasının önlenmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Bir tahıl ürünü olması ve hem insanlar hem de hayvanların tüketebileceği bir besin olması nedeni ile de üretiminin devamlılığı oldukça önemlidir (Türkiye’nin buğday atlası, 2016).

Ülkemizde Diyarbakır’ın Karacadağ bölgesinde yaklaşık olarak 10 bin yıl öncesinde kültüre alındığı düşünülen buğday bitkisinin Anadolu topraklarında 23’ü yabani 400’den fazla çeşidi bulunmaktadır. 1987 yılında Vavilov tarafından yapılan araştırmalar sonucunda oluşturduğu 8 gen merkezinden 2’si Türkiye’de yer almaktadır. Kültüre alınan ilk buğday türleri kavuzludur ve kırılğan başak yapısına sahiptir. Hekzaploid ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L., 2n=42, AABBDD), tetraploid sert veya makarnalık buğday (*T. durum*, 2n=28, AABB) günümüz buğday üretiminde en çok yer alan çeşitlerdendir. Bu türler arasında da en çok ekimi ve üretimi yapılan ekmeklik buğdaylardır. Ekmeklik buğdayların verim ve kalitesinin yüksek olması, kuraklık ve sıcaklığa karşı direnç gösterebilmesi sebebi ile tercih edilen bir tür halini almıştır. Belirtilen türler için A, B, D genomlarının sırası ile *T. urartu Thumanjan ex Gandilyan*, *Ae. speltoideus Tausch* ve *Ae. tauschii Coss.*’den geldiği kabul görmektedir (Özberk ve ark., 2016) (Şekil 1).



Şekil 1. Buğday bitkisinin kökeni (Özberk ve ark., 2016).

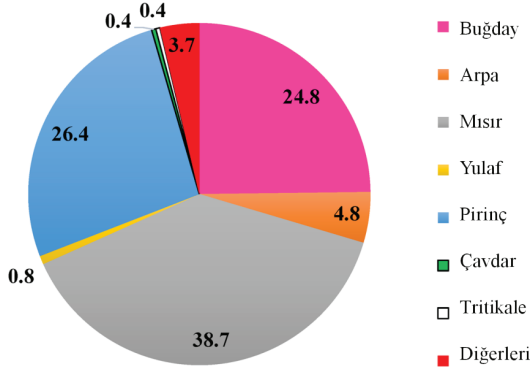
Diploid buğdayların genom yapılarının gösterimi (AA) şeklinde, kromozom sayısı ($2n=14$) olarak, tetraploid buğdayların gösterimi (AABB) şeklinde, kromozom sayısı ($2n=28$) olarak, hekzaploid buğdayların gösterimi ise (AABBDD) şeklinde ve kromozom sayısı ($2n=42$) olarak ifade edilir. Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*), Doğu (İran) buğdayı (*Triticum carthlicum*), Topbaş buğday (*Triticum compactum*), Gernik (*Triticum dicoccon*), Durum buğdayı (*Triticum durum*), Kaplıca buğdayı (*Triticum monococcum*), Polonya buğdayı (*Triticum polonicum*), Kavuzlu buğday (*Triticum spelta*), Turnadili buğday (*T. turanicum*), İngiliz (kaba tahıl) buğday (*Triticum turgidum*) bazı buğday çeşitlerindendir (Atak, 2017; Şekil 2).



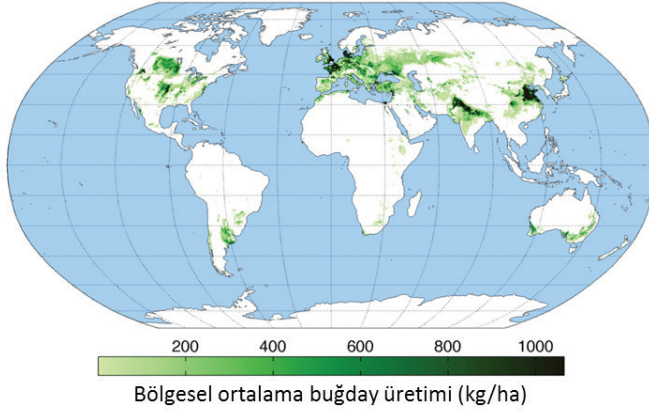
Şekil 2. Buğday tohum tipleri (Shewry, 2009).

İnsanlığın uygarlığa geçişindeki temel faktörler hayvan ırklarının evcil hale getirilmesi ve bitki türlerinin kültüre alınıp yetiştirilmesidir. Farklı uygarlıkları bünyesinde barındıran Anadolu toprakları, tüm dünyada beslenmede kullanılan ve oldukça önemli olan bazı bitkilerin yetiştirilmesinde ve dünyaya yayılış göstermesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Anadolu'dan çıkan bu bitkilerin genetik orijinlerinin burası olması ve tüm dünyaya buradan yayılış göstermesi konusunda Anadolu toprakları vazgeçilmez bir coğrafyadır (Atak, 2017).

Buğday, dünya nüfusunun beslenmesi ve gıda güvenilirliğinin oluşturulması yönünden hayati bir öneme sahip olmasının yanı sıra dünya üzerindeki bitki biyolojik çeşitliliğinin de en önemli unsurlarındandır. Dünya'da en çok üretimi yapılan tahıl bitkilerinin başında buğday gelir (Şekil 3). Bunun yanında oldukça geniş bir coğrafyada tarımı yapılmaktadır (Şekil 4).

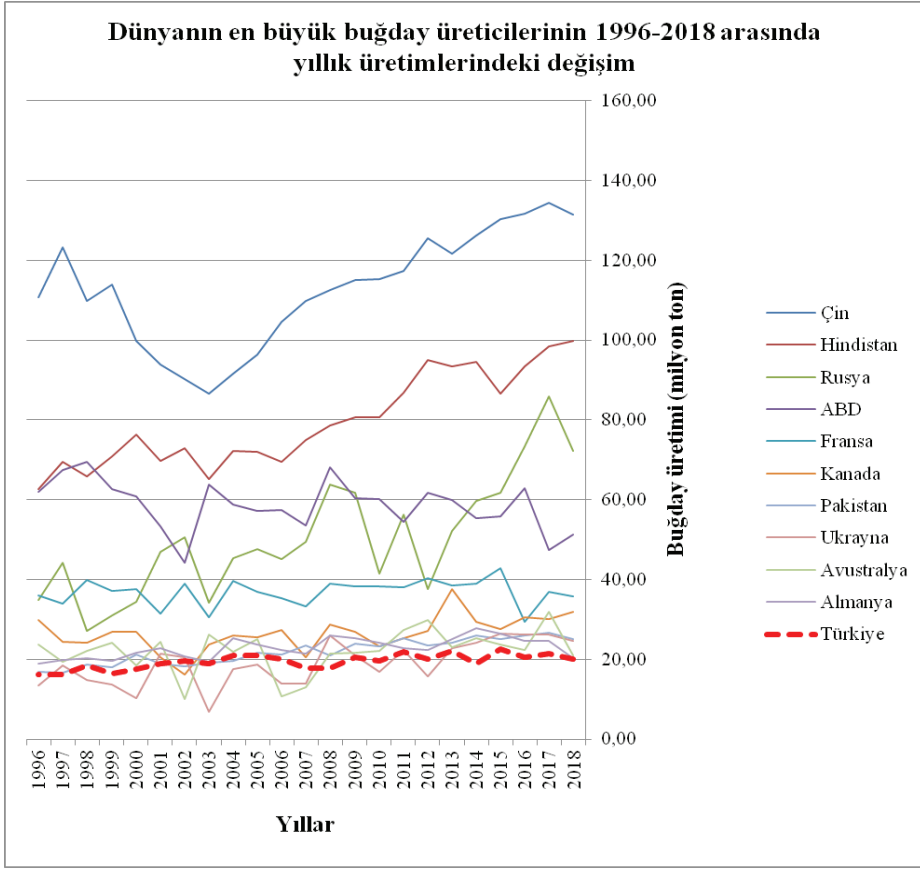


Şekil 3. Dünyada 2018 yılı tahıl üretim yüzdeleri (FAOSTAT, FAO Statistics Division, 2020).



Şekil 4. Dünya'da buğday üretim haritası (Monfreda ve ark., 2008).

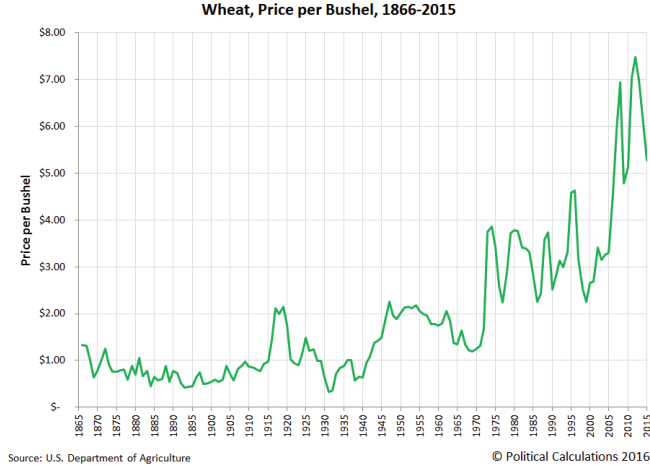
Buğday insanların hem geçim kaynağı olması hem tükettiği bir besin olması hem de sanayide birçok üründe ham madde olarak kullanılmasından dolayı oldukça önemlidir (Türkiye'nin buğday atlası, 2016; Karagöz, 2020; Kasim ve ark., 2013). Artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacının karşılanmasında bu denli önemli bir yere sahip olan buğdayın tarımına dair faaliyetler de zamanla yoğunlaşmakta ve üretim kapasitelerinin artırılması için çaba sarfedilmektedir (Şekil 5.).



Şekil 5. Dünya’da buğday üretimi verileri 1996-2018. Türkiye dünyadaki en büyük 11. buğday üreticisidir. (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) veritabanı).

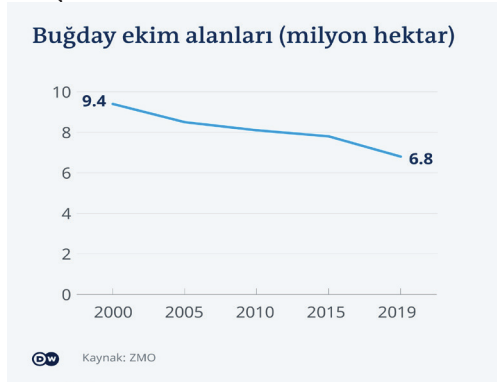
Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü verilerine dayanarak, tabloda da belirtildiği üzere 2018 ile 1996 yılları arasında Dünya’da buğday üretiminin en çok yapıldığı ülkelerin en başında 131,40 milyon ton ile Çin gelmektedir. Sıralamada 2. sırada 99,70 milyon ton ile Hindistan ve 3. sırada 72,10 milyon ton ile Rusya bulunmaktadır. Dünya’da 2018 yılında toplam buğday üretimi 734,00 milyon tondur. Türkiye ise 20 milyon ton üretimle Dünya sıralamasında 11. sırada yer almaktadır.

Buğday ölçek fiyatı 1866 yılından günümüze kadar geçen süreçte sürekli olarak dalgalanmalı artışlar göstermektedir. 1866 yılında buğday ölçek fiyatı 1 doların biraz üzerinde iken 2015 yılında 7,5 dolara yakın olduğu Amerikan Tarım Bakanlığı veri grafiğine göre söylenebilir (Şekil 6).



Şekil 6. Buğdayın ölçek fiyatındaki değişim 1866-2015 (Amerikan Tarım Bakanlığı-USDA).

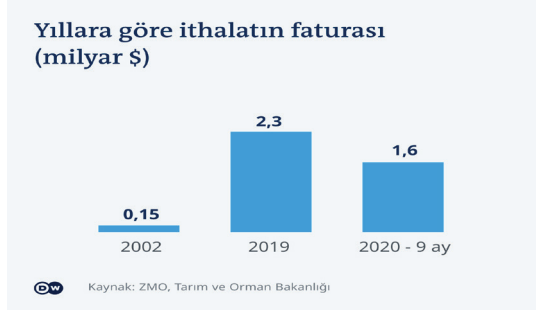
Buğday fiyatlarında meydana gelen yükseliş artan taleple birlikte ekim alanlarındaki daralma ve iklim değişiminin getirdiği kuraklık gibi çevresel faktörlerin birleşimi sonucudur. Ülkemiz de bu büyük problemin etkisi altındadır. Türkiye’de buğday ekim alanlarının yıllara göre değişimlerine ait grafikte (Şekil 7) görüldüğü gibi her 5 yılda bir veriler toplanmış ve işlenmiştir. Ziraat Mühendisleri Odası’nın 2018 tarihli Buğday Raporu’na göre Türkiye’de 2000 yılında 9,4 milyon hektarı bulan ekim alanı yıllar geçtikçe azalmış, son olarak 2019 yılında ise 6,8 milyon hektara kadar azaldığı kaydedilmiştir.



Şekil 7. Türkiye buğday ekim alanlarının değişimi 2000-2019 (TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, 2018 Buğday Raporu).

Toplam ekim alanındaki azalma görünürde rekoltede bir düşüşe sebep olmamakla birlikte, artan ihtiyacı karşılamamanın önünde bir engel olarak değerlendirilebilir. Türkiye işlenmemiş buğday tohumundan un üreterek

yarı işlenmiş mamul ihracından kazanç sağlamakla birlikte, yine Ziraat Mühendisleri Odasının çalışmaları buğday ithalatının toplam maliyetinin artış gösterdiğini de raporlamaktadır (Şekil 8).



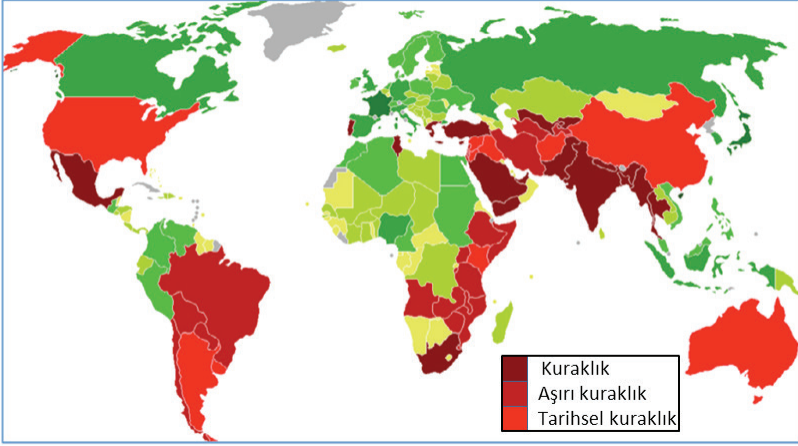
Şekil 8. Türkiye'nin buğday ithalatının maliyeti (TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, 2018 Buğday Raporu).

Ziraat Mühendisleri Odası'nın 2018 yılı verilerine göre Türkiye'de 2002 yılında ithalatın faturası 0,15 milyar dolar iken 2019 yılında bu değer 2,3 milyar dolara ulaşmış ve 2020 yılının ilk 9 ayı için 1,6 milyar dolar olarak hesaplanmıştır. Bu noktada iklim değişikliğinin etkilerinin ayrı bir başlıkta incelenmesi önem arz etmektedir.

2. İklim değişikliği, kuraklık ve yarattığı ekolojik problemler

Dünya'daki insan nüfusu her geçen yıl artmaya devam etmekte ve artışla beraber 2050 yılında Dünya'daki insan sayısının da 9 milyarı geçeceği tahmin edilmektedir. İnsanlar için gıda yetersizliği oluşması gelecek yakın zamanda en büyük sorunlardan biri haline gelecektir. Bu doğrultuda ürün artışının gerçekleşebilmesi için ise ürünlerin verimliliğinde ve dayanıklılığında bir artış sağlanması gerekir. Çeşitli buğday türlerinin üretilmesinde çevresel faktörler, iklim değişikliği, biyotik ve abiyotik stres faktörleri oldukça önemli etmenlerdir. Biyotik ve abiyotik stres faktörleri sebebi ile neredeyse mahsüllerin ürün verimi yarı yarıya bir oranda düşüş gösterebilmektedir. Üretimdeki düşüşte en büyük rolü olan etmen ise abiyotik stres faktörleridir. Kuraklık, aşırı tuzluluk ve sıcaklık, sel oluşumu, toksik metal birikimi, radyasyon gibi faktörler ürün verimliliğini olumsuz şekilde etkiler.

İklim değişikliği sonucu karşılaştığımız sorunlardan biri olan küresel ısınma sebebiyle yakın gelecekte birçok tarım ürününün yetiştirilmesinde ciddi riskler oluşacağı öngörülmektedir. Özellikle kuraklık stresinin yakın gelecekte daha büyük bir sorun teşkil edeceği düşünülmektedir. Topraktaki nem oranının düşmesi sonucu ekilebilir tarım alanlarındaki oranın %29'lardan daha da düşük seviyede olması beklenmektedir (Aksay ve ark., 2005). Üstelik bu tür kuraklık baskısının en yoğun yaşanacağı coğrafyaların başında ülkemizin de yer aldığı Orta Doğu ile Güney-Güneybatı Asya yer almaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Global kuraklık haritası (Motiee ve Mcbean, 2012).

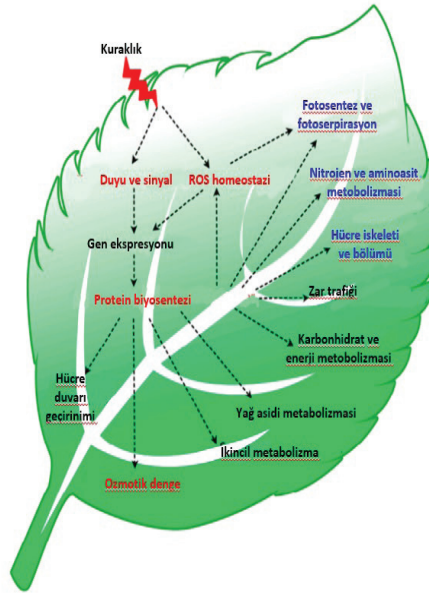
Altı kıtadaki kuraklık durumları 6 aydan az ve 12 aydan çok olacak şekilde incelendiğinde kıtalarda kuraklık oluşum sıralarının Afrika, Asya, Avrupa, Kuzey Amerika, Okyanusya ve Güney Amerika olacak şekilde sıralandığı görülmektedir.

Türkiye, iklim değişikliği ve kuraklık olaylarının insidansı için oluşturulan simülasyonlarda ve nihai tahminlerde en çok etkilenecek ülkeler arasında bulunmaktadır. Bu durum buğdayın gelecekte güvenli ve kontrollü şekilde üretilmesi açısından risk oluşturmaktadır. Tüm bu sorunlara karşın, diğer yandan, dünya genelinde üretilen buğday miktarının da yaklaşık olarak %70 oranında arttırılması gerekmektedir (Hasanuzzaman ve ark., 2013; Semenov ve ark., 2014). Bu senaryolar insanların tarım alanlarını en akılcı şekilde kullanmalarının yanında, daha dayanıklı ve verimli buğday türlerini ekmelerini de zorunlu hale getirmiştir. Buğdayın kuraklık gibi çevresel etmenlere daha dayanıklı hale getirilebilmesi için de öncelikle, fizyolojik ve metabolik dinamiklerin iyi anlaşılması esastır.

3. Bitkilerin çevresel baskı koşullarına karşı savunma mekanizmaları

Bitkiler hayatta kaldıkları süre boyunca farklı tip çevresel baskı koşullarına maruz kalırlar. Bu çevresel baskılar biyotik ve abiyotik çevresel baskı olmak üzere temelde 2 gruba ayrılır. Biyotik stres faktörleri mikroorganizmalar, patojenler ve herbivorların oluşturduğu stres faktörleri iken, abiyotik stres faktörleri ise kuraklık, aşırı düşük ve yüksek sıcaklık, su fazlalığı, aşırı tuzlu ortamlar, kirleticiler, radyasyon gibi çevre etmenli faktörlerdir. Hem biyotik hem de abiyotik stres türü bitkilerde verimi ve bitkilerin hayatta kalma çabasını olumsuz şekilde etkileyen faktörleri içerir. Oluşan abiyotik stres baskısı tarımı da azaltır. Tüm bu stres baskısına karşı bitki, stresi tolere ede-

bilmek ve etkilerini en aza indirebilmek için çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmalar (Şekil 10) geliştirir (Gall ve ark., 2015).



Şekil 10. Kuraklık stresine cevap oluşturan bitki yapraklarındaki metabolik olaylar ve değişimler (Wang ve ark., 2016).

Bitkilerde kuraklık stresi oluşumu ile beraber büyüme ve verim potansiyelleri ciddi şekilde etkilenir. Toleranslı olan türde strese karşı oluşan tepki şiddeti de azalır. Dallanmış kök yapısı bitkinin topraktan daha fazla su almasına ve bu suyun fotosentez için taşınımının yapılmasına yardımcı olarak stresin etkilerini en aza indirmek için çabalar. Fotosentetik pigmentlerde oluşan değişimler de kuraklığın tolere edilmesinde oldukça önemli rol oynarlar. Özellikle karotenoidler bitkiyi kuraklığın sebep olduğu oksidatif stresten korumak için farklı yöntemler uygularlar. Bu nedenle de bitkideki kuraklık stresinin tolere edilebilmesi açısından karotenoidler önemli fotosentetik pigmentlerdir (Jaleel ve ark., 2009).

Kuraklık stresi ile karşı karşıya kalan bitkide 3 farklı savunma mekanizması gerçekleşir. Kuraklık stresine karşı tolerans, kaçınma ve kaçış. Kaçınma mekanizması stresten dolayı bitki üzerinde oluşan olumsuz etkilerinin giderilmesi veya geciktirilmesi için gerçekleşir. Bu mekanizma sayesinde kuraklık sonucu oluşacak su kaybı en aza indirilmiş olur. Kaçış mekanizması için ise yine su kaybını en aza indirmek için bitki stomaların kapanması şeklinde bir tepki geliştirmiştir. Tolerans mekanizmasında ise su taşınımının engellenmesinin bitki tarafından tolere edilmesi ve ksilem direncinin oluşması ile gerçekleşir. Kaçış mekanizmasında yine asıl hedef

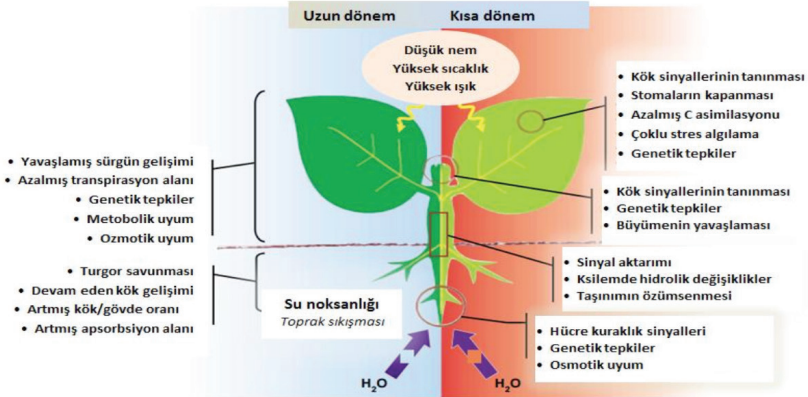
bitkideki su kaybının geçici de olsa tolere edilip en aza indirilmesini sağlamaktır (Delzon, 2015; Basu ve ark., 2016).

Reaktif oksijen çeşitleri (ROS) detoksifikasyon mekanizmalarında AsA-GSH döngüsü AsA ve glutatyon (GSH) molükülünden, antioksidan enzimler askorbat peroksidaz (APX), monodehidroaskorbat (MDHAR), dehidroaskorbat (DHA), glutatyon redüktaz (GR) moleküllerinden oluşur.

Abiyotik stres sonucu bitkide ROS üretimi meydana gelir. ROS detoksifikasyonunda ilk savunma SOD (süperoksitdismutaz) kullanımıdır. O_2 , H_2O_2 'ye dönüşmüştür. Oluşan H_2O_2 katalaz (CAT) enzim aktivitesi sayesinde H_2O 'ya dönüşür ya da H_2O_2 AsA-GSH döngüsü içerisine girer ve bu döngü içinde APX ve ASA kullanılarak H_2O 'ya dönüştürülür. ROS detoksifikasyonuna katılan ASA, DHA'ya oksitlenir. AsA-GSH döngüsünde yer alan enzimler olan MDHAR ve DHAR AsA yolu reaksiyonlarında görev alır. GSH molükülü ROS (glutatyon peroksidaz veya GST aktivitesi ile) veya ksenobiyotik (GST aktivitesi ile) detoksifikasyonunda rol alır. GSH molükülü ROS detoksifikasyonu sırasında glutatyon disülfür molükülü (GSSG)'ye dönüştürülür. Bu GSSG molükülü, glutatyon redüktaz aktivitesi ile tekrar GSH molükülüne dönüştürülür (Hasanuzzaman ve ark., 2017).

Glutatyon redüktaz flavoenzim grubunun bir üyesidir ve disülfid yan grubu içerir. GSSG'nin bir molünün GSH molükülüne dönüştürülmesi için bir mol NADPH kullanılır. (Gill ve ark., 2013).

4. Kuraklık baskısının bitkilerdeki etkileri ve yanıt mekanizmaları



Şekil 11. Bitkide uzun ve kısa dönem oluşabilecek kuraklık baskısına karşı gelişen yanıtlar (Örs ve Ekinci, 2015; Chaves ve Pereira, 2003).

Kuraklık etkisi altında bitkilerdeki büyüme ve gelişme fonksiyonları olumsuz yönde değişir. Bitkideki değişimler bitkinin maruz kaldığı kuraklık süresine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Farooq ve ark., 2014). Kuraklığın olduğu ilk evrelerde, bitki topraktan daha fazla su alabilmek için kök gelişimini destekleyerek ihtiyacı olan suyu topraktan almaya çalışır. Ancak toprakta oluşabilecek uzun süreli bir kuraklık karşısında bitkide kök ve gövde gelişimi bir süre sonra yavaşlar ve durur. Bu durumda bitki yaprak yüzey alanını ve yaprak sayısını azaltır. Yapraklarda sararmalar görülebilir ve yaprak kayıpları meydana gelebilir. Bitkide gerçekleşen bu değişimler kök ve gövde kısımlarındaki hücre bölünmelerinin zayıflamasına sebep olur. Bunun sonucunda ise kuraklık sebebiyle fotosentez oranı düşer (Öztürk, 2015). Kuraklık stresi ile beraber yaprakta sinyal yollarının aktive edilmesi, genlerin ekspresyonu ve protein biyosentezi teşvik edilir. Bunların yanı sıra fotorespirasyon, fotosentez, hücre iskeleti ve hücre bölünmesinin, azot ve amino asit metabolizmasının inhibisyonunu sağlar (Şekil 11) (Wang ve ark., 2016). Ayrıca kuraklık, su ile köklere taşınımı sağlanan bazı besinlerin alımını ve kullanılmasını da engelleyen bir durumdur (Maheshwari, 2012).

Doğal yollarla oluşan kuraklık stresine ek olarak bir de laboratuvar ortamında oluşturulan kuraklık stresi vardır. Bu da polietilenglikol (PEG) kimyasalı tarafından oluşturulabilir.

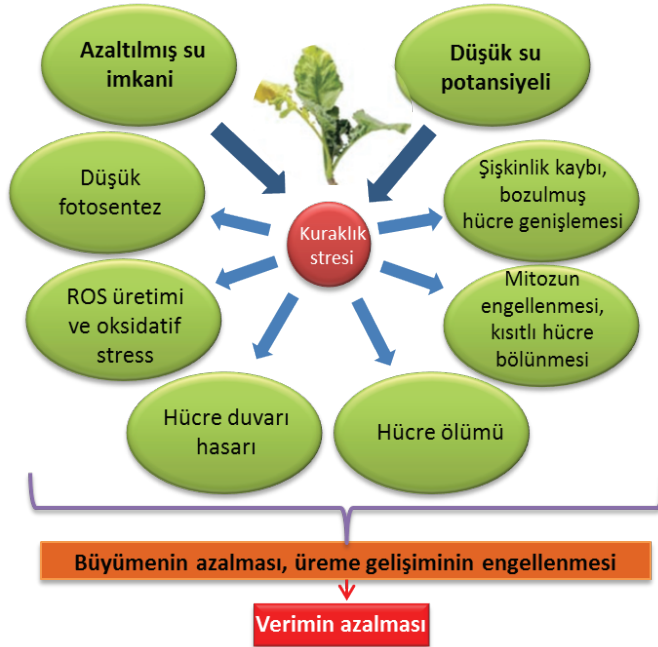
PEG solüsyonu birden fazla farklı konsantrasyona sahiptir. Bu sebeple farklı konstantrasyon testleri yapmak kolaydır. PEG kimyasalının moleküller ağırlığı yüksektir ve bitkinin aldığı suyun bitki hücre duvarına geçişine engel olur. Bu özelliği sebebi ile de çimlenme deneyleri yapılırken bitkinin su potansiyelinin kontrol edilmesinde PEG solüsyonu kullanılır. Çimlenme deneyleri yapılırken tohumlar çeşitli konsantrasyonlarda PEG solüsyonu ile muamele edilirler. Üreticiler, denenen türler için ayırt edici özellik olması yönünden PEG solüsyonunun farklı konsantrasyonlarını kullanarak en ideal konsantrasyonu tespit ederler ve o konsantrasyonu kullanırlar. Tespit edilen konsantrasyon seçilebilecek en yüksek konsantrasyon olup bitkinin de tolere edebileceği maksimum kuraklık sınırıdır (Sallam ve ark., 2019).

4.1. Kuraklık baskısının fizyolojik etkileri

Bitkilerde kuraklık stresine yanıt olarak geçmişte birçok tepki mekanizması tespit edilmiştir. Özellikle buğday ve arpa bitkilerinde kuraklığın oluşturduğu etkileri azaltan birçok fizyolojik değişim tespit edilmiştir. Belirli genler tarafından kontrol edilen bu fizyolojik değişimler genetikçiler ve üreticiler için oldukça önemli göstergelerdir. Kuraklığa direnç gösteren ve kuraklığa duyarlı buğdaylarda oluşan fizyolojik değişiklikler şekildeki gibidir (Anjum ve ark., 2011; Sallam ve ark., 2019; El-Afry ve ark., 2012).

Kuraklık stresi buğday çeşitlerinde kök uzunluğu ve sürgün uzunluğu, RWC değeri yani bağlı su içeriği, yaprak gelişimi ve tohum çimlenmesi gibi fizyolojik gelişimlerde azalmaya sebep olan önemli faktörler arasındadır. Ayrıca oluşan kuraklık stresinin derecesi bitkinin fizyolojik gelişimi ile ters orantılı şekilde etki eder (Hasanuzzaman ve ark., 2013).

Bitkinin kuraklığa maruz kalması sonucunda genel olarak bitkide kök ve gövde oranlarında strese bağlı olarak değişimler meydana gelir. Absisik asit, sitokinin, etilen, malat gibi bazı moleküller stres toleransında miktarlarını arttırarak rol oynarlar. Aba genel olarak bitki terlemesinde etkin rol oynayan bir moleküldür. Ayrıca stres durumunda bitki yanıt olarak stomalarını kapatma eyleminde bulunur ve bu şekilde su kaybını en aza indirmeye çalışır. Klorofil pigmentlerinin azalması ile bitkinin kuraklık stresine yanıt mekanizması düzenlenmeye çalışılır. Kuraklık stresi altında bitkide klorofil içeriğinde azalma meydana gelir. Bu azalmanın sebebinin kuraklık stresinin klorofil pigmentlerini bozduğuna yönelik bir durum olduğu düşünülmür. Bağlı su içeriğindeki değişimler de yine bitkinin kuraklığa toleransında rol oynayan diğer bir parametredir. Yaprak RWC değerleri gelişimin ilk evrelerinde yüksek değerlerde iken kuraklığa maruz kalma süresi ile beraber bu değerlerde azalmalar beklenir (Anjum ve ark., 2011).



Şekil 12. Kuraklık stresine maruz kalan bitkide gerçekleşen bazı değişimler (Vurukonda ve ark., 2016).

Kuraklık stresi ayrıca bitki su alım yeteneğini ve turgoru da etkiler. Bitkinin ihtiyacı olan besini kökleri sayesinde topraktan alamaması ve bitkiye iletilmemesine sebep olur. Bu sebeple suda çözünen besinlerden olan nitrat, kalsiyum, sülfat, magnezyum gibi besinlerin difüzyonunu olumsuz yönde etkiler. Kuraklık bitkide antioksidan savunma sistemine etki ederek serbest radikal oluşumunu da tetikler. Sonuçta kuraklık stresi bitkilerde büyüme, gelişme ve ürün kalitesini olumsuz şekilde etkileyen en önemli faktörler arasındadır (Vurukonda ve ark., 2016; Şekil 12).

4.2. Kuraklık baskısının metabolizmaya etkisi

Bitkilerde kuraklık stresi sonucu oluşabilecek metabolizma hasarının en aza indirilmesi için bitki savunma mekanizmaları mevcuttur. Reaktif oksijen türleri ile antioksidan enzim aktivitesi arasında oluşan denge oksidatif hasarın meydana gelip gelmeyeceğini belirler. Oluşabilecek oksidatif hasarın en aza indirilmesi için bitki tarafından düşük moleküler ağırlıklı antioksidanlar olan enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan sistemler geliştirilir. Bu antioksidanlar; katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR) ve glutatyon S-transferaz (GST) enzimleridir. Bitkide yüksek düzeyde enzim aktivitesi oluşması oksidatif hasara karşı kapasiteyi artırarak kuraklık toleransına katkıda bulunabilir (Anjum ve ark., 2011).

Benzer fizyolojik parametrelerde olduğu gibi fotosentez de çevresel etmenlerden dolayı etkilenir. Kuraklık stresi de bitki üzerinde önemli derecede olumsuz etki bırakır (Hasanuzzaman ve ark., 2013; Anjum ve ark., 2011).



Şekil 13. Bitkide oluşan kuraklık stresi sonucu fotosentez oranındaki düşüşün sebepleri (Hasanuzzaman ve ark., 2013).

Bitkilerde kuraklık stresi sırasında hormon seviyesinde değişiklikler, dengesizlikler oluşur. Hormon dengesizliği sebebi ile bitkilerdeki fotosentez seviyesinde de azalma meydana gelir. Bununla beraber bitkideki RWC değeri ve yaprak su tutma kapasitesinde de azalma ve stomaların kapanması olayları görülür. Stoma kapanması bitkinin strese maruz kaldığı esnada gösterdiği en erken tepkilerdendir. Stomaların kapanması sonucu mezofil hücreleri ile alınan CO_2 'nin alınmasında düşüş meydana gelir ve sonuçta karboksilasyon (CO_2 asimilasyonu) düşer (Hasanuzzaman ve ark., 2013; Ganji Arjenaki ve ark., 2012; Şekil 13).

5. Glutasyon ve glutasyon S-transferazlar

Abiyotik stresin birçok çeşidi buğday türleri için risk faktörü oluştururlar. Bu abiyotik baskı bitkide reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı oranda üretimine sebep olurlar. Reaktifler ve toksik maddeler hücrenin oksidatif hasardan korunması için en aza indirilir. Bitkide enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan bileşenler sayesinde ROS türleri hücrelerden temizlenir.

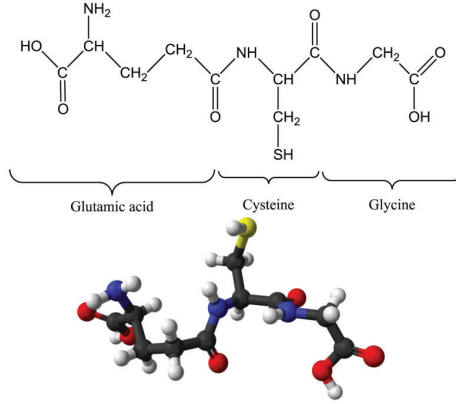
Reaktif oksijen türleri, bitkiler ve aerobik organizmalarda metabolik reaksiyonların yan ürünü olarak sentezlenmektedirler. Abiyotik baskı olarak nitelenen kuraklık, ağır metal birikimi, düşük ve yüksek besin miktarı,

radyasyon, aşırı yağış vb. çevresel etkilere maruz kalan bitkilerde ROS üretiminin hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmesi ile beraber abiyotik baskı ve ROS arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve takibi oldukça önemlidir. ROS seviyesinin düşük olarak ölçüldüğü durumlarda bu moleküller abiyotik strese karşı bitkinin vereceği tepkiyi ve bitki için hayati fonksiyonların planlanma ve düzenlenme görevini üstlenirler. Metabolik fonksiyonların doğru şekilde devam edebilmesi için bitkideki ROS üretimi ile metabolizma reaksiyon ürünleri arasındaki dengenin korunabilmesi hayati bir önem taşır. Bitkilerdeki askorbat glutatyon yolağı ROS'un olumsuz etkileri ile mücadele edilmesinde kilit bir rol oynar. Bu yolak enzimatik (glutatyon S-transferaz, katalaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz, monodehidroaskorbat redüktaz, dehidroaskorbat redüktaz, glutatyon peroksidaz, gayakol peroksidaz) ve enzimatik olmayan (glutatyon, askorbik asit) antioksidanları içerir.

Glutatyon; sistein, glutamik asit ve glisin bir araya gelmesi ile oluşan bir tripeptiddir. Düşük molekül ağırlığına sahiptir. Hücrelerin sitozolünde bulunur. Hücrede yaygın olarak bulunan tiyol intrasellüleri GSH'dır (Anderson, 1998; Tekeli, 2012).

GSH, sülfidril yan grubu içeren, çok işlevli, tripeptid ve substrat özelliği taşıyan suda çözünebilir yeteneği olan önemli bir üründür (Şekil 14). Bitkilerde sinyal iletim yollarında rol alır. Baskı altındaki bitkilerde toleransın belirlenmesinde de oldukça önemli bir parametredir. GSH bitkilerde milimolar konsantrasyonlarda bulunur. Tiyol grubu ile indirgenmiş olarak serbest halde veya disülfid ile okside edilmiş halde 2 ayrı formda bulunabilir. GSH molekülü peptidaz tarafından hidroliz edilen bir moleküldür ancak yapısında bulundurduğu glutamat ve sistein arasındaki g-peptid bağlarından dolayı GSH moleküllerinin hidrolizi önemli oranda azalır. Sisteinin varlığı GSH'ın tiyol grubunun suda çözünürlüğü ve strese karşı büyüme, gelişmelerinde önemli bir metabolit olmasına neden olur. Sistein yapısında bulunan tiyol grubunun varlığı ve yüksek oranda bulunması sebebi ile hücrede antioksidan görevi gören glutatyonun çok büyük bir kısmı (%99'undan fazlası) indirgenmiş halde bulunur. GSH, yapısı nedeniyle oldukça karmaşıktır ve farklı abiyotik stres faktörlerine karşı stresi tolere edebilmek için farklı şekillerde değişip düzenlenirler (Tekeli, 2012; Anderson, 1998).

Oluşan oksidatif strese karşı GSH etkin bir rol oynayarak hücre içerisindeki dengeyi sağlamaya yardımcı olur. Aynı zamanda antioksidan enzimler, antioksidan vitaminler ve GSH sayesinde hücreler reaktif oksijen türlerinin (ROS) neden olduğu oksidatif hasardan korunmuş olurlar ve antioksidan kapasitenin korunması sağlanır (Aksoy, 2002).



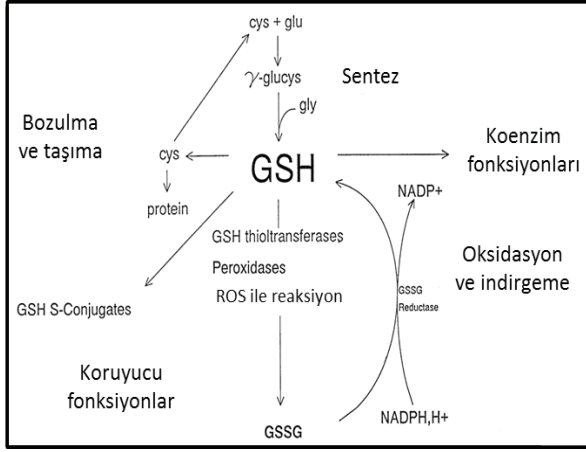
Şekil 14. Glutasyon molekülünün 2 ayrı gösterim şekli (Hasanuzzaman ve ark., 2017).

GSH'nin hücre içerisinde indirgenmiş glutasyon şeklinde kalabilmesi pentoz-fosfat metabolizması sayesinde olur. İndirgeme özelliği güçlü olan GSH hücre içerisinde bulunan proteinlerin, sistenin, dihidrolipoatların, koenzim-A gibi tiyol grubuna sahip moleküllerin ve antioksidan yapıdaki moleküllerin zarar görmesini engellemeye önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca GSH, ribonükleotidleri indirgeyerek deoksiribonükleozid öncüllerinin oluşmasını sağlar. Hücrede oluşabilecek oksidatif hasara karşı da GSH bir koruma sağlar. Hücresel düzeydeki GSH dengesi biyosentez, oksidasyon, import-eksport arasındaki ilişki ile sağlanır iken doku düzeyindeki GSH dengesi dokulardaki GSH akışı ile sağlanır. Hücrelerde gerçekleşen GSH salınımı, hücre içi dengeyi sağlayan mekanizmalar açısından oldukça önemlidir. Lambda-glutamil döngüsü GSH molekülünün sentezinden, kullanılmasından, hücrenin korunmasından, metabolik reaksiyonlardan, taşıma ve depolanma olaylarından sorumludur (Aksoy, 2002).

Glutasyon, dokularda iki farklı formda bulunur; indirgenmiş glutasyon (GSH) ve okside glutasyon (GSSG). İndirgenmiş glutatyonda serbest halde bir sülfidril grubu bulunur. Bu sülfidril grubu sayesinde hemoglobin sistenlerinin ve hücre içi diğer proteinlerin tiyol gruplarının indirgenmiş formda stabil oluşu sağlanır. Tiyol grupları enzim ve proteinlerde indirgenerek, indirgenmiş olan formların dengede kalması sağlanır. Böylece GSH sistenlerindeki $-\text{SH}$ yan grubu sayesinde GSH'nin fizyolojik özellikleri yerine getirilir.

Tiyol grubu içeren enzim çeşitlerinin çalışma hızı/aktivitesi daha düşüktür fakat enzim O_2 ile muamele edilip okside olursa aniden enzim aktivitesi düşer. Bu düşüş ile beraber GSH oksidasyona uğrar ve tiyol grup-

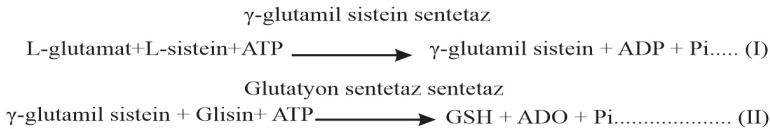
larını tekrar indirger ve ardından tiyol gruplarının aktivitesinde artış olur (Tekeli, 2012; Şekil 15).



Şekil 15. Glutatyon Metabolizması (Anderson, 1998).

Canlılarda GSH molekülünün sentezi 2 kademede gerçekleşir. İlk kademe glutamyl sentetaz enzimlerinin kullanıldığı, ikinci kademe ise GSH sentetaz enzimlerinin kullanıldığı aşamadır (Aksoy, 2002; Chaves ve Pereira, 2003; May ve ark., 1998).

İlk aşamada γ -Glutamyl sisteinil sentetaz enzimi aracılığıyla, L-glutamat ile L-sistein birleşmesi sonucu olur. Reaksiyonda katalizör olarak görev alan γ -glutamyl sistein sentetaz enzimi glutatyon sentez reaksiyonunu durdurabilen bir enzim çeşididir. İkinci aşamada γ -glutamyl sistein ve glisin bir araya gelmesi ile olur (Şekil 16). GSH dengesinin sağlanmasında enzim sentezinin önemi büyüktür. Buna ek olarak, hücrede GSH sentezinin arttığı durumlarda siklotransferaz enzim yardımı ile γ -glutamyl5-oxoproline dönüştürülebilir. Hücre içi GSH sentezinin oluşabilmesi için GSH'nin hücre dışında degradasyona uğraması ve degradasyon sonucunda oluşan ürünlerin hücre içerisine alınması gerekir (Tekeli, 2012; May ve ark., 1998).



Şekil 16. GSH biyosentezi reaksiyonu (Tekeli, 2012).

İlk basamakta γ -glutamil sisteinil sentetaz katalizörü kullanılarak glutamat ve sisteinin birleşmesi ile ve ATP bağımlı olarak gerçekleşen reaksiyon zincirinin ikinci basamağında glutatyon sentetaz katalizörü kullanılarak glutamil sistein ve glisinin birleşmesi ile ve ATP bağımlı olarak GSH oluşur (May ve ark., 1998).

Glutatyon konsantrasyonu, glutatyonun sentez reaksiyonlarında kullanılan substratların ve enzimlerin konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Hücrelerde glutamat ve glisin yoğunluğu fazla iken sistein miktarı kısıtlıdır. Hücrelerin bazılarında sistein oluşumu serin aminoasidinin metiyonin kullanılarak transsülfürasyonu ile olur. Sistein dokulardaki proteinin yıkılması sonucu ve beslenme yolu ile alınan proteinlerle alınabilir (Aksoy, 2002; May ve ark.; 1998; Tekeli, 2012).

Glutatyon S-transferaz enzimleri 20-25 kDa molekül ağırlığında olan, hücre molekülünü reaktiflere karşı koruyan Faz-II enzim ailesi üyelerindendir. GST'ler substrat olarak glutatyonu kullanırlar ancak genel olarak çok substratlı bir enzim çeşididir. Ksenobiyotiklerin metabolizmasında GST enzimleri oldukça önemlidir. Glutatyon, kosubstrat molekülüne özgül olarak bir G bölgesi ile bir H bölgesi içerir. GSH içerdiği tiyol grubu sayesinde başka substratlara bağlanır. GST ayrıca hücre içerisinde molekülünü indirgeme özelliğine sahiptir. Bu sayede hücre membranında oluşabilecek lipid peroksidasyonundan hücreyi korur. Bu özelliği ile GST'ler hücrede koruyucu bir rol üstlenmektedirler (Tekeli, 2012; Arı ve ark., 2002; Moron ve ark., 1979) ve GST enzimleri genellikle çok çeşitli organizmaların -insan, fare, sıçan ve bitki gibi-farklı bölgelerinden elde edilerek çalışılmıştır (Tekeli; 2012; Orhan ve Şahin, 1995).

GST enzimleri hücre içerisinde birçok rol üstlenirler. Bu rollerden bazıları; hücrede oluşan oksidatif strese karşı moleküler seviyede hücreyi korumak, hücrede biriken toksik maddelere karşı hücrede koruma sağlamak, prostaglandin, lökotrien gibi bazı maddelerin sentezlenmesini ve modifikasyonunu sağlamaktır. DNA mutasyonlarını arttırıp karsinogeneze yol açabilecek bir oksidatif hasardan hücreyi koruyan yine GST enzimleridir. GST enzimleri, hidrofobik ve elektrofilik özellik gösteren moleküllere glutatyon (GSH) bağlanmasını gerçekleştirebilirler. Bu şekilde toksik maddelerin hücre dışına atılması sağlanır (Allocati, 2018; Atalay ve ark., 1998).

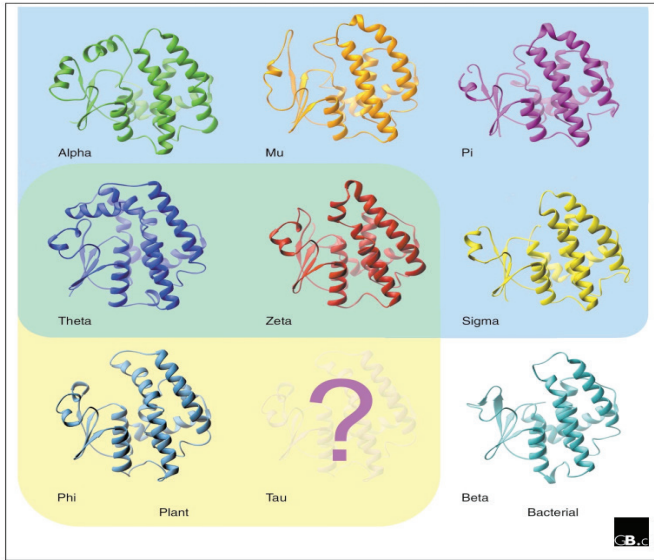
GST'lerin diğer enzim aktiviteleri arasında, bilinen yaygın konjuge reaksiyonlarının yanı sıra farklı tip reaksiyonlarda katalizör olarak görev almaları gösterilebilir. Yağ asitleri, DNA hiperoksitler ve lipid peroksidasyonu ile oluşan fosfolipidler GST enzimleri tarafından indirgenebilen bazı bileşiklerdir. GST enzimleri tüm bunların dışında tiyol grubunun bir molekülden diğerine aktarımını sağlayan enzim olma özelliği göstererek tiyolaz ve izomerizasyonda görev alır. GST tarafından katalizlenen izomerizasyon

için 3 farklı mekanizma bilinmektedir. Bunlar; C=C çift bağ kaymaları, molekül içi redoks tepkimeleri, sis-trans izomerizasyonlarıdır (Allocati, 2018).

GST'lerin enzimatik olmayan aktivitelerinden bazıları ise; apoptoz esnasında oluşan hücre sinyal iletim yollarında, protein kinaz aile üyelerinin aktivitesinin kontrolünün sağlanmasında görev almaktadır.

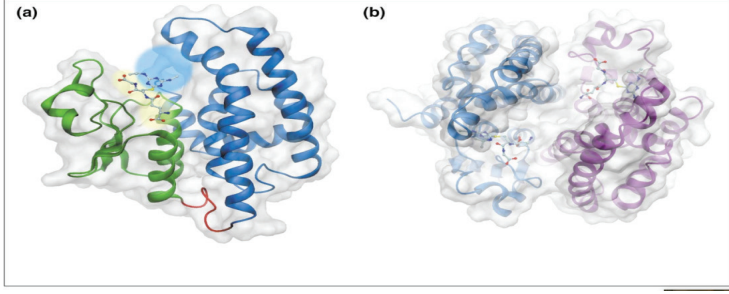
5.1. Bitkilerde GSH ve GST sistemleri

GST enzimleri ilk olarak 1960'lı yıllarda hayvan karaciğerinde keşfedildi. Bitkilerdeki ilk keşfi ise hayvanlardaki keşfinden kısa bir süre sonra 1970 yılında mısır bitkisinde oldu. GST enzimleri hücrelerde yaygın olarak bulunan enzim süper ailesinin bir üyesidir. Çok işlevlidirler ve hücresel fonksiyonlarda görev alırlar. 1970 yılında bitkilerde GST enzimlerinin keşfinden sonra çalışmalar devam etmiş ve 1980'li yıllarda mısır bitkisinden elde edilen gst enzimlerinin memelilerde bulunan GST enzimlerinde oldukça farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu tespitin ardından çok sayıda GST enzimi farklı bitki türlerinden saflaştırılarak incelenmiştir. İlk zamanlarda GST enzim sınıflandırması sadece 3 çeşitle sınırlı kalacak şekilde yapılmıştır. Ancak hem bitki hem de memeli GST'leri iyice araştırılıp öğrenildikten sonra bu sınıflandırmanın yetersiz kaldığı anlaşılmıştır. Bu nedenle daha yüksek yapılı bitkilerdeki araştırmalarla bitki GST'leri çözümlenmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. GST enzim süper ailesi üyeleri ve bitkilere özel izozimler (sarı çerçeve içerisinde gösterilmektedir) (Dixon ve ark., 2002).

Bitkilerde phi, tau, teta, zeta, lambda GST çeşitleri bulunur. Bu GST'ler arasında teta ve zeta GST'lerin hayvanlarda benzerleri vardır fakat diğer çeşitler bitkilere özeldir. Phi ve tau GST sınıfları bitkide en fazla bulunan çeşitlerdir. Zeta ve teta GST enzimleri hem hayvan hem de bitkilerde bulunan GST çeşitleridir. Ksenobiyotiklerin metabolizasyonunda önemli bir rol oynarlar. Tau ve phi GST'ler sırasıyla bitkide en çok bulunan GST çeşitleridir. GST'ler koenzim ya da kofaktör işleviyle glutatyonu kullanıp çeşitli reaksiyonları gerçekleştirir. GST enzimleri çoğunlukla sitozolde ifade edilir. Sitozolda, oksidatif stres anında GSH bağımlı katalitik reaksiyonların katalizlenmesini gerçekleştirir. Ayrıca GST enzimleri koful içerisinde de bulunabilir. Burada ise katalitik olmayan reaksiyonlarda görev alır. Daha önce tespit edildiği üzere GST'ler hücre içi sinyal yollarında da görev alırlar. GST enzimleri şekilsel ve yapısal olarak çeşitlilikleri sayesinde farklı görevler üstlenme yeteneği kazanmışlardır (Dixon ve ark., 2002; Hao ve ark., 2021; Kumar ve ark., 2013; Mauch ve Dudler, 1993).



Şekil 18. GST monomerlerinin birleştirilmiş haldeki dimer yapısı ve yapıya substrat bağlanması ile oluşan kompleks (Dixon ve ark., 2002).

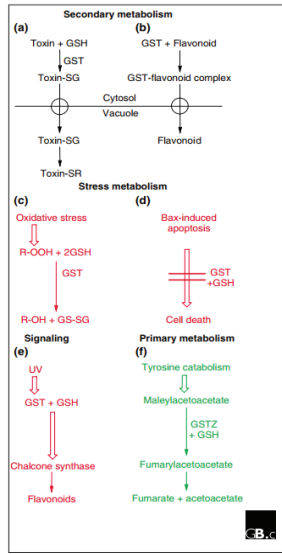
Şekil 18’de üç boyutlu konfigürasyonu resmedilen GST enzim yapısında:

(a) Standart bir GST alt briminde yeşil ile gösterilen kısım (Şekil 18) enzimin amino-terminal alanını, kırmızı ile gösterilen kısım bağlayıcı bölgeyi, mavi ile gösterilen kısım karboksi-terminal alanını, gri ile gösterilen kısım ise protein yüzeyini ifade eder. GSH substratının bağlandığı bölge sarı renk ile ifade edilmiştir, hidrofobik bölge ise mavi renk ile gösterilmiştir.

(b) Mavi ve mor renklerle gösterilen kısımlar amino-terminal alanlarıdır. Alt birimlerin aktif bölgesine bağlı olan çubuk ve top şeklindeki gösterim atrazin-glutatyon konjugatıdır (Dixon ve ark., 2002).

Şekil 19’da ifade edilen mekanizmada; (a) sekonder metabolizmada GST enzimleri GSH molekülleri ile konjugasyonla toksinlerin detoksifi-

kasyonunu sağlarlar ve konjugatlar, dairelerle gösterilmiş olan ABC taşıyıcıları ile kofullara taşınırlar. (b) bazı phi ve tau GST enzimleri ile flavanoidlerin kofullara taşınımı gerçekleşir. (c, d, e) GST enzimlerinin stres metabolizmasındaki görevi (c) glutatyon peroksidazlar (d) Antioksidan aktivite esnasında hücre ölümüne karşı koruma sağlanması (e) stres metabolizmasında stres sinyal yolağında, bitkinin UV ışığa maruz kalmasının ardından kalkan sentetaz indüklenmesinde GST+GSH kompleksi rol alır. Kalın okla gösterim indüksiyon, ince okla gösterim enzimsel reaksiyonlardır (Wang ve ark., 2016).



Şekil 19. Bitkilerde bulunan GST enzimlerinin işlevleri (Wang ve ark., 2016).

Kaynakça

- Aksay, C. S., Ketenoglu, O., & Kurt, L. (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği Cemal. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 1(25), 29–42.
- Aksoy, Y. (2002). Antioksidan Mekanizmada Glutatyonun Rolü. *Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 22(4), 442–448.
- Allocati, N. (2018). Glutathione transferases : substrates , inhibitors and pro-drugs in cancer and neurodegenerative diseases. *Oncogenesis*. <https://doi.org/10.1038/s41389-017-0025-3>
- Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). *Morphological , physiological and biochemical responses of plants to drought stress*. 6(9), 2026–2032. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>
- Atak, M. (2017). *Buğday ve Türkiye Buğday Köy Çeşitleri Özet Wheat and Wheat Landraces of Turkey Giriş*.
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A., & Pereira, A. (2016). Plant adaptation to drought stress [version 1; referees: 3 approved]. *F1000Research*, 5(0), 1–10. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.7678.1>
- Chaves, M. M., & Pereira, J. S. (2003). *Understanding plant responses to drought - From genes to the whole plant Review : Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant*. (May 2014). <https://doi.org/10.1071/FP02076>
- Delzon, S. (2015). New insight into leaf drought tolerance. *Functional Ecology*, 29(10), 1247–1249. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12500>
- Dixon, D. P., Laphorn, A., & Edwards, R. (2002). *Protein family review Plant glutathione transferases*. 1–10.
- El-Afry, M. M., El-Nady, M. F., Abdelmonteleb, E. B., & Metwaly, M. M. S. (2012). Anatomical studies on drought-stressed wheat plants (triticum aestivum l.) treated with some bacterial strains. *Acta Biologica Szegedensis*, 56(2), 165–174.
- Farooq, M., Hussain, M., & Siddique, K. H. M. (2014). Drought Stress in Wheat during Flowering and Grain-filling Periods. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(4), 331–349. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291>
- Gall, H. Le, Philippe, F., & Domon, J. (2015). *Cell Wall Metabolism in Response to Abiotic Stress*. (i), 112–166. <https://doi.org/10.3390/plants4010112>
- Ganji Arjenaki, F., Jabbari, R., & Morshedi, A. (2012). Evaluation of Drought Stress on Relative Water Content, Chlorophyll Content and Mineral Elements of Wheat (Triticum aestivum L.) Varieties. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(11), 726–729.
- Gill, S. S., Anjum, N. A., Hasanuzzaman, M., Gill, R., Trivedi, D. K., Ahmad, I., ... Tuteja, N. (2013). Glutathione and glutathione reductase: A boon in

- disguise for plant abiotic stress defense operations. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70, 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.032>
- Hao, Y., Xu, S., Wang, H., & Kong, L. (2021). *Comparative Analysis of the Glutathione S-Transferase Gene Family of Four Triticeae Species and Transcriptome Analysis of GST Genes in Common Wheat Responding to Salt Stress*. 2021.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Anee, T. I., & Fujita, M. (2017). Glutathione in plants: biosynthesis and physiological role in environmental stress tolerance. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23(2), 249–268. <https://doi.org/10.1007/s12298-017-0422-2>
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Gill, S. S., & Fujita, M. (2013). Drought Stress Responses in Plants, Oxidative Stress, and Antioxidant Defense. *Climate Change and Plant Abiotic Stress Tolerance*, 209–250. <https://doi.org/10.1002/9783527675265.ch09>
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(1), 100–105.
- Karagöz, H. (2020). Determination of the Yield Quality and Winter Durability Characteristics of Some Bread Wheat (*Triticum aestivum*) Genotypes in Pasinler and Erzincan Locations. *Alinteri Journal of Agricultural Sciences*, 35(2), 30–36. <https://doi.org/10.47059/alinteri/v35i2/ajas20072>
- Kasim, W. A., Osman, M. E., Omar, M. N., Abd El-Daim, I. A., Bejai, S., & Meijer, J. (2013). Control of Drought Stress in Wheat Using Plant-Growth-Promoting Bacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(1), 122–130. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9283-7>
- Kumar, S., Asif, M. H., Chakrabarty, D., Tripathi, R. D., Dubey, R. S., & Trivedi, P. K. (2013). Differential Expression of Rice Lambda Class GST Gene Family Members During Plant Growth, Development, and in Response to Stress Conditions. *Plant Molecular Biology Reporter*, 31(3), 569–580. <https://doi.org/10.1007/s11105-012-0524-5>
- Maheshwari, D. K. (2012). Bacteria in agrobiolgy: Stress management. *Bacteria in Agrobiolgy: Stress Management*, 9783642234, 1–333. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-23465-1>
- Mauch, F., & Dudler, R. (1993). Differential induction of distinct glutathione-S-transferases of wheat by xenobiotics and by pathogen attack. *Plant Physiology*, 102(4), 1193–1201. <https://doi.org/10.1104/pp.102.4.1193>
- May, M. J., Vernoux, T., Leaver, C., Van Montagu, M., & Inzé, D. (1998). Glutathione homeostasis in plants: Implications for environmental sensing and plant development. *Journal of Experimental Botany*, 49(321), 649–667. <https://doi.org/10.1093/jxb/49.321.649>

- Monfreda, C., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2008). Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(1), 1–19. <https://doi.org/10.1029/2007GB002947>
- Moron, M., Depierre, J., & Mannervik, B. (1979). Levels of glutathione-S-transferase activities in rat lung and liver. *Biochimica et Biophysica Acta*, 582(January 1979), 67–68.
- Motiee, H., & Mcbean, E. (2012). (*Assessment of*) *Drought As A Water Related Disaster - A Case Study of Lake Oroomiyeh*. 259471158(September).
- ÖRS, S., & EKİNCİ, M. (2015). Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi. *Derim*, 32(2), 237. <https://doi.org/10.16882/derim.2015.90060>
- ÖZBERK, F., KARAGÖZ, A., ÖZBERK, İ., & ATLI, A. Y. (2016). Buğday Genetik Kaynaklarından Yerel ve Kültür Çeşitlerine; Türkiye’de Buğday ve Ekmek. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 218–233. <https://doi.org/10.21566/tarbitderg.281346>
- Özberk, İ., Atay, S., Altay, F., Cabi, E., Özkan, H., & Atlı, A. (2016). *Türkiye’nin Buğday Atlası*.
- Öztürk, N. Z. (2015). *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi Bitkilerin Kuraklık Stresine Tepkilerinde Bilinenler ve Yeni*. 3(5), 307–315.
- Sallam, A., Alqudah, A. M., Dawood, M. F. A., Baenziger, P. S., & Börner, A. (2019). Drought stress tolerance in wheat and barley: Advances in physiology, breeding and genetics research. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(13). <https://doi.org/10.3390/ijms20133137>
- Semenov, M. A., Stratonovitch, P., Alghabari, F., & Gooding, M. J. (2014). Adapting wheat in Europe for climate change. *Journal of Cereal Science*, 59(3), 245–256. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.006>
- Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(6), 1537–1553. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp058>
- Tekel, H. (2012). *Hakan TEKELĞ*.
- Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & SkZ, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. In *Microbiological Research* (Vol. 184). Elsevier GmbH. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>
- Wang, X., Cai, X., Xu, C., Wang, Q., & Dai, S. (2016). Drought-responsive mechanisms in plant leaves revealed by proteomics. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/ijms17101706>

Bölüm 4

***SPODOPTERA EXIGUA*'NIN YAŞAM DÖNGÜSÜ VE İNSEKTİSİTLERE KARŞI DİRENÇ DURUMLARI**

***Metin KONUŞ*¹**

***Can YILMAZ*²**

***Nurhan Didem KIZILKAN*³**

1 Doç. Dr. Hitit Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, ORCID: 0000-0002-9953-1375

2 Dr Öğr. Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, C.Y. ORCID: 0000-0002-0028-6614

3 Hitit Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, ORCID: 0000-0003-4129-1396

1. *Spodoptera exigua*'nın Taksonomisi

Takım: Lepidoptera

Aile: Noctuidae

Tür: *Spodoptera exigua*

Diğer İsimler: Pamuk çizgili yaprakkurdu, Çizgili yaprakkurdu, Karadrina (Anonim, 2021)

1.1. *Spodoptera exigua*'nın Morfolojisi

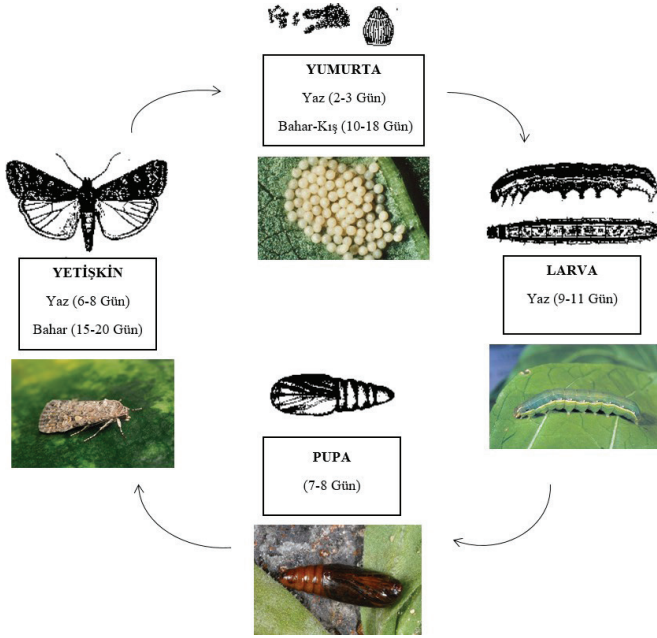
Spodoptera exigua'nın yumurtaları hafif pamukçuk kaplı ve yeşildir. Görünüş olarak inciyi andıran bir küre şekildedirler. Larvalar ise yumurtadan çıktıkları zaman önce yumurta kabuğu ile beslenir, renkleri ise yeşilden sarıya değişir ve olgunlaştıkça koyulaşır. Larva gelişiminde genellikle beş farklı gelişim evresi vardır. İlk evrede larvaların boyu yaklaşık 1 mm, vücudu şeffaf renkte, başı siyah ve başı vücuda oranla büyüktür. Larvaların vücutlarında kıl yapısı gözlemlenmez. Genel görünüş itibarıyla pürüzsüz bir yapıdadırlar. Larvalar, birinci ve ikinci evrede soluk yeşil veya sarı renktedir, ancak üçüncü evrede soluk çizgiler kazanır. Dördüncü evre sırasında, larvalar daha koyu renklidir ve koyu bir yanal çizgiye sahiptir. Beşinci evredeki larvaların görünümü oldukça değişkendir, yanal olarak beyaz bir şerit bulundurabilir ve genel olarak yeşil olma eğilimindedir. Bazen larvalar çok koyu bir yeşil ya da siyaha yakın renkte olabilir. Beşinci dönemde larvaların boyu 2-2.5 cm kadardır. Şekil 1.'de 4. ve 5. dönem seviyesindeki larvalar gösterilmiştir. Larva, 5 dönem geçirdikten sonra pupa evresine geçer.

Gelişen larva toprağın 4-7 cm altında bir alan açar ve burada pupa haline gelir. Pupa hali yaklaşık olarak 1 cm boyunda ve açık kahverengidir. Pupa döneminden ergin hale geçen kelebek halini alan *Spodoptera exigua* yer yer gri gümüşü renklidir. Kanatları üzerinde zikzaklı çizgiler bulunur. Bir erginin ortalama kanat açıklığı 25 ile 32 mm aralığındadır. Ortalama olarak 2-2.5 cm boyundadır. Ön kanatta biri fasulye gibi diğeri yuvarlak şeklinde olan kahverengi, gözle görülebilen iki lekesi vardır. Dişi erginler erkek erginlere göre oldukça gelişmiştir. Ayrıca ,dişi erginler genellikle daha koyu renklidir (Anonim, 2021).



şekil 1. *Spodoptera exigua*’nın 4 ve 5 dđnem larvaları

Bir dişi *Spodoptera exigua* hayatı boyunca 300-600 kadar yumurta bırakmaktadır. Dişi *Spodoptera exigua* yumurtalarını yaprak altlarına, toprak altına ya da bitkilerin alt yapraklarının üstlerine paketler halinde bırakır ve abdomen bölgesinden çıkardığı beyaz pulcuklarla örter. Bir dişi 20-150 adet kadar yumurta bilmektedir. Yumurtalar, yaz aylarında ortalama 2-3 günde, bahar ve kış aylarında ise ortalama 10-18 günde açılır. Yeni çıkan larvalar önce çıktıkları yumurtanın kabuğunu yiyerek beslenmeye başlarlar. Bu larvalar ilk dönem larvaları olarak bilinirler. Larvalar büyüme evrelerinde beş evre zamanını geçirdikten sonra pupa haline girerler. Pupa dönemi yazın 7-8 gün kadar sürmektedir. Erginler çiçek nektarları ile beslenirler. Erginlerin ömrü yazın 5-8 gün, bahar aylarında ise 12-20 gündür. Dişi *Spodoptera exigua*’ların yaşam süreleri erkeklere göre daha uzundur (Capinera, 2002) (şekil 2).



Şekil 2. *Spodoptera exigua* yaşam döngüsü (Capinera, J. L. 2002).

2. Böceklerde Detoksifikasyon Enzimleri

Kimyasal mücadelede yaygın olarak kullanılan dört (4) farklı tip insektisit grubu mevcuttur. Bu gruplar; organoklorinler, piretroidler, organofosfatlar ve karbamatlardır. Dört tip insektisit grubu da böceklerde sinir sistemini hedef alırlar. Organoklorinler ve piretroidler, nöronlarda aksonal membranlardaki kanallara etki ederek, madde geçişlerini bozarlar. Organofosfatlar ve karbamatlar ise iki nöron arasındaki sinaptik boşluktaki nörotransmitter maddeleri (asetilkolinler) inhibe ederler. Tarımsal zararlılar, insektisitlere maruz kaldıklarında, insektisitlerin etki ettiği bölgeyi değişikliğe uğratarak, insektisitlerin metabolize olduğu esnada toksik olmayan forma dönüştürerek veya toksik maddeyi belirli bir alanda kendisine zarar vermeyecek şekilde depolayıp, daha sonra dışarıya atılmasını sağlayarak etkiyi metabolik olarak en aza indirmeyi hedeflerler. Ancak ekonomik öneme sahip olan tarımsal ürünlerin zararlı tarafından yüksek oranda tahrip edilmesi, insektisit kullanımının ve uygulama dozunun artmasına neden olmaktadır. Yüksek oranda ve dozda insektisit kullanımı ise böceklerin ilaçlara karşı direnç kazanmasını tetiklemektedir.

Böceklerin insektisitlere karşı kendilerini korumak için geliştirdikleri detoksifikasyon enzim sistemleri mevcuttur. Sitokrom P450, GST ve hidrolaz gibi bazı enzimler, insektisitlerin böcek metabolizmasına girmesi sonucunda bu kimyasalların toksik özelliklerinin elimine edilmesinden sorumludurlar. Toksik özelliklerin giderilmesi faz I ve faz II reaksiyonları

tarafından katalizlenir. Faz I reaksiyonları ile indirgenen insektisitler, daha az toksik olan maddelere dönüştürülür. Faz I reaksiyonlarının asıl amacı, moleküle polar olan fonksiyonel bir grup eklenmesini sağlayarak ya da var olan fonksiyonel grubu değiştirerek molekülü daha polar ve daha kolay bir şekilde metabolizmadan atılabilir hale getirmektir. Bu reaksiyonlarda maddelere nükleofilik ya da elektofilik gruplar eklenmektedir. Faz II reaksiyonlarında ise genellikle daha az toksik halde bulunan maddeler hidrofilik maddelere dönüştürülerek metabolizmadan uzaklaştırılırlar. Tüm bu reaksiyonları içeren, ilaç, insektisit gibi maddelerin çeşitli enzimlerin etkisiyle kimyasal değişikliklere uğraması ve başka moleküllere dönüşümü biyotransformasyon olarak bilinmektedir (Karaağaç, 2012).

2.1. Faz I Reaksiyonları

2.1.1. Oksidasyon

Oksidasyon reaksiyonları, molekül yapısına oksijenin girip, hidrojenin ayrılmasıyla gerçekleşen reaksiyonlardır. Faz I reaksiyonlarının en önemli grubu olarak bilinir. Oksidasyon reaksiyonları, çoğunlukla P450 olarak bilinen sitokrom P450 monooksijenazlar tarafından katalizlenir. Kimyasal molekül, sitokrom P450 monooksijenaza bağlanır ve polaritesi artar. Faz I reaksiyonları pek çok farklı çeşitlerde olabilir. Hidroksilasyon, epoksidasyon, dealkilasyon, desülfürasyon, deaminasyon gibi reaksiyonlar bu tip reaksiyonlara örnek olarak verilebilir. Özellikle piretroidli insektisitleri detoksifiye ederler.

2.1.2. Redüksiyon

Redüksiyon reaksiyonları, molekül yapısına hidrojenin girip, oksijenin ayrılmasıyla gerçekleşen reaksiyonlardır. Genel ismiyle redüktazlar tarafından katalizlenirler. Karbonil redüksiyonu, azo ve nitro redüksiyonları en bilinen redüksiyon reaksiyonlarıdır.

2.1.3. Hidroliz

Hidroliz reaksiyonları, molekül yapısına suyun girmesiyle bağların parçalanmasına esasına dayanan reaksiyonları içermektedir ve bu reaksiyonları katalizleyen enzimler hidroksilazlar olarak bilinirler. Hidroksilazların ise en önemli enzimlerinden biri esterazlardır. Esterazlar ester bağlarını hidrolize ederek, alkol ve asite parçalarlar. Bunun yanı sıra, fosfatazlar, sülfatazlar ve epoksit hidrolazlarda bu aileye ait farklı enzim çeşitleridir. Esterazlar, piretroidli ve organik fosfatlı insektisitleri kısa sürede detoksifiye ederler. İnsektisitlerin metabolizmasından sorumlu esteraz enzimleri 3 gruba ayrılmaktadır; a-esterazlar organik fosforlu insektisitleri hidroliz ederek parçalanmalarına yardımcı olur ancak insektisitinin etkisini engellemezler, b-esterazlar organik fosforlu insektisitlerin etkilerini metabolik olarak engellerler, c-esterazlar ise, organik fosforlu insektisitleri

indirgeyebilirken, metabolik etkilerini engellemezler (Yorulmaz ve Ay, 2010; Demiröz, 2015).

Esterazlar böceklerde, sindirim ve sinir sistemi, insektisitlere direnç gibi birçok mekanizmada rol alan enzimlerdir. Böceklerin, insektisitlere karşı direnç geliştirmesinde özellikle asetilkolin esterazlar ve karboksil esterazlar önemli esteraz enzimleridir. Esterazlar, organik fosforlu insektisitlerin detoksifikasyonunda önemli rol alırlar. Karboksil esterazlar, insektisitlerin toksisitesini sinir sistemi hedefine ulaşmadan önce giderirler. Asetilkolin esterazlar ise (AChE), dokularda serbest veya fosfolipidlere bağlı bir şekilde bulunan asetilkolini hidroliz eden enzimlerdir. Asetilkolin (ACh), bir sinir ucundan diğer bir sinir hücresi ucuna, ileti taşımaktan sorumludur. Organik fosforlu, karbamatlı, organik klorlu gibi insektisitler, asetilkolinin (ACh) asetilkolin esteraz (AChE) tarafından yıkılmasını önleyerek asetilkolin miktarını artırır. Bu tür insektisitlerin yoğun kullanımı böceklerde dirençli bireylerin oluşmalarını sağlar (Gunning ve Moores, 2001; Yorulmaz ve Ay, 2010).

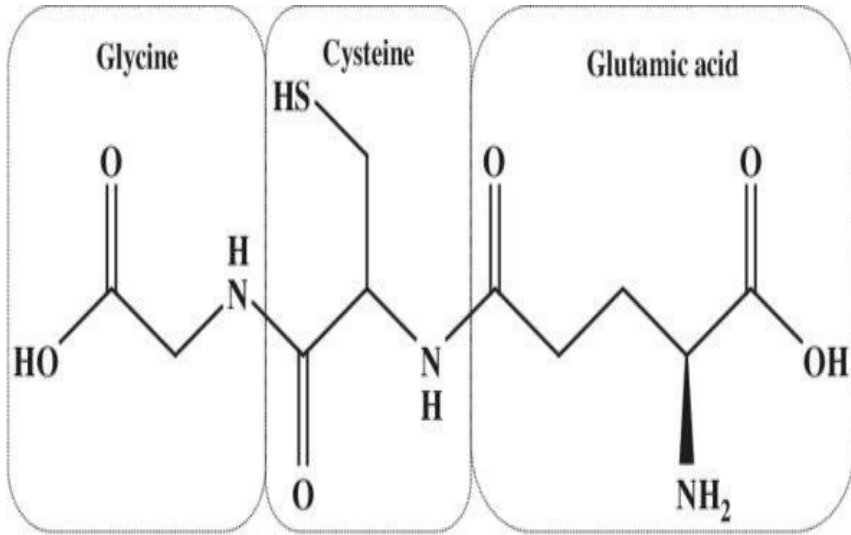
2.2. Faz II Reaksiyonları

Faz II reaksiyonları, faz I reaksiyonlarından oluşan polar molekülleri daha polar hale getirmeyi amaçlayan reaksiyonlardır. Genellikle, faz I sonucu oluşan moleküllerde faz II enzimlerinin bağlanabilmesi için gerekli gruplar oluşturulur. Faz II reaksiyonlarına konjugasyon reaksiyonları da denilmektedir. Faz II reaksiyonlarında molekülün büyüklüğü artar ve molekül oldukça polar bir yapıya dönüşür. Faz II reaksiyonlarını katalizleyen bazı enzimler vardır. Bunlardan en aktif olanları glutatyon-S-transferaz enzimleri, sülf transferazlar, glutamil transferazlar veya asetilazlardır.

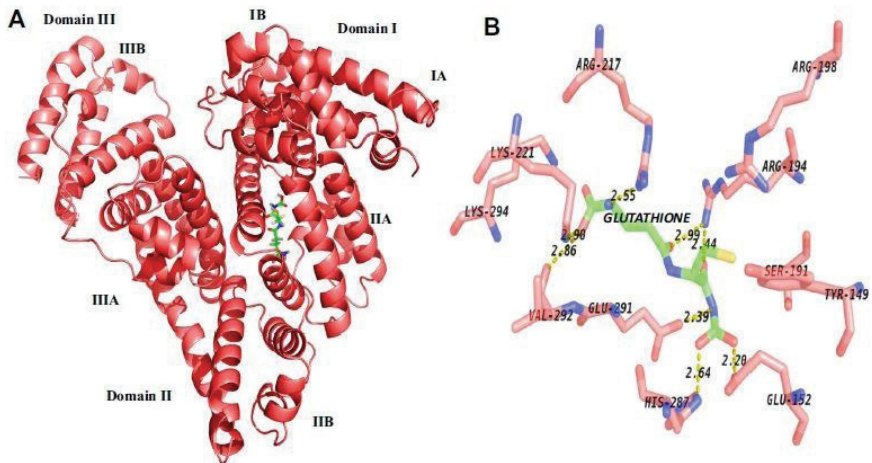
2.2.1. Glutatyon S-Transferaz Enzim Ailesi

Glutatyon S-transferazlar substrat olarak glutatyonu kullanan, faz II enzimlerinin en önemli gruplarından biridir. Glutatyon; glisin, sistein ve glutamin aminoasitlerini içeren bir tripeptittir (Şekil 3). Glutatyon hücre içerisinde endojen ve eksojen bileşiklerin detoksifikasyonunu sağlar. Glutatyon S-Transferaz (GST), glutatyon ile konjugatif bir ilişki kurar. Molekül glutatyonla bağlandığı anda GST enzimi nükleofilik bir saldırı gerçekleştirerek molekülü kendine bağlar (Şekil 4). Çeşitli enzimlerin yer aldığı birkaç basamaktan oluşan bir reaksiyon sonucu merkapturik asit oluşur ve molekül enzimden ayrılır. GST, sitozolde ya da mikrozomlarda bulunabilmektedir. Sıklıkla sitozolik GST halinde bulunur. Memelilerde sitozolik glutatyon-S-transferazlar; delta, epsilon, omega, teta, sigma, zeta gibi sınıflandırılarak birbirlerinden ayrılmışlardır. Bu sınıflardan sadece böceklere özel olan sınıflar mevcuttur. Genellikle delta ve epsilon GST sınıflarından enzimler sadece böceklerde bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, omega, teta, sigma ve zeta sınıfından da GST enzimleri böceklerde mev-

cuttur. Delta, epsilon GST sınıfı enzimleri, organofosfat ve organoklorin türü insektisitlerin metabolize edilmesinden sorumludurlar. Böceklerde GST enzimi insektisit toksisitesinin giderilmesine ek olarak hücre membranlarının oksidatif hasarlara karşı korunmasında desteklemektedirler (Mannervik ve ark., 1988; Enayati ve ark., 2005; Yorulmaz ve Ay, 2010; Ketterman ve ark., 2011; Shou-Min, 2012).



Şekil 3. *Glutasyon Molekülü (Jahanban-Esfahlan ve Panahi-Azar, 2016).*



Şekil 4. (A) Moleküler Modelleme ile Sığır Serum Albuminin Glutasyon ile Etkileşimi, (B) Glutasyon (Yeşil Renkli) ile Sığır Serum Albuminin Amino asitleri (Pembe ve Mavi) arasındaki Hidrojen Bağları (kesikli sarı çizgi) ile gösterilmiştir (Jahanban-Esfahlan ve Panahi-Azar, 2016).

3. *Spodoptera exigua*'nın Çeşitli İnsektisitlere Karşı Direnç Durumları

Spodoptera exigua hem ülkemizde hem de dünyada pek çok bitkide konukçu olabilen, bulunduğu bitkilerin hemen hemen her organıyla beslenebilen bir zararlı türüdür. Patates, lahanada, yer fıstığı, soya, mısır, pamuk, domates, arpacık soğanı, bamya ve sırık fasulye gibi pek çok bitkide bu zararlının tespit edilmesiyle ilgili raporlar mevcuttur.

Azidah ve Sofian-Azirun tarafından yapılan çalışmada 2006 yılında çeşitli bitkilerde *Spodoptera exigua* zararlısının etkileri araştırılmıştır. Yapılan araştırmada *Spodoptera exigua*'nın lahanada, arpacık soğanında, bamyada ve sırık fasulyesinde çeşitli dönemlerde bulunduğu tespit edilmiştir. *Spodoptera exigua* pupa ve yetişkinlerinin ise en fazla sırık fasulyesinde, daha az miktarda ise bamya ve lahanada belirlenmiştir (Azidah, ve Sofian-Azirun, 2006).

Başka bir çalışmada ise Farahani ve arkadaşları tarafından, soya fasulyesinin çeşitli varyetleri üzerinde *Spodoptera exigua*'nın ölüm oranını tespit etmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. *Spodoptera exigua*'nın genel olarak varyetlerde ölüm oranının pupa evresinde düşük olduğu belirlenmiştir. Varyetlerde yüksek ölüm oranının ise yumurta evresinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum da bizlere aslında *Spodoptera exigua*'nın en hassas olduğu dönemin yumurta evresi olduğunu ve çeşitli mücadelelerin bu evredeyken yapılmasının daha uygun olacağını göstermektedir (Farahani ve ark., 2011).

Mardani-Talaei ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda ise mısır bitkisinin çeşitli hibrit yapılarıyla çalışılmış ve *Spodoptera exigua*'nın yaşam döngüsü izlenmiştir. On (10) farklı hibrit mısır bitkisiyle yaptıkları çalışmalarda SC700 adı verilen hibrit bitkide, *Spodoptera exigua*'nın pupa evresinde düşük büyüme indeksi ve larva-pupa evrelerinde en yüksek ölüm oranının tespit edildiği bildirilmiştir (Mardani-Talaei ve ark., 2012).

Ünlü ve Kornoşor tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada Şanlıurfa ilinde saptanan Noctuidae (Lepidoptera) familyası türleri ve morfolojik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmalar esnasında gözlemlenen türler incelendiğinde, Şanlıurfa'da toplam 54 noctuid türünün bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışma sonucunda bu türler arasında özellikle *Helicoverpa armigera*, *Spodoptera exigua* ve *Earias insulana* gibi türlerin Şanlıurfa'nın pamuk alanlarında ekonomik zararlara neden olduğu saptanmıştır (Ünlü ve Kornoşor, 2003).

Sunulu ve arkadaşları tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada şeker pancarının dönemsel tehdidi olarak *Spodoptera exigua* tespit edilmiş ve bu zararlıya karşı etkin mücadelenin nasıl olması gerektiği ile ilgili fay-

dalı bilgiler verilmiştir. Zararlıının popülasyonunun takibi için çeşitli fero-mon tuzaklarının kurulması gerektiği, göç durumunun takip edilerek bir göç haritasının oluşturulmasının gerektiği, popülasyon kaynağının tespit edilerek o bölgelerde yoğun entegre mücadelelerin verilmesi gerektiği, doğal düşmanları koruyarak zararlıyla ilgili olarak biyolojik mücadeleye de önem verilmesi gerektiği önerilmiştir (Sunulu ve ark., 2020).

Gözüaçık ve Mart tarafından 2005 yılında mısır bitkisi üzerinde zararlı lepidoptera türlerinin belirlenmesi hususundaki çalışmada, 2003 ve 2004 yıllarında ana ve ikinci mahsul mısır alanlarında *Spodoptera exigua* tespit edilmiştir. Mısır bitkisininikiyapraklı döneminden itibaren görül-meye başlandığı ve geç helezon dönemlerine kadar gelişim gösterdikleri belirlenmiştir. Ürüne en zararlı olduğu dönemin ise iki yapraklı dönem olduğu belirtilmiştir. Çalışma kapsamında, Batman, Diyarbakır ve Şanlı-urfa illerinde en fazla yayılım gösteren türler arasında gösterilmiştir (Gö-züaçık ve Mart, 2009).

Ueno tarafından 2015 yılında Vietnam’da yetiştirilen yeşil soğanın en önemli istilacı türü olarak *Spodoptera exigua* bulunduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, zararlı tür tarafından yeşil soğan bitkisindeki istila duru-munu araştırmak amacıyla çiftçilerin tarlalarında bir anket yapılmıştır. İst-ila seviyeleri çalışma alanları ve mevsimler arasında farklılık gösterse de, kimyasal kontrolün iyi çalışmadığı tespit edilmiştir (Ueno, 2015).

Atlıhan ve Özgökçe tarafından Van ilinde gerçekleştirilen çalışmada, şekerpancarı alanlarında farklı takımlara bağlı 29 zararlı tespit edilmiş-tir. Bu zararlılar arasında *Spodoptera exigua*’nın şeker pancarına önemli derecede zarar verdiği ve bu zararlıyla daha önceki zamanlarda kimyasal mücadelenin yapıldığı belirtilmiştir (Atlıhan ve Özgökçe, 2003).

Atlıhan ve arkadaşları tarafından 1998-1999 yılları arasında gerçek-leştirilen diğer bir çalışmada patates bitkisinin önemli zararlılarından biri olan *Spodoptera exigua*’nın doğal düşmanlarının tespit edilmesi ve zararlı popülasyonun gelişimi araştırılmıştır. Van iline bağlı Erciş ilçesinde hazi-ran ayının sonlarında, Muradiye ilçesinde temmuz ayının başlarında za-rarlı popülasyonunun en yüksek seviyelerde olduğu belirtilmiştir. Yaptık-ları çalışmanın sonucunda *Spodoptera exigua*’nın Hemiptera, Coleoptera, Neuroptera ve Hymenoptera takımlarına bağlı 12 doğal düşman saptan-mıştır. Bu doğal düşmanlardan bazılarının *Spodoptera exigua*’nın larva paraziti iken bazılarının pupa paraziti olarak teşhis edildiği belirtilmiştir (Atlıhan ve ark., 2003).

Direnç, tarımsal bir zararlıya karşı aynı pestisit veya etki meka-nizması aynı olan pestisitlerin art arda uzun süre kullanılması sonucu dayanıklı popülasyon oluşmasıdır. Son yıllarda böceklerle mücadelede insektisit türlerinin yaygın kullanımı, zararlıların bu kimyasallara direnç

kazanmalarına sebep olmuştur. Böceklerde direnç gelişimi nedeniyle kullanılan insektisit dozundaki artış, çevreye insansağlığı yönünden önemli problemlere neden olmuştur. Otçul böcekler, sindirim ve detoksifikasyon enzimleri gibi farklı mekanizmalar kullanarak konukçu bitkilerin savunma bileşiklerinin zararlı etkilerinin üstesinden gelebilir (Golikhajeh ve ark., 2017). Böceklerde bulunan sitokrom p450 monooksijenazlar, glutatyon-S-transferaz ve hidrolaz enzimleri birçok farklı insektisit detoksifikasyonunda rol alan önemli enzim sistemleridir (Yorulmaz ve Ay, 2010). Birçok araştırmacı, *Spodoptera exigua* zararlısına karşı uygulanan çeşitli insektisitlerin etkilerini, zararlarını ve direnç durumlarını çalışmalarında paylaştıklarıdır.

Lai ve Su tarafından yapılan çalışmada *Spodoptera exigua*'nın klorantraniliprole karşı direnci değerlendirilmiştir. Klorantraniliprol'ün çeşitli lepidopteran haşereler üzerinde olağanüstü insektisidal aktiviteye sahip olduğu belirtilmiştir. Klorantraniliprol'ün zararlıda oluşturduğu direncinin 22 nesil sonra 12 kat arttığı belirlenmiştir. Araştırmacılar sürekli insektisit uygulamasının tarla popülasyonlarında da klorantraniliprole karşı direnç geliştirme riskinin bulunduğunu tespit etmişlerdir (Lai ve Su, 2011).

Moulton ve arkadaşları tarafından *Spodoptera exigua*'nın bir Tayland ve altı farklı Amerika Birleşik Devletleri (ABD) popülasyonunun spinosad'a karşı direnç oluşumunu araştırdıkları çalışmalarında, Tayland popülasyonunun ABD popülasyonundan 6 ila 22 kat arasında daha fazla dirençli olduğu tespit edilmiştir. Test edilen tüm ABD popülasyonlarının, Tayland popülasyonundan spinosada daha fazla duyarlı olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, ABD popülasyonlarının ikinci evre larvalarının, spinosada duyarlılık açısından daha hassas olduğu bildirilmiştir. bu bulgulardan sonra, spinosad'ın *Spodoptera exigua* üzerinde yüksek bir insektisit etkisi olduğu belirlenmiş ve direnç oluşturma riskine karşı aşırı kullanımından kaçınılması gerektiği önermişlerdir (Moulton ve ark., 2000).

Tian ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan diğer bir çalışmada ise *Spodoptera exigua*'nın metaflumizon direncinin biyokimyasal metabolizması araştırılmıştır. Çalışma 2009 yılında Çin'de bazı sebzele- rin zararlısı olan *Spodoptera exigua*'yı kontrol altına alabilmek amacıyla yapılmıştır. Mevcut çalışma ile araştırmacılar tarafından, *Spodoptera exigua*'nın belirli kimyasal insektisit grupları için 2-3 dakika içinde yüksek direnç geliştirdiği ortaya koyulmuştur. Araştırmacılar tarafından, *Spodoptera exigua*'nın tarla popülasyonlarında metaflumizona karşı metabolik direnç kazandırmada esterazların çok önemli bir rol oynayabileceği ve bu dirençte CYP450'lerin veya GST'lerin yer almadığı belirlenmiştir. Geç larva evrelerinden elde edilen orta bağırsak dokularında tespit edilen yüksek FMO (Flavin Bağimli Monooksijenazlar) aktiviteleri soncunda,

ksenobiyotiklerin detoksifikasyonunda önemli rolleri olan enzim sistemleri oldukları belirlenmiştir (Tian ve ark., 2014).

Ishtiaq ve arkadaşları tarafından Pakistan'da 2011 yılında yapılan çalışmada, Dera Ghazi Khan (DG Khan) ve Multan isimli iki ayrı *Spodoptera exigua* popülasyonunun 10 farklı insektisite karşı direnç durumları test edilmiştir. Popülasyonlardan Multan popülasyonu, duyarlı laboratuvar suşu ile karşılaştırıldığında insektisitlerin çoğu için daha düşük LC_{50} değerleri sergilediği belirlenmiştir. Ayrıca Multan popülasyonunun, profenofos ve indoksakarba karşı oldukça dirençli olduğu tespit edilmiştir. D.G. Khan Şeld popülasyonu, duyarlı laboratuvar suşu ile karşılaştırıldığında D.G. Khan Şeld popülasyonunun sipermetrin, profenofos, spinosad, abamektin ve klorpirifos'a karşı yüksek derecede dirençli ve deltametrin, indoksakarb ve metoksifenoze karşı orta derecede dirençli olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte her iki popülasyonun da emamektin benzoat ve lufenurona karşı duyarlıydı olduğu bildirilmiştir (Ishtiaq ve Saleem, 2011).

Martínez ve çalışma ekibi tarafından 2008 yılında Meksika'da *Spodoptera exigua*'nın spinosad ve metoksifenozyd insektisitlerine karşı direnç durumunun takip edildiği çalışmada, bir tarla popülasyonundan üçüncü evre larva halindeki *Spodoptera exigua*'nın 5 ayrı popülasyonu altı nesilden (G2, G3, G4, G5, G6 ve G7) fazla üreyecek şekilde spinosad ve metoksifenozyd'e maruz bırakılmıştır. İlk beş nesilde spinosad ya da metoksifenoze karşı duyarlılıkta herhangi bir azalma belirlenmemiştir. Se-La Floriza, Se-Lazareto, Se-Bachigualato, Se-Los Agustinos ve Se-Villa de Arista adlı popülasyonlar referans suşu ile karşılaştırıldığında, sadece Se Lazareto popülasyonunun metoksifenoze karşı (13 kat) önemli bir direnç gösterdiği belirlenmiştir. Yine beş popülasyon refesans suşu ile karşılaştırıldığında Se-Villa de Arista dışında diğer popülasyonların, 16 ile 37 kat arasında değişen direnç oranlarıyla spinosada karşı önemli direnç gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, metoksifenozyd ile muamele sonrasında, popülasyondaki ergin bireylerin doğurganlığının azaldığı ve üreme üzerindeki negatif etkilerinin olduğu doğrulanmıştır (Martínezve ark., 2008).

Ahmad ve Arif tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, Pakistan'daki *Spodoptera exigua* tarla popülasyonları, organoklorin grubundan endosülfan, organofosfatlar grubundan klorpirifos ve kuinalfos, piretroidler grubundan sipermetrin, deltametrin, bifentrin ve fenpropatrin'e karşı dirençleri açısından değerlendirilmiştir. Zararlının endosülfana karşı direnci 1998-2000 yılları arasında yüksek olarak belirlenmiştir. Ancak, 2001-2007 yıllarına gelindiğinde insektisit kullanımının azalmasının ardından bu direncin oldukça düşük seviyelere gerilediği tespit edilmiştir. Bir organofosfat olan klorpirifosa ve değerlendirilen piretroidlere karşı direncin 1998-2002 yılları arasında düşük seviyede kaldığı, ancak 2003-

2007 yıllarına gelindiğinde bu direncin orta ila yüksek seviyelere yükseldiği belirlenmiştir. Deltametrin için oluşan direncin 2004-2007 yıllarında çok yüksek olduğu, organofosfat olan bir başka insektisit Quinalphosa karşı direncin 1998- 2006 döneminde düşük kaldığı da araştırmacıların edindikleri sonuçlar arasında yer almıştır (Ahmad ve Arif, 2010).

Günçan ve Durmuşoğlu tarafından 2004 yılında yapılan çalışmada ise sentetik insektisitler ile bitkisel kaynaklı doğal insektisitler karşılaştırılmış, avantajları ve dezavantajları belirlenmiştir. Araştırmacılar, bitkilerde sentezlenen sekonder metabolitlerden bazıları olan alkaloidler, fenoller, terpenoidler ve saponinlerin bitki-zararlı ilişkilerinde önemli rol oynadıklarını belirtmişlerdir. Sentetik insektisitlerin, bitkisel kökenli insektisitlere göre daha etkili olduğu, böceğe etki etme sürelerinin çok daha kısa olduğu, genellikle ucuz maliyetli olduğu belirtilmiş ve sentetik insektisitlerin tercih edilme nedenleri açıklanmıştır. Bitkisel kökenli doğal insektisitlerin ise, doğa koşullarında rahatlıkla parçalanabildiği, uygulama buna bağlı olarak her zaman yapılabilmesine olanak sağladığı, böcekler üzerinde ani bir ölüm etkisi yaratmasa da hızlı bir şekilde beslenme şekillerini bozabildiği belirtilmiştir. Bitkisel kökenli doğal insektisitlerin, mahsulde birikme yapmadığı, toprağı ve su kaynaklarını kirletmediği, diğer canlılarla olan etkileşimlerinde toksik etki göstermediği de bu tip insektisitlerin avantajları olarak belirtilmiştir. Bitkisel kökenli doğal insektisitlerin dezavantajları arasında ise, anlık olarak hazırlanıp, kullanılması gerektiği, etki süresinin kısa olduğu, bitkiden elde edilme esnasında her hazırlanma aşamasında aynı oranı tutturmanın güçlük oluşturduğu bildirilmiştir. Azadirachtin, piretrum, rotenon, nikotin, oleik asit ve capsaicin gibi insektisitler, bitkisel kökenli insektisitlere örnek olarak verilmiştir (Günçan ve Durmuşoğlu, 2004)

Kaynakça

- Ahmad, M., & Arif, M. I. (2010). Resistance of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to endosulfan, organophosphorus and pyrethroid insecticides in Pakistan. *Crop Protection*, 29(12), 1428-1433.
- Anonim, 2021. Bitki Zararlıları Zirai Mücadele Teknik Talimatları. <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Bitki%20Zararli%C4%B1lar%C4%B1%20Zirai%20M%C3%BCcadele%20Teknik%20Talimatlar%C4%B1.pdf>. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara. Erişim Tarihi: 08.11.2021
- Atlıhan, R., Yardım, E. N., Özgökçe, M. S., & Kaydan, M. B. (2003). *Spodoptera exigua* (Hübner) (Noctuidae: Lepidoptera)'nın Van İli Patates Alanlarındaki Populasyon Gelişmesi ve Doğal Düşmanları. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 13(1), 39-43.
- Atlıhan, R., & Özgökçe, M. S. (2003). Van ili şekerpancarı alanlarındaki zararlı ve yararlı türlerin saptanması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 13(1), 9-14
- Azidah, A. A., & Sofian-Azirun, M. (2006). Life history of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) on various host plants. *Bulletin of Entomological Research*, 96(6), 613.
- Capinera, J. L. (2002). Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). *EDIS*, 2002(6).
- Demiröz, D. A. (2015). Böcekler Neden Direnç Kazanıyor? *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2), 91- 98.
- Enayati, A. A., Ranson, H., & Hemingway, J. (2005). Insect glutathione transferases and insecticide resistance. *Insect molecular biology*, 14(1), 3-8.
- Farahani, S., Talebi, A. A., & Fathipour, Y. (2012). Life table of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) on five soybean cultivars. *Psyche*, 2012.
- Golikhajeh, N., Naseri, B., & Razmjou, J. (2017). Geographic origin and host cultivar influence on digestive physiology of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Journal of Insect Science*, 17(1), 12.
- Gözüaçık, C., & Mart, C. (2009). Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde mısırdaki (*Zea mays* L.) zararlı bazı Lepidoptera larvalarının doğal parazitlenme oranlarının belirlenmesi. *Bitki Koruma Bülteni*, 49(3), 107-116.
- Gunning, R. V., & Moores, G. D. (2001). Insensitive acetylcholinesterase as sites for resistance to organophosphates and carbamates in insects: insensitive acetylcholinesterase confers resistance in Lepidoptera. In *Biochemical Sites of Insecticide Action and Resistance* (pp. 221-238). *Springer*, Berlin, Heidelberg.

- Güncan, A. and Durmuşoğlu, E., 2004. An evaluation on natural insecticides with herbal origin. *Hasad Dergisi*, 20: 26-32.
- Jahanban-Esfahlan, A., & Panahi-Azar, V. (2016). Interaction of glutathione with bovine serum albumin: Spectroscopy and molecular docking. *Food chemistry*, 202, 426-431.
- Karaağaç, S. U. (2012). Insecticide resistance. *IntechOpen*.
- Ketterman, A. J., Saisawang, C., & Wongsantichon, J. (2011). Insect glutathione transferases. *Drug metabolism reviews*, 43(2), 253-265.
- Ishtiaq, M., & Saleem, M. A. (2011). Generating susceptible strain and resistance status of field populations of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) against some conventional and new chemistry insecticides in Pakistan. *Journal of economic entomology*, 104 (4), 1343-1348.
- Lai, T., & Su, J. (2011). Assessment of resistance risk in *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole. *Pest management science*, 67(11), 1468-1472.
- Mannervik, B., Helena Danielson, U., & Ketterer, B. (1998). Glutathione transferases— structure and catalytic activity. *Critical Reviews in Biochemistry*, 23(3), 283-337.
- Mardani-Talaei, M., Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B., & Hassanpour, M. (2014). Life history studies of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on 10 corn hybrids. *Journal of the Entomological Research Society*, 16(1), 9-18.
- Moulton, J. K., Pepper, D. A., & Dennehy, T. J. (2000). Beet armyworm (*Spodoptera exigua*) resistance to spinosad. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 56(10), 842-848.
- Osorio, A., Martínez, A. M., Schneider, M. I., Díaz, O., Corrales, J. L., Avilés, M. C., ... & Pineda, S. (2008). Monitoring of beet armyworm resistance to spinosad and methoxyfenozide in Mexico. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 64 (10), 1001-1007.
- Shou-Min, F. A. N. G. (2012). Insect glutathione S-transferase: a review of comparative genomic studies and response to xenobiotics. *Bull Insectol*, 65, 265-271.
- Sunulu, S., Dumlupınar, Z., Yıldırım, M., & Karabulut, O. (2020). Şeker Pancarı (*Beta Vulgaris* L.) Üretimi İçin Dönemsel Bir Tehdit; Karadrina [*Spodoptera exigua* (Hübner)] (Lepidoptera: Noctuidae). *Black Sea Journal of Agriculture*, 3(4), 317-323.
- Tian, X., Sun, X., & Su, J. (2014). Biochemical mechanisms for metaflumizone resistance in beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Pesticide biochemistry and physiology*, 113, 8-14.

- Ueno, T. (2015). Beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae): a major pest of welsh onion in Vietnam. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 4(2), 181-185.
- Ünlü, L., & Kornoşor, S. (2003). şanlıhurfa ilinde saptanan Noctuidae (Lepidoptera) familyası türleri ve morfolojik özellikleri. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(3-4): 19-28.
- Yorulmaz, S., & Recep, A. Y. (2010). Akar ve böceklerde pestisitlerin detoksifikasyonunda rol oynayan enzimler. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 137-148.

Bölüm 5

SİVAS İLİ FLORA BİYOÇEŞİTLİLİĞİ

*Hüseyin Aşkın AKPULAT*¹

¹ Hüseyin Aşkın AKPULAT, Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-8394-2746>

Ülkemiz bitki çeşitliliği açısından, Dünya'nın en zengin ülkeler arasında yer almaktadır. Bu zenginliğin sebepleri şu şekilde açıklayabiliriz: Farklı iklim tiplerine sahip olması; birbirine yakın olan habitatlar da ekolojik değişikliklere sahip olması; jeolojik ve jeomorfolojik farklılıkla oluşan çeşitlilik; farklı sulak alanlara (deniz, göl ve akarsu) sahip olması; rakım farklılıkları, deniz seviyesinden 5000 metreye kadar değişen yükseltilerin olması; Avrupa-Sibirya, İran-Turan ve Akdeniz bitki coğrafyası bölgelerinin kesiştiği bir yer olması. Anadolu da yer alan çok sayıda yüksek dağ silsilesi, bitki türlerinin oluşması ve bunların yayılışının önlenmesine (Anadolu diyagonali) neden olur. Ayrıca, Anadolu, Asya, Afrika ve Avrupa kıtaları arasında sanki bir geçiş köprüsü oluşturmuştur. Bu köprü olayıda bitki ve hayvan türlerinin yayılmasını ve çeşitliliğin artmasını sağlamıştır. Tüm bu faktörler sonucu Anadolu'da zengin bir bitki ve hayvan tür bakımından zengindir. Yaklaşık 12.000 bitki türünün 4000 civarı endemiktir. (Ekim, 2001).

Ayrıca, Türkiye'nin bitki örtüsünde başta, ekonomik, tıbbi ve aromatik bitkiler de bulunmaktadır. Bunlar; *Amygdalus türleri*, *Cucumis melo*, *C. sativus*, *Cucurbita moshata*, *C. pepo*, *Lens culinaris*, *Lupinus türleri*, *Malus türleri*, *Medicago sativa*, diğer yıllık *Medicago türleri*, *Onobrychis viciifolia*, *Phaseolus vulgaris*, *Pistachia türleri*, *Prunus türleri*, *Pyrus türleri*, *Trifolium türleri*, *Vicia faba*, *Vitis vinifera* ve *Zea mays* gibi türlerin de mikro gen merkezidir (Harlan, 1951; Harlan, 1995).

Sivas ili, İç Anadolu Bölgesinin Doğusunda yer almaktadır. Davis'in Türkiye Florası'nı da kullandığı kareleme sistemine göre, A6, A7, B6 ve B7 karelerinde bulunmaktadır. Araştırma alanının çok büyük bölümü B6 karesinde yer almasına karşın, çok az bir kısmı da (Doğanşar-İmranlı arası) B7 karesinde yer almaktadır. Sivas İlinin denizden yüksekliği 1285 m'dir. Hem Kuzey-Güney doğrultusunda, hem de Doğu-Batı doğrultusunda uzanan araştırma alanı 36°-38° Doğu Boyamları ile 38°- 40° Kuzey Enlemleri arasında bulunmaktadır (Harita 2).

Sivas, merkez ilçe, Akıncılar, Altınyayla, Divriği, Doğanşar, Gemerek, Gürün, Gölova, Hafik, İmranlı, Kangal, Koyulhisar, Suşehri, Şarkışla, Ulaş, Yıldızeli ve Zara olmak üzere 17 ilçe, 38 belediye, 1246 köy ve 721 köy altı yerleşim birimi ile Türkiye'nin en çok yerleşim yerine sahip ilidir.

Sivas ilinin topoğrafik yapısı, genelde engebeli ve deniz seviyesinden ortalama 1000-1800 m yükseklikte olup Kuzey kısmında yer alan ilçelerden Hafik 1340 m, Zara 1450 m, İmranlı 1710 m yükseltide, Güney kısmında Kangal 1545 m, Gürün 1250 m, Divriği 1250 m yükseltide, Güney-batıda ise Şarkışla 1180 m, Gemerek 1173 m yükseltide bulunmaktadır.

Sivas ilinde dağlık alanlar, doğudan batıya doğru sıra ile Kızıldağ (3025 m), Köseadağ (2800 m), Tekeli Dağı (2600 m), Yıldız Dağı (2550

m) ve Asmalı Dağı (2400 m) şeklinde görülür. İlin güneydoğu kesimini Çengelli Dağı (2600 m) ile Yama Dağı (2735 m) oluşturur. Bu bölgedeki dağlar, Divriği Dağları olarak da adlandırılır. İlin merkeze yakın kısmında Tecer Dağları, Gürlevik Dağı (2650 m) ve Beydağı (2700 m), daha batıda Yozgat sınırına doğru İncebel Dağları ve Karababa Dağı'nda 2235 m'ye ulaşan Akdağlar yer almaktadır.

Kızıldağ'da 3025 m'ye ulaşan Peynirli Tepe ilin en yüksek tepesidir. Platolar il sınırları içinde geniş bir yer tutar. En önemlileri; Uzunyayla ve Mereküm Yaylası'dır.

Türkiye'nin en uzun nehri olan Kızılırmak nehri İmranlı'nın kuzeydoğusunda yer Kızıldağ'dan doğmaktadır.

İlin doğal göllerinin hemen hepsi jips karstı gölleri olup başlıcaları; Tödürge, Hafik, Lota ve Karagöl'dür. Ayrıca Gürün ilçesinin 10 km güneybatısında Gökpınar Gölü de vardır.

Sivas ilinde birçok floristik çalışmalar yapılmıştır;

Çelik, Yıldız, Akpulat, Dönmez, Tekin ve Göktaş (2011) 'Sivas İli Resimli Florası' adlı ve Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Projeleri (CÜBAP) tarafından F-202 numarası ile desteklenen proje kapsamında Sivas ilinin birçok farklı bölgesine gidilip türler belirlenmiştir. Bitkilerin araziden fotoğrafları çekilmiştir.

Akpulat & Çelik (2005), tarafından, Sivas İli jipsli alanlarında kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Sivas iline özgü birçok endemik bitki teşhis edilmiştir. Bu türlerin lokalitesi, resimleri ve ekolojik durumları hakkında bilgiler verilmiştir. Sivas'ın endemik bitkiler yönünden Türkiye'nin önemli bir ili olduğu tespit edilmiştir.

Özhatay (2003; 2005), 'Türkiye'nin Önemli Bitki Alanları' adlı çalışmada Sivas ilinin de önemli bitki alanları tespit edilmiş, bu alanlarda bulunan türler, endemik bitkiler ve tehlike kategorileri belirlenerek, korunması için önerilerde bulunulmuştur. Ayrıca Sivas ilinde yapılan diğer floristik çalışmalar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Sivas ili sınırları içinde yapılan floristik çalışmalar

İncebel Dağları Florası (EKİM, 1982)
Taşlıdere Florası (CİVELEK ve ÇELİK, 1988)
Çamlıbel-Yıldız Dağları Florası (CİVELEK, 1992)
Tecer Dağları Florası (ÇELİK ve YILDIZ, 1991)
Köse Dağı Florası (YILDIZ, 1996)
Sivas -Hafik Arası Florası (DÖNMEZ ve ÇELİK, 2002)

Sivas-Sıcak Çermik Arası Florası (AKPULAT ve ÇELİK, 2002)

Sivas İli Jipsli Alanlar Florası (AKPULAT ve ÇELİK, 2005)

Çeltek Dağı (Sivas) Florası (DOĞAN ve DÖNMEZ, 2006)

Kovalı -Hanlı Arası Florası (AKTAŞ ve ÇELİK, 2008)

Çengelli Dağı (Sivas) Florası (DÖNMEZ, 2009)

Sivas-Celalli Arası Florası (TAN ve ÇELİK, 2010)

Ulaş - Kangal (Sivas) arası (GÖKTAŞ ve AKPULAT 2010)

Flora of Gürün district (Sivas) (BOZKURT SG, AKKEMİK Ü, 2018)

Lota Gölleri Florası (AKPULAT, 2018)

Hafik (Sivas) ve Çevresindeki Jipsli Toprakların Florası. AYDOĞDU ve HAMZAOĞLU

Sivas ilinde doğal ormanların çok olması gerekirken; yüzyıllar boyunca devam eden ormanların tahribatından dolayı bugün Sivas ve çevresinde orman alanları çok az yer tutar. Koyulhisar ilçesi zengin bir çam ormanı ile kaplıdır. Şerefiye beldesi de önemli bir orman bölgesidir. Şarkışla-Yıldızeli sınırları içerisinde yer alan Ak Dağlar, İç Anadolu Bölgesi'nin en önemli orman bölgesinden biridir. Sivas'ın hakim bitki örtüsü bozkır (step)'dir.

Sivas ili, İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan genel olarak karasal iklimin etkisi altındadır. Doğuya doğru giderek ortalama yükseltisi artmaktadır. Kuzey ve kuzeydoğu kesiminde yer alan Sivas'ta farklı iklim özellikleri etkilidir. Sivas ili tipik bir mikroklima iklim bölgesi olarak değerlendirilebilir. Bunun nedeni çevresine göre daha yüksek ve engebeli olması, ile kuzey rüzgârlarına açık olması etkili olmuştur. Kışlar genellikle soğuk ve sert geçer, kış aylarında bol kar yağışı görülür. Yaz ayları ise sıcak ve kurak geçer. Yağışlar ilkbahar mevsiminde çok daha fazladır. Kuzey bölümün de karasal iklimden tipik Karadeniz iklimine geçişi görülür (Akman, 1990).

Sivas'ta yıllık yağış 436,10 mm'dir. Yağışlar en yüksek düzeye Nisan ve Mayıs aylarında ulaşırken, Temmuz ve Ağustos ise aylarında en düşük yağış düşmektedir. Yağışların % 38'i ilkbahar, % 28'i kış, % 22'si sonbahar ve %12'si yaz mevsiminde görülür. Yıllık ortalama sıcaklık 9,0 °C, yıllık en yüksek sıcaklık ortalaması 36,1 °C, yıllık minimum sıcaklık ortalaması -23,1 °C, yıllık nispi nem ortalaması ise yüzde 59'dur (Akman, 1990).

Sivas ili, coğrafi konumu itibarıyla doğal bitkiler ve endemik bitkiler bakımından çok zengindir. İlin Anadolu, Doğu Anadolu ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçit yeri oluşu, il topraklarının engebeli ve sarp olması ve jipsli toprak yapısı da bu zenginliğe önemli katkı yapmaktadır (Fotoğraf 1).

Sivas ili ayrıca, Önemli Bitki Alanları (ÖBA) bakımından da çok önem teşkil etmektedir (Özhatay, v.d. 2003; 2005). Özellikle jipsli alanlarda bulunan bitkilerin yüksek endemizm oranı taşımasından dolayı, Sivas ili florası dikkat çekmektedir (Akpulat ve Çelik, 2005).



Fotoğraf 1: Jipsin doğal görünümü

Jipsin dünyadaki dağılımına bakıldığında en fazla Çin’de bulunur. Avrupa’da sadece Türkiye ve İspanya’da jipsli alanlar bulunur (Akpulat ve Çelik, 2005). Türkiye’deki jips dağılımı ise en fazla Sivas ilinde görülmektedir.

Harita 1’de görüldüğü gibi Türkiye’de en fazla jipsin olduğu il Sivas’tır. Bu da Sivas’ın biyoçeşitliliği ve endemizm oranını artırmaktadır.

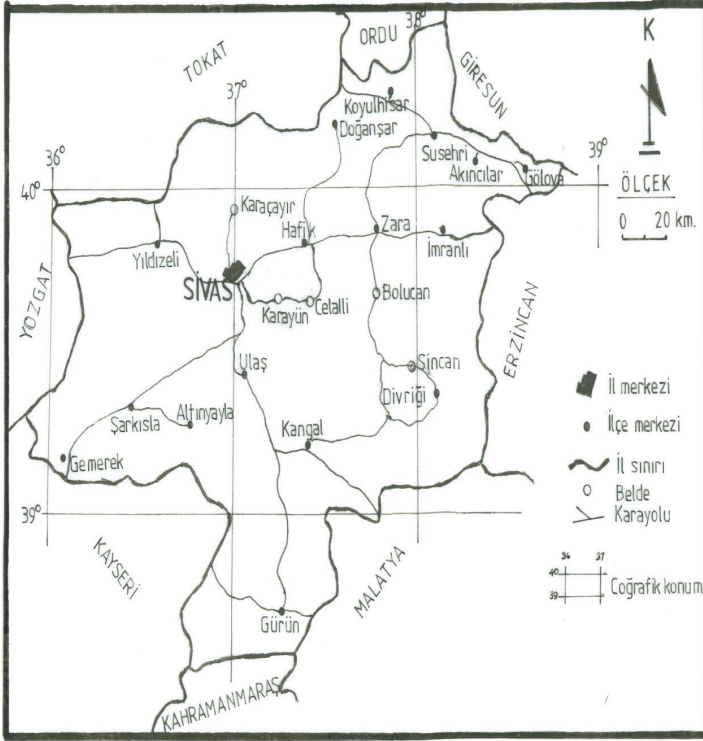


Harita 1: Türkiye’nin Karstik Arazileri

Tür ya da alt takson epiteti Sivas olan 17 endemik takson bulunmaktadır. Yani bu bitkiler Sivas’tan Dünya’ya tanıtılmıştır.

Tablo 2: *Epiteti Sivas olan taksonlar*

	Familya	Takson adı
1.	Brassicaceae	<i>Isatis glauca</i> subsp. <i>sivasica</i>
2.	Polygonaceae	<i>Polygonum sivasicum</i>
3.	Tamaricaceae	<i>Reaumuria sivasica</i>
4.	Asteraceae	<i>Achillea sivasica</i>
5.	Asteraceae	<i>Tanacetum densum</i> subsp. <i>sivasicum</i>
6.	Asteraceae	<i>Cousinia sivasica</i>
7.	Asteraceae	<i>Centaurea sivasica</i>
8.	Asteraceae	<i>Helichrysum sivasicum</i>
9.	Campanulaceae	<i>Campanula sivasica</i>
10.	Scrophulariaceae	<i>Scrophularia libanotica</i> subsp. <i>libanotica</i> var. <i>sivasica</i>
11.	Lamiaceae	<i>Stachys sivasica</i>
12.	Caryophyllaceae	<i>Arenaria sivasica</i>
13.	Liliaceae	<i>Allium sivasicum</i>
14.	Lamiaceae	<i>Marrubium sivasense</i>
15.	Liliaceae	<i>Gagea sivasica</i>
16.	Campanulaceae	<i>Asyneuma ekimianum</i> subsp. <i>sivasicum</i>
17.	Asteraceae	<i>Cirsium sivasicum</i>



Harita 2: Sivas ili haritası

Arazi çalışmalarına 2013 tarihinde başlandı ve 2017 tarihinde tamamlandı. Bu çalışma sonucunda, 350 farklı lokalite den 2000'in üzerinde bitki fotoğraflandı. Herbaryumumuz da olmayan bitkiler toplandı ve bir bölümünü (özellikle endemik olan) herbaryum materyali yapıldı. Biyoçeşitliliği korumak adına gerekmedikçe bitkiler sökülmedi ve koparılmadı.

Sivas ilinde daha önce yapılan floristik çalışmalar ve gerçekleştirdiğimiz arazi çalışmaları neticesinde Sivas ve çevresinde **105 familya, 544 cins ve 1918 tür, 2068 bitki taksonunun** olduğu belirlenmiştir.

Sivas ili 28488 km²'lik yüzölçümüyle Türkiye'nin 2. büyük şehridir. Türkiye'de yetişen bitkilerin %18'i Sivas ilinde yetişmektedir. Sivas ili için Tüvives (Türkiye bitki veri sistemi) toplam 1126 tür, 364 endemik takson ve Dönmez (2005) toplam 1395 tür, 1508 takson, 420 endemik tür sayısını belirtmişlerdir. Bu çalışma sonucunda toplam tür ve endemik tür sayısının arttığı tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: *Sivas ili floristik tür sayıları*

	PTERIDOPHYTA	SPERMATOPHYTA			
	Pteridophyta	Gymnosperm	Angiosperm		Toplam
			Liliopsida	Magnoliopsida	
Takson sayısı	9	12	244	1803	2068
Endemik takson sayısı	YOK	YOK	34	417	451

Toplam 2067 adet vasküler bitki taksonunun flora bölgelerine göre sayısal ve oransal dağılımları da Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4: *Sivas ilinde saptanan taksonların floristik bölgelere dağılımı*

Flora Bölgesi	Takson Sayısı	Oranı (%)
Avrupa-Sibirya	80	3.87
Iran-Turan	585	28.2
Akdeniz	85	4.11
Çok bölgeli veya bölgesi bilinmeyen	1318	63.76
	2068	100

Sivas’tan saptanan 105 familyadan en çok takson ile temsil edilen 10 familya Tablo 5’ de gösterilmiştir.

Tablo 5: *Sivas ilinde saptanan taksonların familyalara göre dağılımları*

Familya	Takson Sayısı	Familya	Takson Sayısı
Asteraceae	304	Scrophulariaceae	94
Fabaceae	212	Apiaceae	76
Brassicaceae	146	Liliaceae	70
Lamiaceae	138	Boraginaceae	64
Caryophyllaceae	128		
Poaceae	109	Diğer	727

Sivas ilinde saptanan toplam endemik bitki taksonu sayısı 451’dür. Endemik taksonlardan IUCN (2201; Ekim ve diğ. 2000)’e göre 15 Çok Tehlikede (CR), 46 Tehlikede (EN), 58 Zarar Görebilir (VU), 49 Tehlike Altına Girebilir (NT), 276 Az Tehdit Altında (LR) ve 7’si Veri Yetersiz (DD) kategorilerinde yer almaktadır (Tablo 6).

BERN Listesinde yer alan takson yoktur. CITES listesinde yer alan takson sayısı 4’ tür.

Tablo 6: *Endemik bitkilerin tehlike kategorileri*

Tehlike Sınıfları (Kategori)	Takson sayısı	Oranı (%)
EX (Tükenmiş)	-	-
CR (Çok Tehlikede)	15	3.3
EN (Tehlikede)	46	10.1
VU (Zarar Görebilir)	58	12.8
NT (Tehlike Altına Girebilir)	49	11
LC (Nadir ve Tehlike Altında Olmayan)	276	61.1
DD (Yetersiz Bilinen)	7	1.5
NE (Değerlendirilmeyen)	-	-
TOPLAM ENDEMİK SAYISI	451	100

Dönmez (2005)'e göre, sadece Sivas ili sınırlarında yayılış gösteren endemik tür sayısı 57 olarak verilmiştir. Bu sayı son çalışmalarla beraber 65'e ulaşmıştır. 451 endemik taksonun 124'si sadece jipste yetişmektedir. Sivas ilindeki floristik çalışmaların endemizm oranı Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Sivas ilinde yapılan floristik çalışmalardaki Endemizm Oranları

Yapılan Çalışmanın Adı	Endemizm Oranı (%)
Sivas ili Jipsli Alanlarının Florası	35.8
Tödürge Gölü (Sivas)	25.3
Hafık ve Çevresi Jipsli Toprakların Florası (Sivas)	25.3
Tecer Dağları Florası (Sivas)	22.5
Hınzır Dağı Florası (Kayseri)	21.2
Taşlıdere Florası (Sivas)	18.6
Sivas-Sıcak Çermik Arası Florası (Sivas)	17.8
Sivas-Hafık Arası Florası (Sivas)	17.7
Gövdeli Dağı Florası (Kayseri-Sivas)	17,7
Berit Dağı Florası (Kahramanmaraş)	16.0
İncebel Dağları Florası (Kayseri-Sivas)	15.0
Köse Dağı Florası (Sivas)	14.5
Deveci Dağları Florası (Yozgat-Tokat)	14.2
Çamlıbel-Yıldız Dağları Florası (Sivas-Tokat)	14.1
Kızıliniş-Geyraz Arası Florası (Tokat)	10.4

Yukarıda belirttiğimiz ve CR (Çok tehlikede) tehlike kategorisine sahip türlerin tümü öncelikli olarak koruma altına alınmalıdır. Ayrıca yıllardır Sivas florasına yönelik olarak gerçekleştirdiğimiz çalışmalar ile yaptığımız arazi çalışmalarındaki gözlemlerimiz sonucunda farklı tehlike kategorisin-

de ve tümü endemik olan bazı taksonların durumları ile ilgili gözlem ve önerilerimiz aşağıdaki gibidir:

***Silene ruscifolia* (Hub.-Mor. et Reese) Hub.-Mor.**, Sivas dışında Ankara, Konya ve Kayseri'den bilinmekte olan bir türdür. Bu tür, Sivas'ta iki farklı lokaliteden tespit edilmiştir. Türün yetiştiği yerde toprak yapısı etrafına göre daha farklı olup, koyu renklidir ve tür başka bitki popülasyonlarının dan uzak popülasyonlar oluşturmaktadır. Bu da türün rekabet etme gücünün zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Ulaş, Kutlukaya-Boğazdere arasında ve Divriği-Kangal arasından popülasyonları tespit edilmiştir. LC (En az endişe verici) tehlike kategorisinde olmasına rağmen izlenmesi ve korunması gereken türlerdendir.

***Aethionema lepidioides* Hub.-Mor.** Dünya'da sadece Malatya ve Sivas'tan bilinen, tip lokalitesi de Sivas olan (EN-Tehlikede) tehlike kategorisinde olan bir türdür. Bu tür tek bir lokalite de yaşam alanı bulduğu gözlenmiştir. Türün, Sivas-Kangal-Gürün yol ayrımındaki jipsli bölgede ve ancak 1-2 km²'lik bir alanda yayılış gösterdiği tespit edilmiştir. Önceki yıllardaki arazi çalışmalarımızdaki tecrübelerimize dayanarak bu türün popülasyonların da zayıflama tespit edilmiştir.

***Physoptychis haussknechtii* Bornm.** Türkiye Florası'na göre Dünya'da sadece Sivas'tan kaydı verilen bir türdür. Türün popülasyonlarının toprak ve taş yapısı etrafından farklı olan yaklaşık olarak ancak 100 m²'lik bir alanda yayılış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu küçük alanda, bireyleri arasında büyük boşluklar bulunmakta olup, sadece birkaç başka bitki türü ile birlikte yaşamaktadır. (EN-Tehlikede) tehlike kategorisinde yer alan bu türün oluşturduğu popülasyonun toplam birey sayısı sayılabilecek derecede azalmış durumdadır. Buna rağmen, ayrıca türün lokalitesi olan Hafik-Gürlevik Dağ'ında yapılmakta olan maden araması nedeniyle tür büyük tehdit altındadır. Türün yaklaşık 100 m² olarak tespit edilen yayılış alanına yaklaşık olarak 75-100 m kadar uzaklıktaki maden arama alanı tahrip edilmekte ve büyük toprak yığınları bölgeden çıkarılmaktadır. Bu durumun devam etmesi, maden için yeni yollar açılması ya da maden arama alanının genişletilmesi açıkça ifade edilmelidir ki türün yok olması ile sonuçlanma riski taşımaktadır. Dolayısıyla Sivas'ta derhal koruma altına alınması gereken ilk türlerdendir.

***Physoptychis purpurescens* Çelik & Akpulat** Sivas'ta son yıllarda bulunan yeni türlerden olup tek lokaliteden bilinmektedir. Tür *P. haussknechtii* gibi toprak yapısı etraftan daha koyu ve farklı olan bir bölgede yayılış alanı bulmaktadır. Türün bireyleri sık olmayan zayıf popülasyonlar oluşturmaktadır ve dünyada sadece Ulaş, Kutlukaya-Boğazdere köyleri arasından bilinmekte olan bu türün izlenmesi ve korunmaya alınması gerekmektedir.

***Matthiola anchoniifolia* Hub.-Mor.** Türkiye Florası'nda Dünya'da sadece Sivas'tan bilinen bir türdür. Bu tür tarafımızdan Sivas-Kangal-Gürün yol ayrımı ile Ulaş-Ziyarettepe olmak üzere iki farklı lokaliteden tespit edilmiştir. Ziyarettepe lokalitesinde bol olmayan alana bilinçsizce dozer sokulup yol açılması gibi nedenlerle yaşam alanı daraltılmakta, bazı popülasyonları yok edilmekte ya da yeni etkilere maruz bırakılarak baskı altına alınmaktadır. Bu nedenlerle tecrübelerimize dayanarak popülasyonlarında zayıflama olduğunu kolaylıkla diyebiliriz. (LC-En az endişe verici) tehlike kategorisinde olmasına rağmen yukarıda bahsettiğimiz sebeplerden ötürü izlenmesi ve korunması gereken türlerdendir.

***Achillea sivasica* Celik & Akpulat** Sivas ilinde son yıllarda bulunmuş türlerdendir. Türün Sivas-Kangal-Gürün yol ayrımı ve Ulaş-Ziyarettepe olmak üzere sadece iki lokalitesi tespit edilmiştir. Popülasyonları sık ve yoğun değildir. Ulaş-Ziyarettepe'deki lokalitesinde yol açma faaliyetleri türün habitatının daralmasına neden olmaktadır. Dünya'da sadece Sivas'tan bilinen ve (CR-Çok tehlikede) tehlike kategorisinde olan türün her iki lokalitede de zayıflamakta olan popülasyonlarının izlenmesi ve korunması gerekmektedir.

***Pimpinella flabellifolia* (Boiss.) Benth. et Hook. ex Drude** türü Dünya'da Siirt ve Sivas'tan birer lokaliteden bilinmektedir. Yaptığımız arazi çalışmalarında türün Sivas'tan, Sivas-Kangal-Gürün yol ayrımı ve Gürün-Gökpınar arası olmak üzere iki farklı lokalitede yayılış gösterdiği tespit edilmiştir. (VU-Zarar görebilir) tehlike kategorisinde olan türün popülasyonlarının Sivas-Kangal-Gürün yol ayrımında zayıfladığı, Gürün-Gökpınar arasında ise yok olmakla yüz yüze kaldığı tespit edilmiştir. Çünkü Gürün-Gökpınar arasında çorak arazide yayılış gösteren türün lokalitesinde bilinçsizce önce arazi grayderler ile sürülmüş sonrasında da ağaç dikilmiştir. Bu nedenle de bu bölgede popülasyonu oluşturan birey sayısı çok azalmıştır. Korunma altına alınması gereken türlerdendir.

***Stachys sivasica* Kit Tan et Yıldız** Sadece Sivas'tan bilinmektedir. Önceki yıllarda yaptığımız arazi çalışmalarında türün tek lokalitedeki popülasyonunu zayıf olarak Zara-Suşehri yolu ve Suşehri'ne 18 km kala yola paralel akan dere kenarı olarak belirlemiştik. Ancak bu yolda yapılan yol genişletme ve dere yatağının değiştirilmesi çalışmaları nedeniyle önceki yıl ve bu yıl, türün belirli olan lokalitesine yapmış olduğumuz birçok arazi çalışmasında ne yazık ki Sivas'ın değeri olan bu türe tekrar rastlayamadık. İnsanlık olarak bir türü daha yok etmiş olmaktan korkmaktayız. Bu nedenle gerekli destekler sağlanarak sadece (EN-Tehlikede) tehlike kategorisinde olan bu türe yönelik tekrar bulunma çalışmaları gerçekleştirilmesi ve türün yaşadığı tespit edilirse ciddi koruma stratejileri geliştirilerek uygulanmalıdır.

***Reaumuria sivasica* Kit. Tan & Yildiz** Sadece Sivas'tan bilinmekte olup lokalitesi Şuşehri Kelkit Vadisi'nde belli bir alandır. 2008 yılında, türü daha önce bulan ve bilim dünyasına tanıtan Prof. Dr. Bayram YILDIZ hocamızla birlikte gerçekleştirdiğimiz arazi çalışmasında türün tip lokalitesindeki popülasyonlarının zayıflamış olmakla birlikte yaşamını sürdürdüğünü tespit etmiştik. Ancak bu proje kapsamında aynı lokaliteye yapmış olduğumuz iki farklı arazi çalışmasında da türe tekrar rastlanmamıştır. Çünkü maalesef türün yaşam alanı olan Kelkit çayı kenarındaki kalkerli kıraç toprak ve küçük tepelerin büyük bir bölümü bölgede yapılan Çamlığöze Barajı suları altında kalmıştır. Bu türün de neslinin tükenmiş olmasından korkmaktayız. *Stachys sivasica* gibi bu tür için de gerekli destekler sağlanarak tekrar bulunma çalışmaları gerçekleştirilmeli ve türün yaşadığı tespit edilirse ciddi koruma stratejileri geliştirilerek uygulanmalıdır.

***Scabiosa pseudograminifolia* Hub.-Mor.** Sadece Sivas'tan bilinen bir türdür. Arazide Sivas-Kangal-Gürün yol ayrımında tek lokaliteden tespit edilmiştir ve popülasyonları sadece 200-300 m²'lik bir alanda yayılış göstermektedir. Türün popülasyonlarında zayıflama tespit edilmiştir.

***Onobrychis quadrijuga* Hedge et Hub.-Mor.** Türünün Türkiye Florası'na göre dünyada tek lokalitesi Sivas'ta ve Böğrüdelik köyü yakını olarak bilinmektedir. Yaptığımız arazi çalışmalarında bu türü flora kaydına yakın bir lokalite olan Sivas-Kangal-Gürün yol ayrımında ve ancak 200-300 m²'lik bir alanda yayılış gösterdiğini tespit ettik. Tek lokalite habitat oluşturması, popülasyonu meydana getiren bireylerin oldukça seyrek olması ve (EN-Tehlikede) tehlike kategorisinde yer alması nedeniyle acilen koruma tedbiri alınması gereken türlerdendir.

***Onobrychis occulta* Hedge et Hub.-Mor.** Türü de bir önceki tür gibi Dünya'da sadece Sivas'taki tek lokaliteden bilinen bir türdür. Arazi çalışmalarımızda türü Sivas-Kangal-Gürün yol ayrımında tespit ettik. (EN-Tehlikede) tehlike kategorisinde olan türün ancak 100 m²'lik bir alanda ve popülasyonu oluşturan bireylerin sayılabilecek kadar az olduğunu gözlemledik. Tek lokaliteden bilinmesi ve çok zayıf tek popülasyonunun bulunması nedeniyle öncelikle koruma altına alınması gereken türlerdendir.

***Onobrychis albiflora* Hub.-Mor.** Türünün dünyadaki tek lokalitesi Sivas-Divriği'dir. Türün 4-5 km²'lik bir alanda yayılış gösterdiği ve popülasyonunun nispeten iyi durumda olduğu gözlenmiştir. Ancak (CR-Çok Tehlikede) tehlike kategorisinde olması, tek lokaliteden bilinmesi ve habitatının tarla açma ve otlatma baskısı altında bulunması nedeniyle korunma altına alınması gereken türlerdendir.

***Scrophularia libanotica* Boiss. subsp. *libanotica* var. *sivasica* R. Mill.** Sadece Sivas Divriği'den ve oldukça lokal bir alandan bilinmektedir. Yaşam ortamının büyük yamaçlar olmasından dolayı popülasyonlarına

olan insan etkisi nispeten azdır. (LC-En az endişe verici) tehlike kategorisinde yer almasına rağmen, dar yayılışlı olması nedeniyle izlenmesi ve korunması gereken taksondur.

Campanula pinnatifida* Hub.-Mor. var. *pinnatifida Sivas'tan iki farklı lokaliteden tespit ettiğimiz ve (VU-Zarar görebilir) tehlike kategorisinde yer alan türün popülasyonlarında zayıflama tespit edilmiştir. Koruma altına alınmalıdır.

***Tanacetum albiannosum* Hub.-Mor. & Grierson**, önceki yıllarda yaptığımız arazi çalışmalarında bulamadığımız, ancak bu çalışma kapsamında tek lokaliteden tespit ettiğimiz bu tür oldukça dar yayılışlıdır. Tespit edildiği yerdeki popülasyonu yaklaşık olarak 400-500 m²'lik alanda yayılış göstermektedir. Ancak bu yayılış alanı da hemen yakınındaki kum ocağı nedeniyle tehdit altında olduğundan acilen koruma altına alınmalıdır. Ayrıca tek lokaliteden tespit ettiğimiz bu tür ile ilgili yaptığımız araştırmalarda türün maalesef bitki kaçakçıları tarafından yurtdışına kaçırıldığı, çiçeklerinin ve özellikle de parçalı bileşik yapraklarının oldukça güzel görünmesinden dolayı süs bitkisi olarak çeşitli sitelerde pazarlandığı tespit edilmiştir. Bu nedenle ülkemize, hatta Sivas'ımıza endemik olan bu türün endemikliği de ortadan kalkmıştır. Sahip çıkamadığımız, koruyamadığımız bu tür gibi başka türler ile de ileride karşılaşmamak için sıkı denetim tedbirlerinin uygulanması oldukça önemlidir.

Sivas ilinde bulunan istilacı türler:

Acantholimon acerosum, *Daphne oleoides*, *Salvia caespitosa*, *Achillea biebersteinii*, *Dianthus anatolicus*, *Salvia cryptantha*, *Aegilops biuncialis*, *Dianthus orientalis*, *Agrostis stolonifera*, *Ajuga salicifolia*, *Eryngium campestre*, *Sedum album*, *Alyssum desertorum*, *Euphorbia macroclada*, *Gypsophila eriocalyx*, *Tanacetum nitens*, *Teucrium chamaedrys*, *Ziziphora taurica*, *Crepis foetida*, *Ranunculus arvensis*, *Cruciata taurica*, *Reseda lutea*, *Xeranthemum annuum*, *Carduus nutans*, *Ononis spinosa*, *Centaurea carduiiformis*, *Veronica multifida*, *Bromus lanceolatus*, *Bromus lanceolatus*, *Paronychia kurdica*.

SİVAS İLİ VEJETASYONUNA GENEL BAKIŞ

Sivas ilinde birçok floristik çalışma yapılmışken vejetasyon çalışmaları oldukça azdır. Aydoğdu ve Ketenoglu (1993) Sivas-Hafik-Zara-Erzincan yolu arasında yaptıkları çalışmalarda özellikle *Astragalo karamasici*-*Gypsophila eriocalycis* alyansının Sivas ve Çankırı arası jipsli tepelerde dominant olduğunu belirtmiştir. Bu alyansın karakteristik bitkileri *Astragalus karamasicus*, *Gypsophila eriocalyx*, *G. parva*, *Thymus leucostomus* var. *leucostomus*, *Linum mucranotum* subsp. *gypticola*, *Ziziphora taurica*, *Z. tenuior*, *Bupleurum boissieri*, *Centaurea patula*, *Astragalus aduncus*, *Sile-*

ne supina subsp. *pruinosa*, *Salvia cryptantha*, *Lappula barbata* ve *Allium flavum*'dur. Bu çalışmada *Helichryso-Thymenion cappadosicii* altalyansının varlığı da belirlenmiştir.

Sivas ve Yozgat arasında (Kurt, 1995) ise çam ormanları, farklı geniş step alanları, küçük tepeler yani tipik stepler yer alır. Bu steplerde dominant türler yastık formda olan *Astragalus* sp., *Acantholimon* sp., *Onobrychis cornuta* ve *Daphne oleoides*'dir. Ayrıca *Astragalus microcephalus*, *A. brachypterus*, *A. angustifolius*, *Acantholimon acerosum* ve *A. androceum* gibi türler de yer almaktadır. Diğer bol bulunan türler ise *Asphodeline taurica*, *Convolvulus asyricus*, *Astragalus lagurus* ve *Genista sessilifolia*'dır.

Jipsli stepler

Sivas ilinde jipsli alanlar yoğun bir bölgeyi oluşturmaktadır. Başlıca baskın türler,

Gypsophila parva, *Thymus spathulifolius*, *Ebenus macroclada*, *Onosma sintenisii*,

Stipa holosericea, *Achillea sintenisii*, *Achillea sipikorensis*.

Alpin Çayırlar

Divriği Yamadağ'daki kayıtlara göre *Festuca pinifolia* bölgede indikatör türdür. Diğer baskın türler ise *Juniperus communis*, *Daphne oleoides* ve *Pilosella hoppeana*'dır. *Thymus migricus* ise negatif olarak etkilenmektedir.

Yarı-Doğal Stepler

Bu alanlarda birçok bitki bulunmasına karşın, *Taeniatherum caput-medusae* (+), *Thymus sipyleus* (-) ve *Bromus tomentellus* (-) olmak üzere üç indikatör tür bulunur.

Subalpin Stepler

Astragalus plumosus (+), *Thymus sipyleus* (-) ve *T. migricus* (+) subalpin indikatör türleridir. Deniz seviyesinden 1900-2500 m yüksekliktedir. Divriği Yamadağ'dan farklı yüksekliklerde floristik türler tespit edilmiştir.

Bu dominant türler *Astragalus plumosus*, *Festuca valesiaca*, *Juniperus communis*, *Thymus migricus*, *Prangos platychlaena* ve *Bromus tomentellus*'dur. Diğer pozitif türler *T. pubescens*, *Minuartia juniperina*, *Festuca longipanicula*, *F. callieri*, *Phlomis linearis*, *Astragalus gummifer* ve *Helicrysum arenarium*'dur. Negatif olan türler *Stipa lessingiana* ve *Tymus sipyleus*'dur. Kayıtlı bu türler arasında *Silene oligotricha* endemik türler arasındadır (Kandemir ve diğ. 2009).

Bromus cappadocicus ve *Taeniatherum caput-medusae* subalpine step

otsu formlarda vardır. Hezanlı Dağı'nda da subalpine stepler vardır. *Astragalus condensatus*, *A. microcephalus* ve *Thymus sipyleus* ve *Prangos* türleri bu steplerde yaygın olarak bulunur (Davis 1965). Ayrıca, *Thymus migricus*, *T. pubescens* ve *P. platychlaena* ve *Silene oligotricha* indikatör türler olarak görülür.

Semi-Natural Mountain Steppes

Burada bulunan baskın türler, *Bromus tomentellus* ve *Thymus sipyleus*'dur. Diğer baskın türler ise *Stipa lessingiana*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*, *Astragalus microcephalus*, *A. gummifer*, *A. condensatus* ve *Aegilops triuncialis* ve *A. umbellulata* gibi otsu bitkilerdir.

Centaurea virgata, *Helichrysum pallasii*, *Chardinia orientalis*, *Achillea wilhelmsii*; *Ebenus laguroides*, *Genista albida*, *Hedysarum pestalozzae*, *H. varium*, *Onobrychis armena*; *Marrubium globosum*, *Salvia caespitosa*, *S. cryptantha* ve *S. multicaulis*, *Scutellaria orientalis*, *Stachys lavandulifolia*, *Teucrium chamaedrys*, *T. polium*, *Phlomis oppositiflora*, *P. physocalyx*; *Minuartia hamata*, *Arenaria ledebouriana*, *Silene supina* ve diğer baskın olanlar *Globularia trichosantha*, *Gallium verum* ve *G. incanum*; *Fumana procumbens*, *Helianthemum canum*, *H. salicifolium*, *Linum flavum*, *Polygala anatolica*, *Reseda lutea*, *Sanguisorba minor*, *Convolvulus assyricus*, *C. compactus*, *Onosma bornmuelleri* ve *Veronica multifida* türleridir. Tek yıllık olan *Bromus japonicus* ve *B. tectorum* da gözlenmiştir.

Berberis crataegina, *Juniperus oxycedrus*, *J. excelsa* gibi çalı formları da vardır.

Hezanlı Dağı'nda bol miktarda *Bromus tectorum* bulunur.

Astragalus condensatus, *A. microcephalus* ve *Thymus sipyleus* yaygın türlerdir. Otsu olarak; *Elymus lazicus*, *Bromus tectorum* ve *Silene supina* çok yaygındır.

Sonuç olarak; Sivas ili bitki çeşitliliği ve Endemizm yönünden oldukça zengin bir bölgedir. Bunun en önemli nedeni Kızılırmak havzasının jipsli alanlara sahip olmasıdır.

Sivas ilinde yetişen bazı endemik bitkilerin fotoğrafları;



Neotchihatchewia isatidea END **VU**



Scrophularia lepidota END **LC**



Crysocamela noeana END **EN**



Hypericum thymopsis END **NT**



Linum flavum subsp. *scabrinerve* END **LC**

Linum obtusatum END **LC**

	
<i>Helichrysum noeanum</i> END LC	<i>Helichrysum chionophilum</i> END LC
	
<i>Achillea teretifolia</i> END LC	<i>Achillea sintenisii</i> END LC
	
<i>Onobrychis argyrea</i> subsp. <i>argyrea</i> END LC	<i>Onobrychis quadrijuga</i> END EN



Fritillaria aurea END **LC**



Fritillaria armena END **LC**



Tanacetum argenteum subsp. *argenteum*
END **LC**



Tanacetum densum subsp. *sivasicum*
END **VU**



Fumana trisperma END **EN**



Haplophyllum myritifolium END **LC**



Nonea stenosen END **LC**



Salvia blepharochleana END **NT**

KAYNAKLAR

- Akpulat, H.A., Çelik, N. A. (2007). New subspecies of *Astragalus* (Legumino-sea; sect. Bunge) from TURKEY, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 155 (2), 227-230.
- Akpulat, H.A., Çelik, N. A. (2005). Flora of Gypsum Areas in Sivas in the Eastern Part of Cappadocia in Central Anatolia, Turkey, *Journal of Arid Environments*, 61, 27-46.
- Akpulat, H.A., Çelik, N. A. (2002). Sivas-Sıcak Çermik Arası Florası, *C. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, Sayı 1, sayfa 1-15.
- Aydoğdu, M., Ketenoğlu, O. (1993). Şarkışla-Kangal-Gürün (Sivas) arasında kalan jipsli topraklarda yayılış gösteren bitki toplulukları üzerine gözlemler. G. Ü. G. Eğ. Fak. Der. Yeni Dönem 1: 309-311.
- Aytaç, Z., Akgül, G., Ekici, M., A. (2012). New Species of Marrubium (Lamiaceae) from Central Anatolia, Turkey, *Turk J Bot* 36: 443-449.
- Christensen, K.I., Akpulat, H.A. (2006). *Iris celikii* (Iridaceae), a new species from northeastern Turkey, *Nordic Journal of Botany*, 24, 207-210.
- Civelek, Ş., Çelik, N. (1988). Taşlıdere (Sivas) Florası, IX. Ulusal Biy. Kong. Bild. Kitapçığı, Genel ve Sist. Bot. Sek. Cilt: 3, sayfa: 571-578, Sivas.
- Civelek, Ş. (1992). Çamlıbel-Yıldız Dağları (Sivas-Tokat) Florası, *Turkish Journal of Botany*, Volume: 16, number:1, page: 21-53.
- Çelik, N., Akpulat, H.A. (2008). *Achillea sivasica* (Asteraceae: sect. *Babounya* (DC.) O.Hoffm.), a new species from Inner Anatolia, Turkey, *Kew Bulletin*, 63 (3), 485-489.
- Çelik, N., Yıldız, B., Akpulat, H.A., Dönmez, E., Tekin, M. (2011). Sivas ili resimli florası, Cübp F-202 proje, Sivas.
- Çelik, N., Akpulat, H.A., Dönmez, E. (2007). A new species of *Physoptychis* (Brassicaceae) from TURKEY, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 154 (3), 393-396.
- Çelik, N., Yıldız, B. (1989). Tecer Dağları (Sivas) Florası, *C.Ü Fen Bilimleri Dergisi*, sayı 14, 3-16, Sivas.
- Davis, P.H. (1965-85). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Vol. I-IX, at the University Press, Edinburgh.
- Dönmez, E., Çelik, N. (2002). Sivas-Hafik Arası Florası, *C. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, Sayı 1, 16-33.
- Dönmez, E. (1999). Gövdeli Dağı (Kayseri-Sivas) Florası, Doktora Tezi, C.Ü. Fen Bilimleri Enst., Sivas.
- Ekim, T. (2001). Türkiye'nin Bitkisel Zenginliği, Türkiye Çevre Vakfı Yayınları Bitki Bölümü, Ankara.

- Ekim, T., Koyuncu M., Vural M., Duman H., Aytaç Z., Adıgüzel N. (2000). *Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı, Eğrelti ve Tohumlu Bitkiler (Red Data Book of Turkish Plants, Pteridophyta and Spermatophyta)*, Barışcan Ofset, Ankara, pp:246.
- Ekim, T. (1982). İncebel Dağları (Kayseri-Sivas) Florası, TBAG-419 No'lu Proje, Ankara.
- Hamzaoglu, E., Aydoğdu, M. (1993). Hafik (Sivas) ve Çevresindeki Jipsli Toprakların Florası. *Tr. J. of Botany*, Volume:19, Page: 373-388.
- Hamzaoglu, E., Budak, Ü., Aksoy, A. (2008). A New Species of *Gagea* Salisb. (Liliaceae) from Sivas (Central Anatolia, Turkey), *Turk J Bot.* 32: 261-264.
- Hamzaoglu, E. (2012). A new Species of *Gypsophila* and new Name for *Silene* (Caryophyllaceae) from Turkey, *Turk J Bot.*, 36: 135-139.
- Harlan, J. R. (1951). Anatomy of gene centres. *Am.Nat.*, 85: 97-103.
- Harlan, J.R. (1995). *The Living Fields: Our Agricultural Heritage*. Cambridge Univ. Press. Cambridge. U.K.
- IUCN. (2001). *IUCN Red List Categories: Version 3.1*. Prepared by the IUCN Species Survival Commission. Gland, Switzerland and Cambridge. UK.
- İlarslan, R. (1982). Deveci Dağları Florası, TBAG-420 No'lu Proje, Ankara.
- Kandemir, A., Genç, G.E., Genç, İ. (2009). *Silene dumanii* (Caryophyllaceae), a New Species from East Anatolia, Turkey, *Botanici Fennici* 46(1), 71-74.
- Kurt, L. (1995). Yozgat-Sivas arasında kalan bölgenin vejetasyonunun (Geyikli Dağı, Sırıklı Dağı, Karababa Dağı, Ak Dağlar) sinekolojik yönden araştırılması. Doktora Tezi, Ankara.
- Özhatay, N, Byfield, A. & Atay, S. (2003). Türkiye'nin Önemli Bitki Alanları. İstanbul.
- Özhatay, N., Byfield, A., Atay, S. (2005). *Türkiye'nin 122 Önemli Bitki Alanı*. İstanbul: WWF Turkey.
- Yıldız, B. (1982). Berit Dağı (Kahramanmaraş) Florası, TBAG-332 No'lu Proje, Ankara.
- Yıldız, B. (1996). Florostic Characteristics of Köse Dağı (Sivas), *Turkish Journal of Botany*, Volume: 20, Number: 5, Page: 417-456.
- Yıldız, B., Arabacı, T., Dirmenci, T., Çelenk, S. (2011). *Cirsium sivasicum* sp. nov. and *C. peshmenianum* sp. nov. (Asteraceae) and their allies from Turkey, *Nordic Journal of Botany* cult.29, sa.1, ss.26-37.

Bölüm 6

HATALARIN NORMAL DAĞILMAMASI DURUMUNDA M REGRESYONUN ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

Murat ERİŞOĞLU¹

Ülkü ERİŞOĞLU²

1 Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, merisoglu@erbakan.edu.tr,
ORCID ID: 0000-0002-4589-1383

2 Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, ugokal@erbakan.edu.tr,
ORCID ID: 0000-0002-9826-3460

1. GİRİŞ

Farklı birçok alanda, değişkenler arasındaki sebep-sonuç ilişkisinin modellenmesinde yaygın olarak regresyon analizi kullanılmaktadır. İstatistiksel analizler içerisinde en çok bilinen analizlerden biri olan regresyon analizinde, parametre tahmini ve istatistiksel testlerin gerçekleştirilebilmesi için birtakım varsayımların sağlanması gerekmektedir. Parametre tahmininde yaygın olarak kullanılan en küçük kareler (EKK) tahminleri, varsayımların sağlanması durumunda yansız ve etkin tahminler iken varsayımların sağlanamaması durumunda etkinlik özelliğini kaybetmektedir. Bu nedenle fen, mühendislik sağlık ve sosyal bilimler gibi birçok alanda kullanılan regresyon analizinde varsayımlardan sapma durumlarına karşı daha sağlam istatistiklere ihtiyaç duyulmaktadır.

Sağlam istatistiksel yöntemler, geleneksel istatistiksel yöntemleri taklit eden ancak aykırı gözlemlerden veya referans alınan istatistiksel dağılım modelinden sapmalara karşı daha az etkilenen yöntemlerdir. Literatürde en yaygın kullanılan sağlam tahmin ediciler, gözlem değerlerinin sıra istatistiklerinin lineer kombinasyonuna dayanan L tahmin edicileri, artıkların sıralanmasına dayanan R tahmin edicileri ve en çok olabilirlik tahmin edicilerin genelleştirilmesi olan M tahmin edicileridir. L ve R tahmin edicileri, belirli bir problemin tam istatistiksel dağılımını hesaplarken çok karmaşık ve güç hale gelir. L ve R tahmin edicileri birçok parametrik olmayan istatistiksel yaklaşımda kilit rol oynar. Bununla birlikte, hesaplama açısından daha zor olmalarına rağmen, M-tahmin edicileri daha çok tercih edilmektedir. Tahmin edicinin şekli bir fonksiyon tarafından sabitlendiğinden M-tahmin edicilerinin kullanımı daha kolaydır (De Menezes ve ark., 2021). Regresyon analizinde, aykırı değerlerin büyük sapmalarla neden olabileceğinden şüpheleniliyorsa, bu aykırı değerlerin düzeltilmesi veya kaldırılması için güçlü bir sağlam M-tahmincisi seçilmelidir (Huber ve Ronchetti, 2009). M-regresyonu, normal dağılım varsayımı açısından sağlam olması için Peter Huber tarafından 1964 yılında geliştirilmiştir.

Bu çalışmada hataların normal dağılım göstermemesi durumuna karşı alternatif olarak kullanılan sağlam M regresyonu incelenecektir. Çalışmada M regresyonunda yaygın kullanılan Huber'in M tahmini, Hampel'in dört parçalı M tahmini ve Tukey'in iki ağırlıklı M tahminleri için amaç, etki ve ağırlık fonksiyonları verilecektir. M regresyonunda parametre tahmininde kullanılan Huber-Dutter algoritması ve ardışık ağırlıklı EKK algoritması tanımlandıktan sonra M-tahmin edicileri ile EKK tahmin edicisi hataların normal dağılım göstermediği iki farklı durum için simülasyon çalışmasıyla MSE kriteri bakımından karşılaştırılacaktır. Hataların normal dağılıma sahip olmaması durumu

için hatalar sağa çarpık bir dağılım özelliği gösteren lognormal dağılımından ve normal olmayan ancak simetrik bir dağılım olan t dağılımından üretilecektir.

2. M REGRESYONU

Bağımlı değişken Y ve bağımsız değişkenler X_j ($j = 1, 2, \dots, p$) olmak üzere çoklu doğrusal regresyon modeli

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \varepsilon_i \quad (1)$$

eşitliği ile ifade edilir. Eşitlikte yer alan $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ bilinmeyen parametreleri ve ε_i beklenen değeri sıfırı, sabit varyanslı ve otokorelasyonsuz rassal hata terimini ifade etmektedir. Parametre tahmininde yaygın olarak kullanılan EKK yönteminde hataların kareleri toplamı minimize edilmeye çalışılır.

Hata terimlerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(\varepsilon_i)$ olmak üzere bilinmeyen parametrelerin en çok olabilirlik tahminleri için olabilirlik fonksiyonu

$$L = \prod_{i=1}^n f(y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \dots - \beta_p x_{pi}) \quad (2)$$

olarak ifade edilir. Hataların normal dağılım gösterdiği varsayıldığında bilinmeyen parametrelerin en çok olabilirlik (ML) tahminleri için

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \dots - \beta_p x_{pi})^2 \quad (3)$$

fonksiyonu minimize edilir. Görüldüğü gibi çoklu doğrusal regresyon analizinde hataların normal dağıldığı varsayıldığında EKK tahminleri ve ML tahminleri aynı olmaktadır. Hata teriminin normal dağılması durumunda EKK tahminleri yansız ve etkin tahmin edicilerdir. Ancak normal dağılım varsayımının geçerli olmaması durumunda EKK tahminleri yansızlık özelliğini korurken etkinlik özelliğini kaybederler. Huber (1964), hataların normal dağılım göstermediği veya aykırı değerlerin varlığında EKK tahminleri yerine ML tahminlerinin genelleştirilmesine dayanan M tahminini önermiştir.

2.1. Huber'in M-tahmini

EKK yönteminde, parametre tahminleri $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$ fonksiyonunu minimum yapacak şekilde seçilir. En küçük mutlak sapmalar (LAD) yönteminde ise parametre tahminleri için $\sum_{i=1}^n |\varepsilon_i|$ fonksiyonu minimize edilmeye çalışılır. M- tahmininde bu fikir genelleştirilmiş ve parametre tahminleri $\rho(\varepsilon)$; ε 'nin bir fonksiyonu olmak üzere $\sum_{i=1}^n \rho(\varepsilon)$ toplamını minimum yapacak şekilde elde edilir. Bu tanımlamalar altında, EKK yöntemi $\rho(e) = e^2$ ve LAD yöntemi $\rho(e) = |e|$ alındığı durumlar için M-tahmininin özel halleridir (Birkes ve Dodge, 2011).

Huber'in önerdiği M tahmin edicisi, hataların kareleri ile mutlak değerleri arasında uygunluk sağlayan bir fonksiyon kullanmaktadır. LAD tahmin edicilerinin EKK tahmin edicilerine göre avantajı aykırı değerlere karşı sağlam olmasıdır. Buna karşın aykırı değer olmadığında, EKK tahminleri daha doğru olabilir (Tasker ve Granato, 2000). Huber, bu iki yöntemin avantajlarını birleştirerek $\rho(\varepsilon)$ fonksiyonunu, hata terimini sıfıra yakın olduğunda ε^2 'ye ve sıfırdan uzak olduğunda $|\varepsilon|$ 'na eşitleyerek tanımlamıştır.

$$\rho(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{\varepsilon^2}{2}, & -k \leq \varepsilon \leq k \\ k|\varepsilon| - \frac{k^2}{2}, & \varepsilon < -k \text{ veya } \varepsilon > k \end{cases} \quad (4)$$

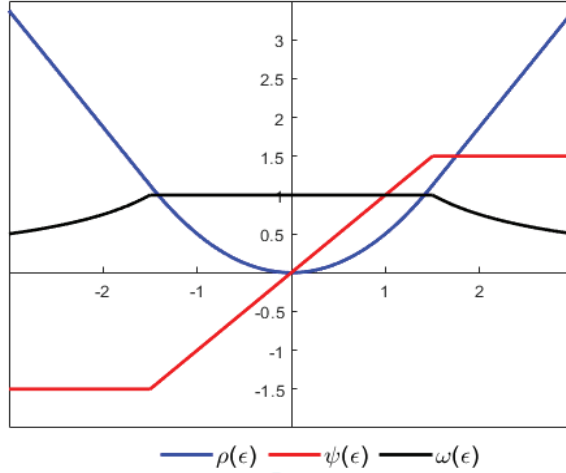
Huber (1964), $\hat{\sigma}$ rastgele hataların kitle standart sapması σ 'nın tahmini olmak üzere k değerini $1.5\hat{\sigma}$ olarak önermiştir. Huber (1964), MAD değeri $|\varepsilon_i|$ 'lerin medyanı olmak üzere, hataların standart sapması σ 'nın tahmini olarak $\hat{\sigma} = 1.4826\text{MAD}$ 'ı kullanmıştır. Burada hataların normal dağılması durumunda $\hat{\sigma}$ 'yı σ 'nın tutarlı bir tahmini yapmak için 1.4826 çarpanı kullanılmıştır. M tahmininde hata fonksiyonu $\rho(\varepsilon)$ 'nin ε 'na göre türevlenmesi ile etki fonksiyonu elde edilir. Huber'in M tahmini için etki fonksiyonu,

$$\psi(\varepsilon) = \frac{d\rho(\varepsilon)}{d\varepsilon} = \begin{cases} \varepsilon, & -k \leq \varepsilon \leq k \\ k\text{sign}(\varepsilon), & \varepsilon < -k \text{ veya } \varepsilon > k \end{cases} \quad (5)$$

olarak elde edilir. Etki fonksiyonunun ε 'na bölünmesi ile elde edilen fonksiyon ağırlık fonksiyonu olarak adlandırılır. Huber'in M tahmini için ağırlık fonksiyonu

$$\omega(\varepsilon) = \frac{\psi(\varepsilon)}{\varepsilon} = \begin{cases} 1, & -k \leq \varepsilon \leq k \\ \frac{k}{|\varepsilon|}, & \varepsilon < -k \text{ veya } \varepsilon > k \end{cases} \quad (6)$$

olarak elde edilir. Huber'in M tahmininde $\sigma = 1$ ve $k = 1.5$ için amaç, etki ve ağırlık fonksiyonlarının grafiği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Huber'in M tahmininde $\sigma = 1$ ve $k = 1.5$ için amaç, etki ve ağırlık fonksiyonlarının grafiği

2.2. Hampel'in Dört Parçalı M-Tahmini

M tahminleri içerisinde yaygın bir kullanıma sahip olan Hampel'in dört parçalı M tahmininde amaç fonksiyonu

$$\rho(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{\varepsilon^2}{2} & |\varepsilon| \leq a \\ a|\varepsilon| - \frac{a^2}{2} & a < |\varepsilon| \leq b \\ \frac{a\left(c|\varepsilon| - \frac{\varepsilon^2}{2}\right)}{c-b} - \frac{7a^2}{6} & b < |\varepsilon| \leq c \\ \frac{a(b+c-a)}{6} & |\varepsilon| > c \end{cases} \quad (7)$$

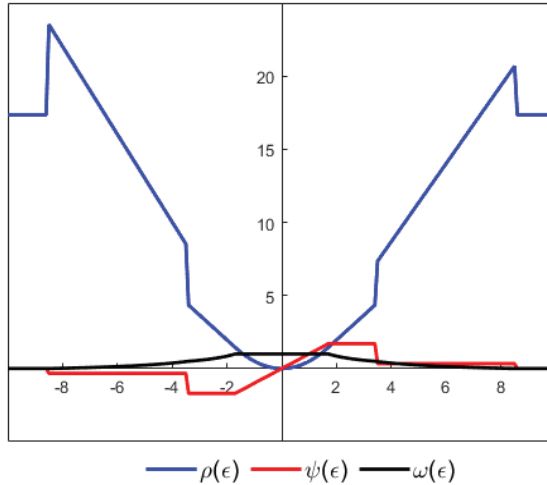
eşitliği ile ifade edilir (Hampel,1974). Hampel (1974), amaç fonksiyonunda kullandığı a, b ve c sabitlerini medyan sapma değerlerinin katları olarak tanımlamış ve sırasıyla 2, 4 ve 8 olarak önermiştir.

Literatürdeki birçok çalışmada medyan sapma katları için $a = 1.7, b = 3.4$ ve $c = 8.5$ kullanılmıştır (Kutlu, 2019). Hampel'in M tahmini için etki ve ağırlık fonksiyonları,

$$\psi(\varepsilon) = \begin{cases} \varepsilon & |\varepsilon| \leq a \\ a \operatorname{sign}(\varepsilon) & a < |\varepsilon| \leq b \\ \frac{a \operatorname{sign}(\varepsilon)(c - |\varepsilon|)}{c - b} & b < |\varepsilon| \leq c \\ 0 & |\varepsilon| > c \end{cases} \quad (8)$$

$$\omega(\varepsilon) = \begin{cases} 1 & |\varepsilon| \leq a \\ \frac{a}{|\varepsilon|} & a < |\varepsilon| \leq b \\ \frac{a(c - |\varepsilon|)}{|\varepsilon|(c - b)} & b < |\varepsilon| \leq c \\ 0 & |\varepsilon| > c \end{cases} \quad (9)$$

olarak elde edilir. Hampel'in dört parçalı M tahmininde $a = 1.7, b = 3.4$ ve $c = 8.5$ için amaç, etki ve ağırlık fonksiyonlarının grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Hampel'in M tahmininde $a = 1.7, b = 3.4$ ve $c = 8.5$ için amaç, etki ve ağırlık fonksiyonlarının grafiği

2.3. Tukey'in İki Ağırlıklı M-Tahmini

Tukey'in iki ağırlıklı M tahmin edicisi için k pozitif bir sayı olmak üzere amaç fonksiyonu

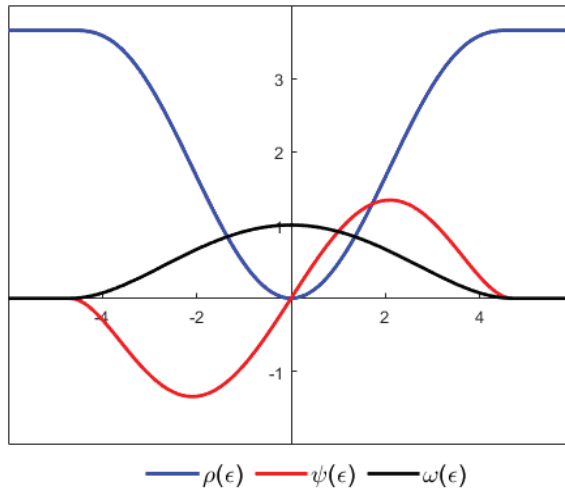
$$\rho(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{k^2}{6} (1 - \{1 - (\varepsilon/k)^2\}^3) & |\varepsilon| \leq k \\ \frac{k^2}{6} & |\varepsilon| > k \end{cases} \quad (10)$$

şeklinde tanımlanır (Beaton ve Tukey, 1974). Amaç fonksiyonunda yer alan k sabiti için literatürde en yaygın kullanılan değerler 2 ve 4.6851'dir. Tukey'in iki ağırlıklı M tahmin edicisi için etki ve ağırlık fonksiyonları

$$\psi(\varepsilon) = \begin{cases} \varepsilon(1 - (\varepsilon/k)^2)^2 & |\varepsilon| \leq k \\ 0 & |\varepsilon| > k \end{cases} \quad (11)$$

$$\omega(\varepsilon) = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{\varepsilon}{k}\right)^2\right)^2 & |\varepsilon| \leq k \\ 0 & |\varepsilon| > k \end{cases} \quad (12)$$

olarak elde edilir. Tukey'in M tahmininde $k = 4.6851$ için amaç, etki ve ağırlık fonksiyonlarının grafiği Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Tukey'in iki ağırlıklı M tahmininde $k = 4.6851$ için amaç, etki ve ağırlık fonksiyonlarının grafiği

3. PARAMETRE TAHMİNİ

M regresyonunda parametre tahminleri için yaygın olarak Huber-Dutter algoritması ve ardışık ağırlıklı EKK algoritması kullanılmaktadır. Huber-Dutter algoritması parametre tahmini için bağımlı değişkenin değerlerini tanımlanan amaç fonksiyonuna göre düzenlerken, ardışık ağırlıklı EKK algoritmasında ağırlık fonksiyonuna göre elde edilen ağırlıklara dayalı olarak parametre tahminleri yapılmaktadır. Huber-Dutter algoritması için aşağıdaki adımlar uygulanır.

Adım 1. Eşitlik (1)'de verilen çoklu doğrusal regresyon modelinde başlangıç parametre tahminleri için EKK tahminleri elde edilir.

Adım 2. Elde edilen parametre tahminlerine göre hata terimi $\hat{\epsilon}_i$ değerleri hesaplanır.

Adım 3. Bir önceki adımda elde edilen hata terimi $\hat{\epsilon}_i$ değerleri ve amaç fonksiyonuna göre düzeltilmiş hata terimleri $\hat{\epsilon}_i^*$ hesaplanır.

Adım 4. Düzeltilmiş hata terimleri $\hat{\epsilon}_i^*$ ile budanmış gözlem değerleri $y_i^* = \hat{y}_i + \hat{\epsilon}_i^*$ elde edilir.

Adım 5. Yenilenmiş parametre tahminleri için budanmış gözlem değerleri y_i^* ve bağımsız değişken değerleri $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}$ kullanılarak Eşitlik (1)'de verilen modele ait EKK tahminleri elde edilir.

Adım 6. Yenilenmiş parametre tahminleri ve başlangıç parametre tahminleri arasındaki mutlak farklar göz önünde bulundurularak durdurma kuralı kontrol edilir. Durdurma kuralı sağlanmamış ise yenilenmiş parametre tahminleri başlangıç parametre tahminleri olarak alınarak algoritma tekrarlanır. Yenilenmiş parametre tahminleri $\hat{\beta}_i^{yeni}$ ve başlangıç parametre tahminleri $\hat{\beta}_i^0$ olmak üzere durdurma kuralı olarak

$$\sum_{i=0}^p |\hat{\beta}_i^{yeni} - \hat{\beta}_i^0| \leq 10^{-4}$$

kullanılabilir.

M regresyonunda parametre tahmininde kullanılan diğer yaklaşım olan ardışık ağırlıklı EKK tahminleri için algoritma;

Adım 1. Eşitlik (1)'de verilen çoklu doğrusal regresyon modeli için başlangıç parametre tahmin vektörü

$$\hat{\beta}^0 = (X'WX)^{-1}X'Wy$$

eşitliği ile elde edilir. Eşitlikte yer alan X gösterimi $n \times (p + 1)$ boyutlu tasarım matrisini, y gösterimi bağımlı değişkene ait $n \times 1$ boyutlu gözlem vektörünü ve W gösterimi elemanları w_i olan $n \times n$ boyutlu diagonal ağırlık matrisini göstermektedir. Başlangıç parametre tahmin vektörü $\hat{\beta}^0$ 'ın elde edilmesinde ağırlıklar $w_i = 1$ alınır. Bu durumda aslında başlangıç parametre tahmin vektörü klasik EKK tahminleridir.

Adım 2. Parametre tahminlerine göre hata terimlerinin tahminleri $\hat{\varepsilon}_i$ hesaplanır.

Adım 3. Amaç fonksiyonunun türevinin, hata terimine bölünmesi ile elde edilen ağırlık fonksiyonu ve hata terimlerinin tahminleri $\hat{\varepsilon}_i$ değerlerine göre ağırlıklar yeniden hesaplanır.

Adım 4. Yeni elde edilen ağırlıklar kullanılarak oluşturulan $n \times n$ boyutlu diagonal ağırlık matrisi W^{yeni} olmak üzere parametre tahmin vektörü yenilenir.

$$\hat{\beta}^{yeni} = (X'W^{yeni}X)^{-1}X'W^{yeni}y$$

Adım 5. Durdurma kuralı sağlanıncaya kadar Adım 2-3 ve 4 tekrarlanır.

şeklinde tanımlanabilir.

4. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Bu bölümde hataların normal dağılıma sahip olmaması durumunda klasik EKK regresyonuna alternatif olarak kullanılan sağlam istatistiksel yaklaşım M regresyonu, EKK yöntemi ile hata kareler ortalaması (MSE) bakımından karşılaştırılacaktır. Simülasyon çalışmasında bağımsız değişken sayısı $p = 4$ alınmıştır. Bağımsız değişken değerleri $\mu = [0 \ 0 \ 0 \ 0]$ ve $I_{p \times p}$ gösterimi $p \times p$ boyutlu birim matris olmak üzere $\Sigma = I_{4 \times 4}$ ile çok değişkenli normal dağılımdan üretilmiştir. Bilinmeyen parametre vektörü β , $(X'X)$ matrisinin en büyük özdeğerine karşılık gelen öz vektörden oluşturulmuştur. Bağımlı değişkenin gözlem vektörü, $\mathbf{1}$ gösterimi $n \times 1$ boyutlu bir vektörü olmak üzere

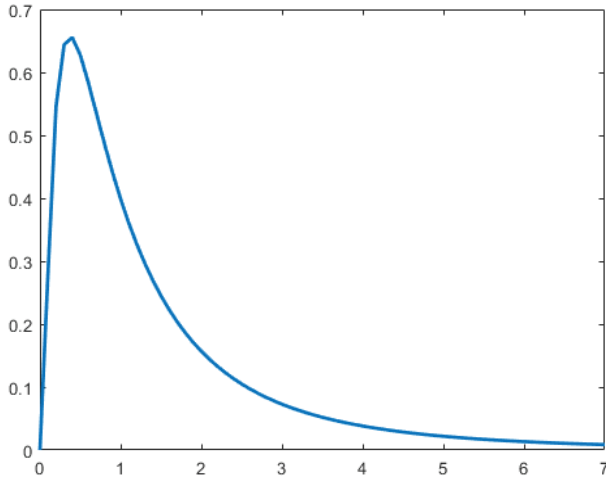
$$y = \mathbf{1} + X\beta + \varepsilon$$

eşitliğine göre oluşturulmuştur. Hata terimlerinin üretildiği lognormal ve t dağılımlarının olasılık yoğunluk fonksiyonları sırasıyla

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\ln(\varepsilon) - \mu}{2\sigma^2}\right)$$

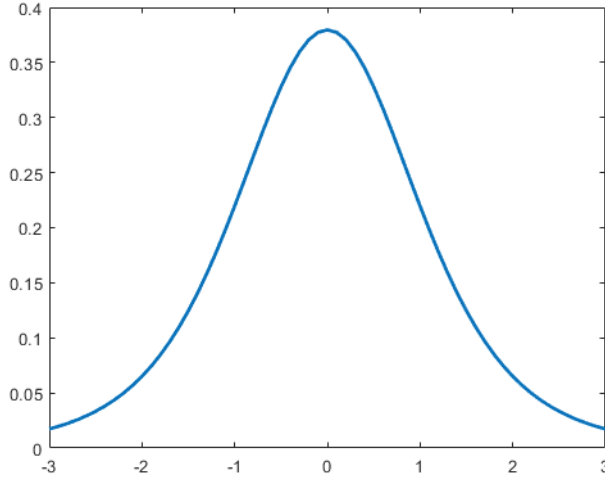
$$f(\varepsilon) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)\sqrt{\nu\pi}} \left(1 + \frac{\varepsilon^2}{\nu}\right)^{-\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}$$

şeklindedir. İncelenecek birinci durumda; hataların sağa çarpık bir dağılım göstermesi durumu için hatalar $\mu = 0$ ve $\sigma = 1$ parametreleri ile lognormal dağılımından üretilmiştir. $\mu = 0$ ve $\sigma = 1$ parametreleri ile lognormal dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. $\mu = 0$ ve $\sigma = 1$ parametreleri ile lognormal dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

İncelenecek ikinci durumda; hataların normal dağılım göstermemesine karşı hataların dağılımının simetrik dağılım olması durumu için hatalar serbestlik derecesi $\nu = 5$ olan t dağılımdan üretilmiştir. Serbestlik derecesi $\nu = 5$ ile t dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Serbestlik derecesi $v = 5$ olan t dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi

Çalışmada, Huber'in M tahminleri için $k = 1.5\hat{\sigma}$, Hampel'in M tahminleri için $a = 1.7, b = 3.4$ ve $c = 8.5$, Tukey'in M tahmini için $k = 4.6851$ olarak alınmıştır. M tahminlerinin elde edilmesinde ardışık ağırlıklı EKK algoritması kullanılmıştır. Örneklem hacmi 30, 100 ve 500 olacak şekilde 10000 tekrar ile gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında, parametre tahminleri için MSE ölçütü ve ortalama MSE ölçütü

$$MSE(\hat{\beta}_j) = \frac{1}{10000} \sum_{i=1}^{10000} (\beta_j - \hat{\beta}_{ij})^2 \quad (13)$$

$$MMSE(\hat{\beta}) = \frac{1}{10000} \sum_{i=1}^{10000} \frac{\sum_{j=0}^4 (\beta_j - \hat{\beta}_{ij})^2}{5} \quad (14)$$

eşitlikleri ile hesaplanmıştır. Hataların lognormal dağılımından üretilmesi durumu için gerçekleştirilen simülasyon çalışmasından elde edilen parametre tahminleri, parametre tahminlerine ait MSE ve ortalama MSE değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hata terimlerinin lognormal dağılıma sahip olması durumunda EKK regresyon yöntemi ile M regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması

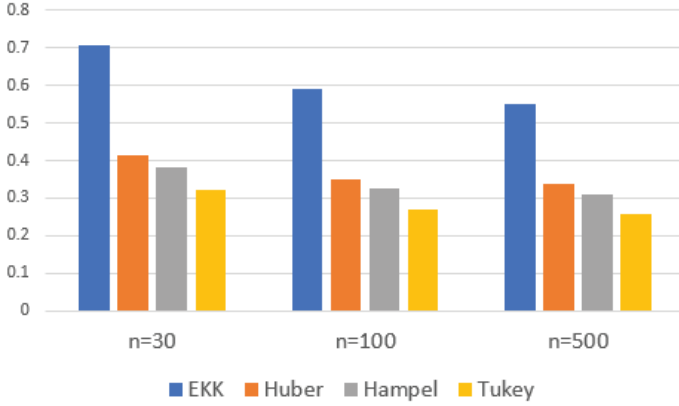
$n = 30$		Sabit	X_1	X_2	X_3	X_4	Ortalama MSE
	β	1.0000	-0.5866	0.4887	0.5089	-0.3976	
EKK	$\hat{\beta}$	2.6498	-0.5885	0.4890	0.5069	-0.3966	
	MSE	2.8811	0.2139	0.1275	0.1461	0.1707	0.7079
Huber	$\hat{\beta}$	2.3302	-0.5773	0.4739	0.4977	-0.3865	
	MSE	1.8475	0.0692	0.0467	0.0519	0.0540	0.4139
Hampel	$\hat{\beta}$	2.2895	-0.5803	0.4757	0.5006	-0.3890	
	MSE	1.7076	0.0620	0.0416	0.0463	0.0486	0.3812
Tukey	$\hat{\beta}$	2.1814	-0.5787	0.4752	0.4991	-0.3877	
	MSE	1.4365	0.0547	0.0372	0.0418	0.0435	0.3227

$n = 100$		Sabit	X_1	X_2	X_3	X_4	Ortalama MSE
	β	1.0000	-0.1145	0.5379	0.5833	0.5978	
EKK	$\hat{\beta}$	2.6486	-0.1138	0.5398	0.5823	0.5988	
	MSE	2.7653	0.0439	0.0434	0.0446	0.0508	0.5896
Huber	$\hat{\beta}$	2.2988	-0.1137	0.5389	0.5827	0.5988	
	MSE	1.7091	0.0122	0.0115	0.0122	0.0138	0.3517
Hampel	$\hat{\beta}$	2.2539	-0.1141	0.5387	0.5827	0.5986	
	MSE	1.5837	0.0111	0.0105	0.0112	0.0126	0.3258
Tukey	$\hat{\beta}$	2.1404	-0.1145	0.5385	0.5828	0.5982	
	MSE	1.3106	0.0095	0.0090	0.0097	0.0110	0.2700

$n = 500$		Sabit	X_1	X_2	X_3	X_4	Ortalama MSE
	β	1.0000	0.1067	0.6460	-0.5424	0.5265	
EKK	$\hat{\beta}$	2.6475	0.1065	0.6435	-0.5426	0.5269	
	MSE	2.7237	0.0084	0.0088	0.0083	0.0109	0.5520
Huber	$\hat{\beta}$	2.2951	0.1063	0.6447	-0.5426	0.5259	
	MSE	1.6816	0.0022	0.0023	0.0022	0.0028	0.3382
Hampel	$\hat{\beta}$	2.2431	0.1063	0.6449	-0.5426	0.5256	
	MSE	1.5475	0.0020	0.0021	0.0020	0.0025	0.3112
Tukey	$\hat{\beta}$	2.1272	0.1062	0.6450	-0.5427	0.5255	
	MSE	1.2725	0.0017	0.0018	0.0017	0.0022	0.2560

Tablo 1 incelendiğinde; hataların sağa çarpık dağılım göstermesi durumu için parametre tahminlerinin MSE değerlerine göre karşılaştırılmasında, M regresyonunun tüm örneklem hacimlerinde klasik EKK regresyonundan daha başarılı bir performans gösterdiği görülmüştür. M tahminleri içerisinde tüm örneklem hacimlerinde Tukey'in iki ağırlıklı M tahmini MSE kriteri bakımından en başarılı

tahmin edici olmuştur. Hataların sağa çarpık dağılım göstermesi durumunda, M regresyonu ile EKK regresyonunun ortalama MSE değerlerine göre grafiksel karşılaştırılması Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Hataların sağa çarpık dağılım olması durumunda farklı örneklem hacimlerinde EKK ve M tahminlerinin ortalama MSE değerleri

Hataların t dağılımından üretilmesi durumu için gerçekleştirilen simülasyon çalışmasından elde edilen parametre tahminleri, parametre tahminlerine ait MSE ve ortalama MSE değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Hata terimlerinin t dağılıma sahip olması durumunda EKK regresyon yöntemi ile M regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması

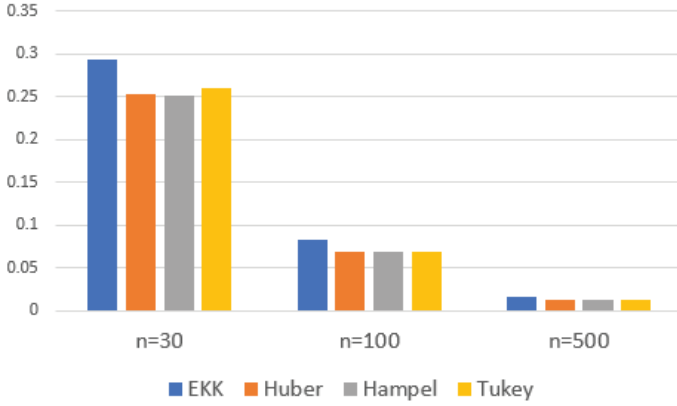
$n = 30$		Sabit	X_1	X_2	X_3	X_4	Ortalama MSE
	β	1.0000	-0.5866	0.4887	0.5089	-0.3976	
EKK	$\hat{\beta}$	0.9983	-0.5890	0.4896	0.5083	-0.3984	
	MSE	0.0574	0.0765	0.0452	0.0535	0.0603	0.29300
Huber	$\hat{\beta}$	0.9990	-0.5891	0.4901	0.5092	-0.3984	
	MSE	0.0483	0.0667	0.0397	0.0465	0.0523	0.25351
Hampel	$\hat{\beta}$	0.9995	-0.5893	0.4902	0.5091	-0.3986	
	MSE	0.0479	0.0662	0.0395	0.0462	0.0521	0.25184
Tukey	$\hat{\beta}$	1.0000	-0.5881	0.4903	0.5090	-0.3987	
	MSE	0.0489	0.0687	0.0413	0.0478	0.0535	0.26020

Tablo 2 (devam). Hata terimlerinin t dağılıma sahip olması durumunda EKK regresyon yöntemi ile M regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması

$n = 100$		Sabit	X_1	X_2	X_3	X_4	Ortalama MSE
	β	1.0000	-0.1145	0.5379	0.5833	0.5978	
EKK	$\hat{\beta}$	0.9997	-0.1124	0.5362	0.5831	0.5975	
	MSE	0.0168	0.0157	0.0152	0.0167	0.0184	0.08277
Huber	$\hat{\beta}$	0.9996	-0.1125	0.5369	0.5832	0.5971	
	MSE	0.0138	0.0131	0.0127	0.0138	0.0153	0.06865
Hampel	$\hat{\beta}$	0.9997	-0.1127	0.5369	0.5831	0.5969	
	MSE	0.0138	0.0131	0.0127	0.0138	0.0153	0.06868
Tukey	$\hat{\beta}$	0.9996	-0.1130	0.5372	0.5833	0.5970	
	MSE	0.0139	0.0132	0.0128	0.0138	0.0155	0.06916

$n = 500$		Sabit	X_1	X_2	X_3	X_4	Ortalama MSE
	β	1.0000	0.1067	0.6460	-0.5424	0.5265	
EKK	$\hat{\beta}$	1.0001	0.1077	0.6461	-0.5427	0.5257	
	MSE	0.0033	0.0030	0.0032	0.0031	0.0039	0.01638
Huber	$\hat{\beta}$	1.0003	0.1075	0.6460	-0.5428	0.5258	
	MSE	0.0027	0.0025	0.0026	0.0025	0.0032	0.01341
Hampel	$\hat{\beta}$	1.0003	0.1075	0.6459	-0.5428	0.5258	
	MSE	0.0027	0.0025	0.0026	0.0025	0.0032	0.01343
Tukey	$\hat{\beta}$	1.0004	0.1074	0.6459	-0.5427	0.5258	
	MSE	0.0027	0.0025	0.0026	0.0025	0.0032	0.01346

Tablo 2 incelendiğinde; hataların normal olmayan ancak simetrik bir dağılım göstermesi durumu için parametre tahminlerinin MSE değerlerine göre karşılaştırılmasında, M regresyonunun tüm örneklem hacimlerinde klasik EKK regresyonundan daha başarılı bir performans gösterdiği görülmüştür. Hataların normal dağılım göstermemesi ancak dağılımın simetrik olması durumunda EKK tahminleri ile M tahminleri arasındaki performans farklılığının azaldığı görülmüştür. Örneklem hacminin 30 olması durumunda Hampel'in dört parçalı M tahmini ortalama MSE kriteri bakımından en başarılı tahmin edici olmuştur. Örneklem hacminin 100 ve 500 olması durumunda ise Huber'in M tahmini ortalama MSE kriteri bakımından en başarılı tahmin edici olmuştur. Hataların normal olmayan ancak simetrik dağılım göstermesi durumunda, M regresyonu ile EKK regresyonunun ortalama MSE değerlerine göre grafiksel karşılaştırılması Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Hataların normal olmayan ancak simetrik bir dağılım olması durumunda farklı örneklem hacimlerinde EKK ve M tahminlerinin ortalama MSE değerleri

5. SONUÇ

Bu çalışmada hataların normal dağılıma sahip olmaması durumunda EKK regresyonuna alternatif olarak kullanılan M regresyonu incelenmiştir. M tahminleri içerisinde yaygın bir kullanımı olan Huber'in M tahmini, Hampel'in dört parçalı M tahmini ve Tukey'in iki ağırlıklı M tahminleri için amaç, etki ve ağırlık fonksiyonları verilmiştir. M regresyonunda parametre tahmininde kullanılan Huber-Dutter algoritması ve ardışık ağırlıklı EKK algoritması verilmiştir.

Hataların normal dağılıma sahip olmaması durumunda M regresyonu ile EKK regresyonunun simülasyon çalışması ile karşılaştırılmasında, hatalar sağa çarpık bir dağılım özelliği gösteren lognormal dağılımından ve normal olmayan ancak simetrik bir dağılım olan t dağılımından üretilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışması sonucunda MSE kriterine göre hataların normal dağılım göstermemesi durumunda M regresyonunun daha başarılı olduğu gösterilmiştir. Hataların normal olmayan ancak simetrik bir dağılım göstermesi durumunda MSE kriteri bakımından M tahminleri EKK tahminlerinden daha başarılı bulunmasına karşı iki tahmin edici arasındaki performans farklılığının azaldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Beaton, A. E., Tukey, J. W. (1974). The fitting of power series, meaning polynomials, illustrated on band-spectroscopic data. *Technometrics*, 16(2), 147-185.
- Birkes, D., Dodge, Y. (2011). *Alternative methods of regression*, 190, John Wiley & Sons.
- De Menezes, D. Q. F., Prata, D. M., Secchi, A. R., Pinto, J. C. (2021). A review on robust M-estimators for regression analysis. *Computers & Chemical Engineering*, 147:107254.
- Devore, J., R. Peck (1986). *Statistics: The Exploration and Analysis of Data*. West, St. Paul, MN.
- Ergül, B. (2006). *Robust Regresyon ve Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Hampel, F. R. (1974). The influence curve and its role in robust estimation. *Journal of the American Statistical Association*, 69, 383-393.
- Huber, P. (1964). Robust estimation of a location parameter. *Annals of Mathematical Statistics*, 35, 73-101.
- Huber, P. J., and Ronchetti, E. M. (2009). *Robust Statistics*. 2nd John Wiley & Sons. Hoboken, NJ, 2.
- Kutlu, M. N. (2019). R programlama ile doğrusal olmayan regresyonda M tahmin edicileri ve etki fonksiyonları, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Tasker, G., Granato, G. (2000). Statistical approaches to interpretation of local, regional and national highway -Runoff and Urban- Stormwater Data, U.S. Geological Survey, 1-47.

Bölüm 7

MİKROBİYAL ENZİMLER: ÜRETİMDEN ENDÜSTRİYEL, TIBBİ VE BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALARA

Nazlı Pınar ARSLAN¹

Özden Canlı TAŞAR²

Mesut TAŞKIN³

1 Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikleri Bölümü, Bingöl, Türkiye, e-mail: nparslan55@hotmail.com, Orcid: 000-0002-3951-4418

2 Dr. Öğr. Gör., Erzurum Teknik Üniversitesi, Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Erzurum, Türkiye, e-mail: ozden.tasar@erzurum.edu.tr, Orcid: 000-0002-4313-5373

3 Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Erzurum, Türkiye, e-mail: mesuttaskin61@hotmail.com, Orcid: 000-0002-9350-9628_

Giriş Bölüm

Günümüzde, bitkiler ve hayvanların yanısıra mikroorganizmalardan (bakteriler, mayalar ve küfler) elde edilen enzimler insan yaşamını kolaylaştırmaya yönelik olarak farklı endüstriyel ve biyoteknolojik alanlarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte, genetik mühendisliği tekniklerinin daha kolay uygulanabilmesi, daha yüksek aktivite ve stabilite göstermeleri, üretim proseslerinin daha kolay optimize edilebilmesi, üretimlerinin daha kısa sürede gerçekleştirilebilmesi ve daha kolay saflaştırılabilmesi gibi pek çok avantajlarından dolayı mikrobiyal enzimlere olan ilgi dahada fazladır. Mikrobiyal enzimlerin en önemli kullanım alanları gıda, deterjan, tekstil, kozmetik, kağıt, ilaç ve biyomedikal endüstrilerinin yanısıra biyoremediasyon ve organik sentez reaksiyonlarıdır.

1. Enzimler

Enzimler, bütün canlı organizmalarda bulunan ve bu organizmaların biyolojik reaksiyonlarını katalizleyen, moleküler kütlesi kilodalton ile megadalton arasında değişen, amid bağlarıyla birbirine bağlanan amino asitlerden oluşan büyük makromoleküllerdir. Katalitik RNA molekülleri (ribozimler) hariç, enzimlerin hepsi protein yapısındadır (Raja vd., 2011; Singh vd., 2016). Enzimlerin bazıları hücre içi yerleşimli, bazıları ise hücre içinde sentezlense hücre dışına salgılanmaktadır.

Enzimler, modifiye ettikleri substratın (yani, üreaz ve tirozinaz) adına veya katalize ettikleri reaksiyon tipine (dehidrojenaz, dekarboksilaz)-az son eki getirilerek adlandırılır. Bazılarının rastgele isimleri vardır (pepsin ve tripsin). Enzimler katalizledikleri reaksiyon tipine göre oksidoredüktazlar, transferazlar, hidrolazlar, liyazlar, ligazlar ve izomerazlar olmak üzere 6 temel gruba ayrılırlar (Komoda & Matsunaga, 2015).

Enzimlerin etki mekanizması, aktivasyon enerjisini azaltarak reaksiyon hızını hızlandırma yeteneğine bağlıdır. Reaksiyon sırasında, enzim (E) substrata (S) bağlanır ve geçici bir enzim-substrat kompleksi (ES) oluşturur. Reaksiyon sonunda ürün/ürünler oluşur, enzim değişmeden kalır, başka bir substratı bağlayabilir ve birçok kez tekrar kullanılabilir (Copeland, 2000; Komoda and Matsunaga, 2015). Sıcaklık, pH ve metal iyonları gibi faktörler canlılarda enzimlerin aktivitesini etkiler. Çoğu memeli enzimi için optimal sıcaklık 37°C civarında iken 40°C'nin üzerindeki sıcaklıkların enzimler üzerinde inaktive edici etki gösterdiği bilinmektedir. pH, enzim-substrat kompleksinde yer alan fonksiyonel grupların ayrışma durumunu etkileyerek enzim aktivitesini etkiler. Enzimlerin optimum pH'sı vardır ve aşırı pH değerleri enzim denatürasyonuna neden olur (Komoda & Matsunaga, 2015; Svendsen, 2016; Punekar, 2018).

Aktif bölge veya katalitik bölge, substratın bağlandığı enzimdeki

spesifik yerdir. Koenzimler, enzimlerin aktif bölgesine veya yakınına bağlanan organik bileşiklerdir. Bazı enzimler koenzimler olmadan aktiftir. Ancak birçoğunun aktif olması için bir koenzim gerekir. Koenzimnin yokluğunda aktif olmayan bir enzime apoenzim denir. Enzimin aktif formunu üretecek koenzim varlığında buna holoenzim adı verilir. Genel olarak koenzimler, vitaminler veya vitamin türevleridir. En temel koenzimlerden biri olan NAD⁺ (nikotinamid adenin dinükleotit), niasinden türetilir. B vitamini grubunun suda çözünen vitaminlerinin çoğu, niasin gibi koenzim öncülleri olarak işlev görür (Litwack, 2008; Renneberg vd., 2017).

2. Mikrobiyal Enzimler

Günümüzde enzimler gıda, yem, kozmetik, ilaç, biyoyakıt, deterjan, deri ve tekstil endüstrilerinde kullanılmaktadır. Endüstriyel öneme sahip enzimler hayvanlar, bitkiler ve mikroorganizmalar tarafından sentezlenmektedir (Sanchez & Demain, 2011; Anbu vd., 2017; Al-Maqtari vd., 2019). Örneğin, halihazırda çeşitli endüstrilerde kullanılan pepsin, tripsin, pancratin ve chimosin gibi enzimler hayvansal, papain, bromelain ve fisin gibi enzimler ise bitkisel kaynaklardan elde edilmektedir (Patel vd., 2017). Bununla birlikte, bitkisel ve hayvansal kaynaklı enzimlerle karşılaştırıldıklarında, mikrobiyal enzimlerin daha yüksek stabiliteye ve spesifiteye sahip olduğu ve genetik müdahalelere daha açık olduğu bildirilmektedir. Dahası, mikrobiyal enzimlerin daha kısa sürede ve daha düşük maliyetle üretilebileceği ve daha kolay saflaştırılabilecekleride belirtilmektedir. Bu avantajlar dikkate alınarak, endüstriyel enzimlerin üretimi çoğunlukla mikroorganizmalar (bakteri, küf ve maya) ile gerçekleştirilmektedir (Taskin vd., 2016a; Patel vd., 2017; Raveendran vd., 2018; Al-Maqtari vd., 2019).

Mikrobiyal kaynaklı enzimlerin üretimi temel olarak sıvı (submerged fermentation) ve katı (solid-state fermentation) teknikleri ile üretilmektedir. Enzim üretimini artırmak içinse sıcaklık, pH, substrat konsantrasyonu, havalandırma, çalkalama hızı ve inkübasyon süresi gibi fiziko-kimyasal parametrelerin yanısıra besinsel faktörlerinde (karbon, azot ve mineral kaynakları gibi) optimizasyonu gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, mikroorganizmaların immobilize hücreleri kullanılarak enzim üretiminde önemli artışlar elde edilmektedir (Taskin, 2013; Taskin vd., 2016b; Patel vd., 2017; Akatın, 2019). Günümüzde ise mikroorganizmaların proteaz, lipaz, invertaz, inülaaz, amilaz, pektinaz, sellulaz, tannaz, lakkaz ve glukoz oksidaz gibi endüstriyel ve biyoteknolojik öneme sahip enzimleri ürettiği belirtilmektedir (Liu & Kokare, 2017; Singh vd., 2019).

2.1. Lipazlar

Lipazlar (triasilgliserol hidrolazlar E.C. 3.1.1.3), triasilgliserollerin (TAG'ler) gliserol ve yağ asitlerine (FA'ler) hidrolizini katalize eden en-

zimlerdir. (Sumanjelin vd., 2013). Hidrolazlar grubunda olduğu için lipazlar, kofaktör gerektirmez ve genellikle bölge seçimli, stereo seçimli, kimyasal seçimli, enantio seçimli reaksiyonlarda dönüşümleri katalizlemektedirler kullanılmaktadır. Bu özellikler lipazı, çok yönlü biyokatalizör yapmaktadır (Saxena vd., 2003; Joseph vd., 2008; Bussamara vd., 2010). Lipazlar esterifikasyon, interesterifikasyon, asidoliz, alkoliz, aminoliz gibi reaksiyonların katalizlemesinde kullanılmaktadır (Colla vd., 2010; Treichel vd., 2010).

Lipazlar, bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar tarafından üretilmektedir. Bununla birlikte, mikrobiyal lipazlar daha fazla endüstriyel uygulamaya sahiptir. Bu durum ise, mikrobiyal lipazların organik çözücülerde daha kararlı olması, reaksiyonlarda kofaktör gerektirmemesi ve geniş substrat seçiciliğinin olması ile açıklanmaktadır (Jaeger & Reetz, 1998; Sumanjelin vd., 2013).

Literatürde, bakteri olarak *Bacillus*, *Anoxybacillus*, *Geobacillus* ve *Pseudomonas*, küf olarak *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus* ve *Rhizopus*, maya olarakta *Candida*, *Yarrowia*, *Pichia* ve *Rhodotorula* cinslerine ait olan suşların iyi lipaz üreticisi oldukları belirtilmektedir. (İftıkhar vd., 2011; Veerapaguet vd., 2013; Koc vd., 2015; Meunchan vd., 2015; Taskin vd., 2016b; Chandra vd., 2020). Bakteri kökenli lipazlar çoğunlukla nötral ya da alkali pH' larda, küf ve maya kökenli lipazlar ise çoğunlukla asidik pH' larda daha yüksek aktivite göstermektedir (Hasan vd., 2006; Chandra vd., 2020). Lipazların maksimum aktivite gösterdiği sıcaklık aralığında farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, bazı lipazlar 60°C veya daha yüksek sıcaklıklarda maksimum aktivite gösterebilmektedir. Bu lipazlar termofilik lipazlar olarakta isimlendirilmektedir. Termofilik lipazlar ise çoğunlukla kaplıcalar ve derin deniz hidrotermal bacaları gibi sıcak ortamlarda yaşayan termofilik mikroorganizmalardan, özelliklede bakterilerden elde edilmektedir (Pinzón-Martínez vd., 2010; Baltacı vd., 2019; Ovando-Chacon vd., 2020). Özellikle, *Bacillus*, *Geobacillus* ve *Thermomonas* gibi bazı bakteri cinslerinin iyi termofilik lipaz üreticileri olduğu belirtilmektedir (Sifour vd., 2010; Christopher vd., 2015; Mohammad vd., 2017; Bredai vd., 2021).

Lipazların mikrobiyal üretiminde substrat olarak bitkisel (zeytin yağı, ayçiçek yağı, mısır yağı vb) ve hayvansal yağlar kullanılmaktadır. Hatta üretim maliyetini azaltmak için atık özelliğindeki bitkisel ya da hayvansal kızartma yağlarında substrat olarak değerlendirilmektedir (Taskin vd., 2016b; Baltacı vd., 2019; Komesli vd., 2021).

Lipazlar günümüzde deterjan, tekstil, gıda, deri, kağıt, kozmetik ve ilaç endüstrilerinin yanı sıra organik sentez reaksiyonları ve biyodizel üretimi gibi farklı amaçlar içinde geniş kullanım alanına sahiptir. Deterjan

endüstrisinde özellikle yüksek sıcaklıklarda ve alkali pH' larda aktivite gösteren lipazlar (termofilik-alkalifilik lipazlar) tercih edilmektedir (Hasan vd., 2006; Veerapagu vd., 2013; Christopher vd., 2015; Chandra vd., 2020; Mehta vd., 2021).

Deterjan endüstrisinde düşük sıcaklıklarda daha yüksek aktivite gösteren lipazlarda (cold-active) kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda aktivite gösteren lipazlar çoğunlukla psikrofilik veya psikrotolerant özelliğe sahip olan *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Moraxella*, *Psychrobacter*, *Staphylococcus* ve *Pseudomonas* gibi bakteri cinsleri tarafından üretilmektedir. Bu lipazların deterjan endüstrisinde kullanılmasıyla yüksek sıcaklıkların giysilerde neden olduğu aşınma probleminin önüne geçilmesi ve yıkama suyunun sıcaklığını artırmak için gerekli olan elektrik tüketiminin azaltılması amaçlanmaktadır (Komesli vd., 2021). Soğuk aktif lipazlar ayrıca ilaç endüstrisi için çok gerekli olan optikçe aktif aminlerin sentezinde ve organik sentez reaksiyonlarında da esterlerin hazırlanmasında kullanılırlar. Dahası bu lipazlar, gıda endüstrisinde, lipofilik antioksidanların ve aroma verici bileşiklerin sentezi içinde uygulanırlar (Joseph vd., 2008; Ganasen vd., 2016; Komesli vd., 2021).

Mikrobiyal lipazlar, kimyasal katalistlere alternatif olarak metanol varlığında bitkisel ya da hayvansal yağlardan transesterifikasyon reaksiyonu ile yağ asidi metilesterlerinin yani biyodizel üretiminde de kullanılmaktadır (Bajaj vd., 2010; Bhan & Singh, 2020).

2.2. Proteazlar

Endüstriyel enzim piyasasının yaklaşık olarak %60' nı proteazlar oluşturmaktadır. Lipazlarda olduğu gibi proteazlarda bitki ve hayvanlar tarafından sentezlense de onların endüstriyel üretimi asıl olarak mikroorganizmalar ile gerçekleştirilmektedir (Mitra vd., 1996; Lazim vd., 2009; Ramesh vd., 2009).

Proteazlar gıda, tekstil, fotoğraf, deri, deterjan, kozmetik ve ilaç sanayilerde çok fazla kullanım alanı bulmaktadır (Foroughi vd., 2006; Mukherjee vd., 2008; Veloorvalappil vd., 2013; Razzaq vd., 2019). Optimum aktivite gösterdikleri pH derecesi bakımından, proteazlar asidik, nötral ve alkalın proteazlar olarak ayrılmaktadır. Proteazlar içerisinde ne büyük grubu alkalın proteazlar oluşturmaktadır. Alkalın proteazlar yüksek sıcaklık ve pH' ların yanı sıra surfaktanların ve okside edici ajanların varlığında bile yüksek stabilite ve aktivite göstermektedirler. Bu özelliklerinden dolayı da, alkalın proteazlar deterjan formülasyonlarında çok fazla kullanılmaktadır (Tari vd., 2006; Abidi vd., 2008; Mukherjee vd., 2008).

Deterjan endüstrisindeki alkalın proteazların dünya enzim üretiminin

yaklaşık olarak %30' nu oluşturduğu belirtilmektedir. Bu enzimler uzun yıllardan beri deterjan endüstrisinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Subtilisin Carlsberg, Subtilisin BPN, Alcalase®, Esperase® ve Savinase® gibi deterjan proteazları da marketlerde satılmaktadır. Mikrobiyal alkalın proteazlar, bakteriler, mayalar ve küfler tarafından üretilmektedirler. Bununla birlikte alkalın proteazların ticari olarak üretimi daha çok bakterilerle özellikle *Bacillus* cinsi bakteriler ile gerçekleştirilmektedir (Beg & Gupta 2003; Haddar vd., 2009).

Yapılan çalışmalarda *Bacillus licheniformis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. circulans*, *B. coagulans*, *B. intermedius*, *B. proteolyticus*, *B. pumilus*, *B. subtilis*, *B. sefensis*, *B. mojavensis* gibi birçok *Bacillus* türünün alkalifilik ve termofilik özelliğe sahip olan proteazları ürettiği gösterilmiştir (Haddar vd., 2009; Baweja vd., 2016; Hammami vd., 2018; Rekik vd., 2019; Emran vd., 2020). Literatürde, *Anoxybacillus*, *Paenibacillus*, *Aeromonas*, *Streptomyces* ve *Nocardia* gibi diğer bazı bakteri cinslerinde alkalifilik özelliğe sahip proteazları üretebileceği belirtilmiştir (Touiou vd., 2015; Gohel vd., 2015; Datta vd., 2017; Doan vd., 2019; Mecri vd., 2019).

Deterjan endüstrisinde her ne kadar alkalifilik proteazların termofilik karaktere sahip olanları çok fazla kullanılsa da, son zamanlarda bu endüstride mikrobiyal kökenli alkalın proteazların soğukta aktif olanları da kullanım alanı bulmaktadır. Soğukta aktif proteazların kullanılması sayesinde de giysilerdeki bozulmanın ve fazladan enerji tüketimin önüne geçilmeye çalışılmaktadır (Joshi & Satyanarayana, 2013; Unver vd., 2015).

Mikrobiyal proteazlar günümüzde süt kazeini, boynuz, tüy ve yün gibi hayvansal materyallerden ilaç veya gıda sektörleri için önem arz eden protein hidrolizatlarının, aminoasitlerin ve biyoaktif peptitlerin hazırlanmasında da kullanılmaktadır (Veloortalappil vd., 2013; Singh vd., 2016; dos Santos Aguilar & Sato, 2018; Razzaq vd., 2019; Fontoura vd., 2019; Gao vd., 2021; Tuysuz vd., 2021). Örneğin, yapılan bir çalışmada (Kshetri vd., 2020) *Bacillus* sp.' den elde edilen keratinolitik proteaz ile tavuk tüylerinden protein hidrolizatı hazırlanmış ve bu hidrolizatın anti-oksidad ve anti-tirozinaz aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir.

Asparajinaz ve glutaminaz gibi mikrobiyal proteazların anti-kanser aktivite gösterdiğide bilinmektedir (Shrivastava vd., 2016; Mostafa vd., 2021). Örneğin, *Escherichia coli* ve *Erwinia chrysanthemi*' den izole edilen proteaz grubu asparaginazlar akut lenfoblastik lösemi' nin tedavisinde kemoterapik ajanlar olarak kullanılmaktadır. *E. coli*' nin asparaginazı Pegaspargase (Oncaspar) ve *E. chrysanthemi*' nin asparaginazı ise Erwinase ismiyle üretilmektedir (Piątkowska-Jakubas vd., 2008; Pieters vd., 2011). L-asparaginaz, insan kan damar sisteminde L-asparagin aminoasidini L-aspartik asit ve amonyağa hidrolizini katalizlemektedir. Sağlıklı hücrelerin

aksine, lösemik hücreler ise, kanda L-asparagin tükenince kendi L-asparagini diğer aminoasitleri kullanarak sentezleyememektedir. L -asparaginazların akut lenfoblastik lösemi tedavisinde kemoterapik ajan olarak kullanılabilirliğinin esası da damaryoluyla vücuda verilen bu enzimlerin kandaki asparajinazı tüketerek lösemik hücreleri apoptoza uğrattırmaya dayanmaktadır (Pieters vd., 2011; Batool vd., 2016).

Fibrin, kanda bulunan ve kanın pıhtılaşmasında görev alan protein yapıdaki bir moleküldür. Bununla birlikte, fibrinin kan damarlarında aşırı birikimi pıhtı oluşumunu tetikleyerek kardiyovasküler hastalıklara yol açmaktadır (Peng vd., 2005). Yapılan çalışmalarda, mikroorganizmalardan elde edilen proteaz grubu bazı enzimlerin fibrini parçalayabildiği ve bu sayede kardiyovasküler hastalıkların engellenmesi veya tedavisinde ilaç olarak kullanılabileceği gösterilmiştir (Wu vd., 2019; Pan vd., 2019).

2.3. Amilazlar

Nişasta, pirinç ve buğday gibi bitkilerin köklerinde bulunan ve bitki hücrelerinin temel karbon kaynağını oluşturan bir maddedir. Amilaz enzimi (EC 3.2.1.1), nişasta ve bağlantılı diğer polisakkaritlerin yapısında bulunan glikozidik bağları kırarak, pek çok farklı organizma tarafından yararlanılması kolay olan şekerlerden glukoz ve maltoza dönüştürür (Khe-roouf vd., 2021; Paul vd., 2020). Glukoz moleküllerinin α -1,4 bağlantıları ile birleşmesiyle oluşan amilozun, dallanmamış ve dallanmış tip olmak üzere iki tip nişasta molekülü bulunmaktadır (Lineback, 1986). Amilazlar, dünya çapında ticari amaçlı kullanılan enzimlerin %30 oranındaki kısmını oluşturmaktadır (Pinjari and Kotari, 2018) ve kullanım amaçları arasında nişasta sıvılaştırma, kağıt, tekstil kumaşlarının işlenmesinde, boyaların nişasta kaplamalarının hazırlanmasında, pişirme ve demleme dahil gıda endüstrisinde, etanol üretimi ve yüksek fruktozlu mısır şurubu üretimi için kullanılır (Raveendran vd., 2018). Dahası, amilazlar proteaz ve lipaz enzimleri gibi deterjan endüstrisinde de sıklıkla kullanılmaktadır (Niyonzima & More, 2014).

Amilaz enzimi, bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar tarafından üretilebilmekte olup, ticari üretimleri esas olarak *Bacillus* ve *Actinomyces* cinsi mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir (Mouna imen & Mahmoud 2015; Al-Dhabi vd., 2020;). Buna ek olarak, bakteri kökenli amilazlar, özellikle alkalın ve termostabil amilazlar, patates, çikolata ve muhallebi gibi lekelerin çıkarılması amacıyla deterjan endüstrisinde en fazla kullanılan ikinci tip enzimlerdir (Allala vd., 2019; Roy vd., 2012).

Termofilik aktinomisetlerin ürettiği termostabil amilazlar geniş bir sıcaklık aralığında çalışarak, pek çok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır (Singh vd., 2014; Nithya vd., 2017). Termofil bakterilerden olan *B. licheniformis* tarafından üretilen α -amilaz enzimi ile yüksek sıcaklık-

larda nişasta uzaklaştırma işlemi etkin bir şekilde yapılmaktadır (Saravanan vd., 2011).

Enzimlerin, doğayı kirleten maddelerle mücadelede, biyoyakıt üretiminde ve biyolojik ürün dönüşümü işlemlerinde kimyasal maddeler yerine kullanımları ile endüstride çok çeşitli kullanım alanları oluşmuştur. Tekstil sanayiinde ıslatma işleminde kimyasalların yerine enzimatik yol tercih edilmektedir. Bu amaçla kumaş yapısını ve üretim maliyetlerini etkileyen enzimlerden faydalanılarak kumaşın yapısı ve kalitesi artırılmakta ve dayanıklı hale getirilmektedir. Özellikle kumaş yapımında kullanılan ipliklerdeki nişasta türevi atıkların uzaklaştırılarak kaygan ve kolay ayrılabilir hale gelmesinin sağlayan (haşıl sökme işlemi) amilaz enzimi, merserizasyon işlemlerinde kullanılan selüloz enzimi, beyazlatmada kullanılan lakkaz, oksidan fazlalığının giderilmesinde kullanılan katalaz enzimleri bunlardan birkaçıdır (Madhu & Chakraborty 2017). Genel olarak düşük konsantrasyonlarda inorganik asitlerin veya oksitleyici ajanların kullanımı ile gerçekleştirilen haşıl sökme işlemi, enzimatik yolla yapıldığında, seçici ve etkin bir şekilde nişasta bazlı atıkları giderimi gerçekleştirilir (Madhu & Chakraborty, 2017; Mojssov, 2019). Bunun yanında, enzimatik yolla haşıl sökme işlemi ile fazla miktarda su sarfiyatı önlendiği gibi, toksik olmayan yan ürünlerin oluşumu ve daha az enerji tüketimi sağlanmış olur (Umameshwari & Amsamani, 2018; Mojssov, 2019). Bütün bu faydalı özelliklere rağmen, halihazırda günümüzde tekstil endüstrisi atıkları, toksik maddeler içermesi ve ekstrem alkalın pH değerleri ile yüksek sıcaklıklarda işlemlerin gerçekleştirilmesi nedeniyle, amilaz enziminin substratı olarak nadiren kullanılmaktadır (Kalia vd., 2021).

2.4. Tannazlar

Tannazlar (tanen açıl hidrolaz, E.C.3.1.1.20) gallotanninler, ellagitanninler ve tanenler gibi bileşiklerin ester bağlarını hidrolize ederek gallik asit ve glikoz açığa çıkaran enzimlerdir (Chávez-González vd., 2012; Taskin 2013; Noha vd., 2014). Bu enzimler kozmetik, gıda, kimya, yem ve ilaç endüstrilerinde birçok uygulama alanı bulmaktadır. Örneğin, bu enzim bira, meyve suyu ve şarapların renginin ve aromasının düzenlenmesinde, yem katkı maddelerinin işlenmesinde ve cilt tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Lekha & Lansane, 1997; Taskin, 2013; Sharma vd., 2014).

Tannaz reaksiyonu sonucu oluşan gallik asit ise boya ve mürekkep yapımında, antioksidan üretiminde, deri ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır. Gallik asit ayrıca tıbbi önemi olan trimetoprim sentezinde ara madde olarak kullanılmaktadır (Renovato vd., 2011). Dahası, gallik asidin antimikrobiyal, antiviral ve antitümör özelliğe sahip olduğuda belirtilmektedir (Dhiman vd., 2018).

Diğer birçok endüstriyel enzimde olduğu gibi tannazların üretiminde de esas olarak mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Mikroorganizmalar arasında da ipliksi mantarların yani küflerin özellikle *Aspergillus* ve *Penicillium* cinslerinin daha iyi tannaz üreticisi olduğu bildirilmektedir. Örneğin, literatürde *A. niger*, *A. ochraceus*, *A. awamori*, *A. oryzae*, *A. flavus*, *A. ruber*, *P. chrysogenum*, *P. atramentosum*, *P. herquei*, *P. variable* ve *P. galabrum* türlerinin iyi tannaz üreticileri olduğu rapor edilmiştir (Van de Lagemaat & Pyle, 2005; Batra & Saxena, 2005; Kumar vd., 2007; Sharma vd., 2008; Marco vd., 2009; Chhokar vd., 2010; Qiu vd., 2011; Selwal & Selwal, 2012).

2.5. Pektinazlar

Pektin, bitki hücre duvarlarında bulunan α (1, 4) glikosidik bağı ile birbirine bağlanmış birden fazla D-Galakturonik asit biriminden oluşan yapısal ve işlevsel bakımdan karmaşıklık gösteren bir polisakkarittir (Patidar vd., 2018). Pektini parçalayan enzimler, genel olarak pektinolitik enzimler veya pektinazlar olarak bilinir. Pektinolitik enzimler, etki mekanizmalarına göre kendi içerisinde endopoligalakturonazlar (EC 3.2.1.15), ekzopoligalakturonazlar (EC 3.2.1.67), pektin liyazlar (EC 4.2.2.10) ve pektin metil esterazlar (EC 3.1.1.11) şeklinde gruplandırılırlar (Taskin, 2013).

Ester gruplarını uzaklaştırma (de-esterifying) şeklinde etki mekanizmasına sahip olan pektin metil esteraz enzimi pektinin metoksil grubunun de-esterifikasyonunu gerçekleştirerek açığa pektik asit ve metanol çıkarır. Bu reaksiyon özellikle pektinin yumuşamasına ve jelimsi bir yapı kazanmasına neden olur. Poligalakturonaz ve pektin liyazlar ise pektin veya pektik asitdeki α -1,4-glycosidik bağları kırmak suretiyle hidrolitik etki gösteren enzimlerdir (Garg vd., 2016; Anand vd., 2020).

Pektinazlar, hayvan yemlerinin, çay ve kahvelerin, meyve ve sebzelerin işlenmesinde, şarap endüstrisinde, bitki yağlarının ekstraksiyonunda, atık kağıtların dönüşümünde ve tekstil endüstrisinde kullanım alanı bulmaktadır. Örneğin, pektinazlar, meyve ve sebze posaların sıvılaştırılması yoluyla viskoziteyi azaltmak, elde edilen meyve/sebze suyu fraksiyonunun verimini ve berraklığını artırmak için çok önemli bir rol oynamaktadır (Anand vd., 2020). Yapılan bir çalışmada (Soares vd., 2001), pektinaz uygulanmış grupta üretilen meyve suyu veriminin kontrol grubuna oranla yaklaşık olarak 2 kat daha fazla olduğu rapor edilmiştir. Başka bir çalışmada (Singh & Gupta, 2004), pektinaz uygulanmış grupta kontrole oranla elma suyunun berraklığının %143 arttığı vizkozitesinin ise %35.5 oranında düştüğü gösterilmiştir.

Pektinazlar, ruminant diyetinde, ksilanaz ve selülaz gibi diğer enzimlerle birlikte kokteyli şeklinde kullanılmaktadır. Ruminant yem üretimin-

de pektinazların kullanılması, yem viskozitesini düşürür, besin maddelerini serbest bırakır ve besinlerin geniş getiren hayvanlar tarafından emilimini artırır ve dışkı miktarını da azaltır. Nihayetinde, enzim eklenmesi organik maddenin sindirilebilirliğini artırarak hayvan performansında bir iyileşme sağlar (Anand vd., 2020).

Pektinazların üretiminde çoğunlukla bakterilerin *Bacillus*, *Erwinia* ve *Streptomyces*, küflerin *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* ve *Rhizomucor*, mayaların ise *Rhodotorula*, *Saccharomyces*, *Kluyveromyces* ve *Torulopsis* cinsleri kullanılmaktadır. Özellikle, *B. subtilis* ve *A. niger* türlerinin çok iyi pektinaz üreticisi olduğu rapor edilmektedir (Alimardani-Theuil vd., 2011; Gomes vd., 2011; Johnson vd., 2012; Singh & Mandal, 2012; Das vd., 2013; Taskin, 2013; Seifollah & Khodaverdi, 2013; Irshad vd., 2014).

2.6. Glukoz Oksidaz

Glukoz oksidaz (GO) enzimi (EC 1.1.3.4) oksidoredüktaz sınıfı enzimlerden olup, oksijenli ortamda moleküler oksijeni elektron alıcısı olarak kullanarak, beta D-glukozun D-glukono- δ -lakton ve hidrojen peroksitine spontane olarak indirgenmesini katalizler. Diğer yandan, ortamda hidrojen peroksit birikimi ile inaktive olan GO enzimi reaksiyonu sonucunda glukonik asit ve glukonolakton oluşarak ortamın pH'sının düşmesine, dolayısıyla asitleşmeye sebep olur. Bu nedenle, endüstriyel ölçekli üretimlerde GO enziminin önemi fazladır (Anastassiadis vd., 2008; Canlı & Kurbanoglu, 2011; Leskovac vd., 2005; Wong vd., 2008).

Glukono lakton kararsız olduğu için su içeren bir reaksiyonda hızlı bir şekilde, ilave bir enzime gerek kalmadan glukonik asite döner. Glukonik asiti funguslardan üretilen bir metabolit olarak ilk bildiren kişi Moillard olmuştur. GO enziminin reaksiyon sırasında oksijen ile tepkimesi sonucunda oluşan hidrojen peroksit, o-dianisidin ile renkli ürünler oluşturur. Enzim aktivite tayininde kullanılan spektrofotometrik yöntem, okside formdaki oluşan bu renkli ürünlerin belirlenmesi şeklinde gerçekleşmektedir (Canlı, 2009; Samakoğlu, 1991). Reaksiyonda GO'nun doğal elektron akseptörü olan oksijenin yerine başka bir grup elektron alıcısı geçer. Elektron akseptörü olarak 1,4 benzokininonun kullanıldığı reaksiyonlarda, benzokininon substrattan bir çift elektron alarak indirgenmiş formu olan hidrokinona dönüşür ve bu aktivite 290 nm'de maksimum absorbands verdiği için GO aktivitesi, 290nm'de hidrokinonun absorbandsındaki artışın hızı ölçülerek elde edilmektedir (Ciucu & Patroescu 1984). Tepkime sonucunda ise ortamda bulunan iki molekül glukoz ile bir molekül oksijenin tüketimi ile iki molekül glukonik asit üretimi gerçekleşir. GO enzimi aktivitesi ile birlikte, ortamda bulunan oksijen doğal yollarla tükendiği için özellikle gıdalarda antioksidan ajan olarak kullanımı yaygındır (Wong vd.,

2008; Worthington, 1988). Buna ek olarak GO enzimi Birleşik Devletler Gıda ve İlaç Yönetimi (United States Food and Drug Administration, US FDA) tarafından yapılan sınıflandırma sonucunda sağlık açısından güvenilir maddeler arasında bulunmaktadır (FDA/CFSA Agency Response Letter: GRAS Notice No. GRN 000106, 2002).

GO enziminin gıda endüstrisinde gerçekleştirilen üretimlerde kullanılmasının temeli, gıdalarda bulunan glukoz ve/veya oksijenin uzaklaştırılması sonucunda ürünün raf ömrünün artırılması prensibine dayanmaktadır. Hamur mayalanmasında hamurun geliştirilmesi ve un üretiminde olgunlaştırma/oksiteleme, yumurta tozu üretiminde yumurta içerisinde eser miktarda bulunan glukozun uzaklaştırılması ve istenmeyen renk kararması (Maillard reaksiyonu) ile ortaya çıkan aroma bozulmalarının önlenmesi, meyve sularında bulunan eser miktardaki oksijenin uzaklaştırılarak acılaştırmanın önlenmesi amacıyla GO enzimi yaygın olarak kullanılmaktadır (Vemulapalli vd., 1998; Wong vd., 2008).

GO enzimi üretimi ilk kez 1904 yılında Maksimow tarafından *Aspergillus niger* fungusunda tespit edilmiştir. 1928 yılında ise Müller, GO enziminin oksidatif etkisini belirleyerek saflaştırma işlemini gerçekleştirmiştir (Leskovac vd., 1989; Leskovac vd., 2005). *A. niger*'den elde edilen GO enziminin saflaştırılması amacıyla enzim tamamen denatüre edilerek alt birimlerine bağlı olan flavin adenin dinukleotid (FAD) molekülünden uzaklaştırma işlemi gerçekleştirilir. Enzim yapısında bulunan karbohidratların tamamen uzaklaştırılması sonucunda aktivite devam etmesine rağmen, termal stabilitede azalma meydana gelir. GO yapısında protein (%74), nötral şeker (%16) ve amin şeker (%2) bulunmaktadır ve GO enzimi saflaştırıldığında sahip olduğu sarı rengin içerdiği prostetik gruptan (FAD) kaynaklandığı belirlenmiştir. FAD tarafından oksidasyonun gerçekleştirildiği ve biriken hidrojen peroksitin antimikrobiyal aktivite göstermesinden dolayı antibiyotik olarak kullanıldığı tespit edilmiştir (Swoboda & Massye, 1965; Schmid, 1990; Wong vd., 2008). GO enzimi çoğunlukla fungal kaynaklardan, özellikle *Aspergillus* ve *Penicillium* cinsi küflerden elde edilmektedir. Bununla birlikte *Aureobasidium pullulans* (Fernandes vd., 2021), *P. notatum*, *P. lanosum*, *P. lilacinum*, *P. purpurogenum*, *A. wentii*, *A. terreus*, *A. nidulans*, *A. niger*, *Alternaria radicina* (Fiedurek & Gromada, 1997; Canli & Kurbanoglu, 2011; Ahmad Anas & Arbain, 2014) mikroorganizmaları ile de GO üretimi gerçekleştirilmiştir.

GO enzimi alkollü içkilerin üretiminde fermentasyon öncesinde şıraya eklenir bu şekilde ortamda bulunan glukozun bir kısmı tüketildiği için alkol fermentasyonunda kullanılamaz hale gelir ve şarabın alkolü indirgenmiş olur. Şıra içerisindeki glukozun indirgenmesi ile daha düşük alkol oranına sahip şaraplar elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen içeceklerin üretim maliyetleri de düşük olduğu için fazla rağbet görmektedirler.

Alkol fermantasyonundan sorumlu mikroorganizma olan *Saccharomyces cerevisiae* mayası üzerine GO enzimi aktivitesi sonucu etilen hidrojen peroksitin büyümeyi engelleyici etkisi olması sebebiyle alkol fermantasyonu önlenir ve mayalanma süresi kısalmış olur (Pickering vd., 1998).

Dünyada üretilen biyosensörler arasında glukoz biyosensörleri çok büyük bir orana sahiptir (%85). Glukoz ile GO enzimi arasındaki reaksiyon ile oksijen tüketimi yoluyla glukoz seviyesi saptanarak kanda ve idrarda bulunan miktarları tespit edilir (Newman & Turner, 2005). GO enzimi kullanımı ile elde edilen biyosensörler sadece parmaktan iğne ile alınan örneklerdeki glukoz oranının saptanması amacıyla kullanılmakla kalmayıp, floresan özellikteki maddelerle bağlantı yapılarak yeni bir fiber-optik floresan biosensör üretiminde kullanılarak, karşılaştırılabilir, yüksek seçicilikte ve gerçek-zamanlı glukoz ölçümü gerçekleştirilmektedir (Yu vd., 2019).

2.7. Selülozlar

Doğada en fazla bulunan biyopolimer olan selüloz, farklı türlerde pek çok canlının yapısına katılır ve içeriği açısından zengin bir malzemedir. Bitkiler, bakteriler ve algler gibi canlıların hücre duvarlarını oluşturur ve canlının çeşidine göre yapısındaki kimyasal bağlar değişkenlik gösterir. Selüloz, heterojen yapıda olup, hemiselüloz, pektin ve yapısal proteinler içermektedir (Cosgrove 2018; Ye vd., 2020). Selüloz, bitkilerin kuru ağırlıklarının %35-50 oranını oluşturmaktadır. Yapısında bulunan kuvvetli bariyerler hücre duvarlarında mekanik kuvvet ve oksidatif basınç oluşturduğu için, parçalanması kısa sürede gerçekleşmez (Kaur vd., 2017; Ye vd., 2020).

Kompostlama işlemlerinde selülozik materyalin mikroorganizmalar tarafından parçalanması ve bitkilerin yetiştirilmesi amacıyla biyolojik yolla gübreye dönüştürülmesi gerçekleşir. Bu amaçla kullanılan mikroorganizmalar funguslar ve anaerobik bakterilerdir. Mikroorganizmaların kompostlama kabiliyetleri, hücre dışına salgıladıkları selüloz enzimine (EC 3.2.1.4.) bağlı olarak gerçekleşir. Diğer yandan, selüloz enzimi üreten mikroorganizmaların kompostlama ortamına eklenmesi ile kompostlama işleminin süresi kısalmaktadır (Huang vd., 2010).

Son yıllarda, ilerleyen teknoloji ile birlikte üretime başlanan ikinci nesil biyoyakıt üretimi amacıyla alternatif substratlar kullanılarak, enzim üretim maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir. Üretimde kullanılacak olan kültür ortamlarının bileşenlerinin ekonomik olarak uygulanabilir, verimli ve üretken olarak formüle edilmesi gerekmektedir. Tarım ve endüstri kaynaklı atık maddelerden yararlanma, selüloz enziminin üretim maliyetinin düşürülmesi için önemli bir kriterdir. Buğday samanı gibi substratların mikroorganizmalar tarafından batık ve katı hal fermantasyo-

nunda kullanılabilecek atık maddelerin, üretim maliyetlerini azaltması ile yüksek verimli enzim üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Libardi vd., 2017). Selüloz enzimi üretiminde buğday samanı (Romero vd., 1999), şeker kamışı (Lan vd., 2013), palmye yağı ekstraksiyon kalıntıları (Alam vd., 2009), kağıt hamuru (Belghith vd., 2001) gibi substratlar kullanılmıştır. Selüloz üreten mikroorganizmalar arasında *Trichoderma reesei* (Shen vd., 2022), *Trichoderma viride* (Adsul vd., 2004; Lan vd., 2013), *Trichoderma harzianum* (Alam vd., 2009), *Penicillium occitanis* (Belghith vd., 2001) bulunmaktadır. Filamentöz funguslardan olan *Trichoderma reesei*, biyoyakıtlar ve biyo-tabanlı ürünler için muazzam ölçüde selüloolitik enzim salgılayan, alışlagelmişin dışında etkin bir endüstriyel selüloz enzimi üretici organizma olarak belirtilmiştir. Bununla birlikte bu mikroorganizma, Birleşik Devletler Gıda ve İlaç Dairesi tarafından genel olarak güvenilir organizmalardan (Generally Regarded As Safe) kabul edilmekte ve glikozilasyon, disülfid bağlantıları oluşturma ve daha birçok reaksiyonda görev alma kabiliyetlerinden dolayı pek çok avantaja sahiptir (Nevalainen vd., 1994; Shen vd., 2022).

2.8. Laktazlar

Mikrobiyal kaynaklı endüstriyel enzimler dünya çapında yaygın bir şekilde gıda işleme süreçlerinde kullanılmaktadır. Laktoz şekeri, memeli yenidoğanlarının ana karbohidrat kaynağı olmakla birlikte, sadece memelilerin meme bezinde sentezlenir ve süt glikolipidlerinde serbest veya bağlı halde bulunur. Neredeyse bütün memelilerde laktoz şekerinin evrimsel olarak korunduğu tespit edilmiştir (Yüzgeçayaklılar (Pinnipediae) bireylerinin sütlerinde laktoz bulunmaz, yüksek oranda yağ bulunur). Yapılan araştırmalar en yüksek laktoz oranına (%7) sahip olan sütün insan sütü olduğunu göstermiştir. İnsanlarda ince bağırsaklarda fırça-kenar hücreleri β -galaktosidaz üretir ve çocukluk çağında bu enzimin az olması veya hiç olmaması durumuna “birincil laktaz eksikliği” adı verilmektedir. Yetişkinlerde “hipolaktazi” olarak bilinen bu durum sonucunda, laktoz içeren gıdaların tüketiminden sonra karın ağrısı, mide bulantısı, gaz ve şişkinlik semptomları ile belirlenen sindirim sistemi sorununa “laktoz intoleransı” denir (Xavier vd., 2018).

Dünya popülasyonun yarısından fazlasını oluşturan ve laktoz şekerini tolere edemeyen bireyler için üretilen laktozsuz gıdalar için laktaz enziminin faydalanılmaktadır (Montgomery vd., 2007; van den Dungen vd., 2021). Laktaz enzimi (EC 3.2.1.23) veya diğer adıyla β -galaktosidaz, karbohidrazlar sınıfından olup, laktoz içeren substratların yapılarındaki β -1,4-d-galaktozidik bağların kırılmasını sağlayarak glukoz ve galaktoza dönüşümünü gerçekleştirir. Mikrobiyal laktaz üretici organizmalar bakteriler, mayalar ve funguslardır. Özellikle *Lactobacilli* grubu bakterilerden elde edilmesi ile gıda katkı maddesi olarak kullanılmakta ve ortamın pH

değerinin nötral olmasını sağlamaktadır. *Aspergillus niger*, *A. oryzae*, *Bifidobacteria infantis*, *Thermus* sp., *Lactobacillus reuteri*, *Saccharomyces* sp., *Kluyveromyces marxianus* var. *lactis* gibi mikroorganizmalar laktaz enzimi üretiminde kullanılmaktadır (Xu vd., 2019; Abdel Wahab vd., 2021).

Laktik asit bakterileri süt ürünleri üretiminde teknoloji ve sağlık açısından bilhassa tercih edilmektedir. Fungal laktaz üreticilerinden *A. niger*, *A. oryzae* ve *K. lactis* genel olarak güvenilir organizmalar (GRAS) arasında bulunmaktadır. *K. lactis* tarafından üretilen laktaz enzimi 6.8-7.0 pH değeri aralığında ve 35°C çalışma sıcaklığında optimal olarak aktif iken, *K. fragilis* 4.8 pH değerinde ve 50°C çalışma sıcaklığında aktiftir. Laktaz enziminin bir önemli özelliği de, geniş ölçekli işlemlerde kullanılabilen nadir enzimlerden biri olmasıdır. Bu bağlamda, mezofilik, psikrofilik ve termofilik kaynaklardan elde edilen laktaz enzimleri biyoteknolojide farklı alanlarda kullanılmaktadır. Ekstrem termofil organizmalar genellikle 60-80°C aralığında yaşarlar ve enzimleri 60°C-125°C aralığında aktiftir (Xavier vd., 2018). Laktozsuz süt ürünlerinin üretiminde enzimatik hidroliz yönteminin kullanılması ile yan ürün oluşmamakta, süt ürünlerinde bozulma olmamakta ve istenmeyen koku ve tat oluşumu önlenmektedir (Ladero vd., 2003).

2.9. İnvertazlar

İnvertaz enzimi (EC 3.2.1.26), diğer adları β -fruktosidaz, β -D-fruktofuranosid fruktohidrolaz, canlılarda sukrozun hidrolizini gerçekleştiren ve eşit miktarlarda glukoz ve fruktoza dönüşümünü (invert şeker) katalizleyen globular yapıdaki bir proteindir. Sukrozun monosakkaritleri, sadece nişasta ve selülozun oluşumunda rol alan birincil substratların oluşumunu sağlamakla kalmaz, bunun yanında, stres durumlarının kontrolünde sinyal molekülleri olarak görev almaktadır (Ruan vd., 2010). İnvertaz enziminin bir özelliği de transferaz aktivitesine sahip olmasıdır. Özellikle, yüksek konsantrasyondaki sukrozun hidrolizi ile birlikte fruktosil grubunun transferini gerçekleştirir (Awad vd., 2013). İnvertaz enzimi kestoz, rafinoz ve stakioz gibi diğer oligosakkaritleri de hidroliz etmektedir (Andjelkovic & Lah, 2010).

Bu enzim hem hücre içinde hem hücre dışında üretilmektedir. İnvert şeker, sukroza göre daha tatlı bir yapıdadır ve sukrozun dönüşümünü sağladığı için bu enzime genellikle invertaz enzimi adı verilmektedir (Henrissat & Bairoch, 1996; Tasar, 2017). İnvertaz hayvan ve bitkilerde bulunmaktadır. Özellikle, bitkiler, invertaz enzimini en fazla üreten canlılardır (Wan vd., 2017; Bergareche vd., 2018))

Bitkiler doğal invertaz kaynakları olmasına rağmen, bitkilerin invertaz üretimi için kullanılmasında düşük büyüme hızı, mevsimsel dalga-

lanmalar, zaman alıcı ve yüksek üretim maliyeti gibi sınırlılıklar bulunmaktadır (Wan vd., 2017; Bergareche vd., 2018). Bu yüzden, ticari olarak invertaz üretiminde esas olarak mikroorganizmalar özelliklede mayalar kullanılmaktadır (Schiweck vd., 2007).

İnvertaz üretiminde maya olarak *Rhodotorula glutinis*, *Kluyveromyces marxianus* ve *S. cerevisiae*'nin, küf olarak *A. niger*'in, *Cladosporium herbarum* ve *Penicillium chrysogenum*, ve bakteri olarak da *Bacillus subtilis* ve *Streptomyces* sp.'nin invertaz üretme kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir (Aziz vd., 2011; Taskin vd., 2013; Taskin vd. 2016a; Tasar, 2017; Lincoln & More 2018; Ozoude vd., 2019; Nehad & Atalla, 2020).

İnvertaz enzimi, karmaşık yapıdaki şekerlerin vücudun ihtiyacı olan ve hızlı bir enerji kaynağı olan glukozun üretilmesi için büyük önem taşır. Şekerlerin sindirimi için doğal enzimlerin kullanımı gereklidir. İnvertaz enzimi bu şekilde insanlarda hastalıkların önlenmesi, yaşlanma karşıtı uygulamalar ve fiziksel gençleşme gibi işlemler için büyük rol oynar. Yaşlı insanlarda sindirim işlemi bu doğal enzimin azalmasından dolayı yavaşlar ve böylece gıdalardan alınan besin öğelerinin miktarında azalma meydana gelir (Herwig vd., 2001).

İnvertaz enzimi endüstriyel olarak farklı alanlarda kullanılmaktadır. Hızlı ve kolay sukroz tespitinde biyosensör yapımında invertazdan faydalanılmaktadır (Shankar vd. 2014). İnvertaz enzimi, ticari olarak sukroz ve bağlantılı glikozidlerin hidrolizasyonu ile invert şurup üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İnvert şurup, nemlendirici ajan olarak, içeceklerin yapımında ve gıda endüstrisinde ortası yumuşak şekerlemelerin, kristalize olmayan kremlerin, reçellerin, çikolata ve şekerleme endüstrisinde, sıvılaştırılmış şekerin daha az oranda kullanılması amacıyla üretilmektedir (Kotwal & Shankar, 2009; Canli vd., 2011; Taskin vd., 2013). İnvertazın mikrobiyal fermentasyonla üretiminde maliyetin düşürülmesi amacıyla ucuz substrat olarak melas ve üzüm suyu gibi fabrika atıkları yaygın olarak kullanılmaktadır (Driouch vd., 2010).

2.10. İnülinazlar

Bitkilerin kök ve gövdelerinde karbohidrat depo materyali olarak bulunan inulin, 2 ila 140 fruktoz monomerinin glukoz bağı ile sonlanır (Das vd., 2019; Tasar, 2020). Nişastadan sonra doğada en bol bulunan karbohidrat deposu inulindir. Yapısı gereği beslenmenin sindirilmeyen lifsi bir parçasını oluşturur. Zincir uzunluğuna bağlı olarak oligosakkaritler veya polisakkaritler içerisinde sınıflandırılır (Zhu vd., 2016).

İnulini bol miktarda içeren bitkilere, yer elması kökü, dulavratotu kökü, yıldız çiçeği, sarımsak ve karahindiba örnek verilirken, muz, pırasa, soğan, buğday gibi sebze ve meyveler de inulin içeriğine sahiptir

(Mensink vd., 2015). İnülinaz enzimi (EC 3.2.1.7), inulin molekülünün indirgenmeyen son kısmındaki fruktoz moleküllerinin uzaklaştırılmasını katalizler (Chi vd., 2009).

Fruktoz, şeker hastaları için düşük kalorili yüksek tatlandırma kapasitesi, kolon kanserini önlemesi, çocuklarda demir emilimini artırma özelliği ve benzeri nedenlerle gıda endüstrisinde önemli bir rol oynamaktadır (Chi vd., 2009; Naidoo vd., 2015; Tasar vd., 2015). Geleneksel yöntemlerle, nişastanın amilolizi şeklinde üretilen früktoz verim olarak %45 oranında elde edilirken, inülinaz enzimi ile tek safhalı yöntem kullanılarak %95 oranında fruktoz eldesi gerçekleştirilmektedir (Sguarezi vd., 2009).

Mikrobiyal kökenli inülinaz enzimleri inülinin fruktoz ve fruktoooligosakkaritlere dönüşümünü katalizler. Pek çok farklı türden fungus, bakteri ve maya inülinaz enzimi üreticilerindendir (Ayyachamy vd., 2007; Mughal vd., 2009). Mikrobiyal inülinazların, inulin ve sukrozun yapılarındaki aktif kısımlarından dolayı invertaz aktivitesine sahip oldukları belirtilmiştir (Singh vd., 2019). Bu nedenle, bir diğer aktiviteye baskın olan aktivitenin belirlenmesi amacıyla inulinaz/invertaz (sukraz) oranı kullanılmaktadır ve bu değer 0.1'den fazla ise inülinaz aktivitesinin baskın olduğu anlaşılmaktadır (Das vd., 2019).

Funguslar arasında küf olarak *Aspergillus* ve maya olarakta *Kluyveromyces* cinsi mikroorganizmaların iyi inülinaz üreticisi olduğu belirtilmektedir (Jing vd., 2003; Mazutti vd., 2006). *Aspergillus* cinsi tarafından üretilen inülinaz enzimlerinin mayalar tarafından üretilen inülinazlara göre daha fazla termostabil olduğu bildirilmiştir (Singh and Gill, 2006). Bununla birlikte *Geotrichum candidum* tarafından üretilen inülinaz miktarı da oldukça yüksektir (Mughal vd., 2009; Canlı & Kurbanoglu, 2012). İnülinaz enziminin endüstriyel olarak kullanımının artması neticesinde yeni üretici mikroorganizmaların izolasyonu ve tarama çalışmaları devam etmektedir.

İnülinaz enzimi çok yönlü bir enzimdir ve etanol, aseton, pullulan, sorbitol, glukonik asit ve inulo-oligosakkaritlerin üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanı ise inulin veya inulin yönünden zengin substratlardan fruktoz şurubu üretimidir (Singh & Gill, 2006). İnülinaz enziminin üretiminin artırılması amacıyla kültür şartlarının optimizasyonu gerçekleştirilmemektedir. İnülinaz ve invertaz enzimlerinin endüstriyel üretimleri için batık kültür tekniği tercih edilse de, katı hal fermantasyonu ile üretilen enzimin maliyeti daha düşüktür ve yüksek miktarlarda enzim eldesi mümkündür (Al-Dabbagh & Mahmood, 2015). Bunun yanında, manyetik alana maruz bırakma (Canlı and Kurbanoglu, 2012), UV ışınına maruz bırakma (Guo vd., 2009) gibi işlemler de inulinaz enzim üretimini artırmıştır (Das vd., 2019).

2.11. Fenilalanin amonyak liyaz

Fenilalanin amonyak liyaz (FAL), L-fenilalaninin oksidatif olmayan deaminasyonunu katalize ederek trans-sinamik asit ve serbest bir amonyum iyonu oluşturan enzimdir. Diğer bir ifadeyle, FAL L-fenilalanin katabolizmasında görev alan bir enzimdir. Son yirmi yılda FAL' in, çeşitli klinik, endüstriyel ve biyoteknolojik uygulamalarda kullanımı önem kazanmıştır. FAL insanlar dahil hayvansal organizmalarda bulunmamaktadır. Bazı mayalarda, yüksek bitkilerde, eğreltilerde, bazı bakteri ve siyanobakterilerde ise FAL varlığı rapor edilmiştir (Cui vd., 2014; Kovacs vd., 2014; Kawatra vd., 2020). Bakteri olarak *Streptomyces verticillatus*, *S. maritimus*, *Photorhabdus luminescens* ve *Rubrobacter xylanophilus*' un siyanobakteri olarak *Anabaena variabilis*, *A. flos-aquae*, *Nostoc punctiforme* ve *Spirulina platensis*' in ve maya olarak *Rhodotorula glutinis*' in FAL üretme potansiyellerinin yüksek olduğu gösterilmiştir (Arafa vd., 2020; Kovacs vd., 2014).

Yapılan çalışmalarda, FAL' in kanser ve fenilketonüri tedavisinde kullanılabileceği gösterilmiştir. Özellikle, *Anabaena variabilis* türü siyanobakteriden elde edilen FAL' in fenilketonüri tedavisinde çok iyi sonuçlar verdiği ortaya ortaya çıkarılmıştır. 2018 yılında ise FDA bu enzimin polietilen glikol (PEG) kaplı formülasyonunun (Palynziq™) fenilketonüri tedavisinde kullanımını onaylamıştır (Kovacs vd., 2014; Kawatra vd., 2020). Diğer taraftan, bitki ve maya kaynaklı FAL'lerin, doğal olmayan L- ve D-amino asitlerin hazırlanmasında biyokatalizörler olarak kullanılabileceği de açıklanmıştır (Kovacs vd., 2014).

2.12. Fitaz

Fosfor, bitki ve hayvanların büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan temel bir mineraldir. Tahıllarda ve tohumlarda fosfor, besleyici olmayan özelliklere sahip fitat formunda tutulur. Kümes hayvanları, domuz ve balık gibi hayvanlar, yem diyetlerinde bulunan fitatı etkili bir şekilde sindiremezler. Endüstriyel fitazlar, fitatın fosforunu serbest bırakarak onun besinsel değerini artırır (Outchkourov, Petkov, 2019).

Mikroorganizmalar ve ardından bitkiler fitazların en önemli kaynaklarıdır. Yem uygulaması için fitaz, mikrobiyal suşların fermentasyonu ile üretilir ve çoğunlukla domuz ve kanatlı yemlerinde kullanılır. Fitaz, toplam yem enzimi pazarının %40'ından fazlasını oluşturur. Günümüzde ticari olarak satılan fitazlar *A. niger*, *A. oryzae*, *Trichoderma reesei*, *Schizosaccharomyces pombe* ve *Pichia pastoris* gibi mikroorganizmalar ile üretilmektedir (Guerrand, 2018).

Kaynaklar

- Abdel Wahab, W. A., Ahmed, S. A., Kholif, A. M. M., Abd El Ghani, S., Wehaidy, H. R. (2021). Rice straw and orange peel wastes as cheap and eco-friendly substrates: A new approach in β -galactosidase (lactase) enzyme production by the new isolate *L. paracasei* MK852178 to produce low-lactose yogurt for lactose-intolerant people. *Waste Management*, 131, 403–411.
- Abidi, F., Limam, F., Nejib, M. M. (2008). Production of alkaline proteases by *Botrytis cinerea* using economic raw materials: assay as biodetergent. *Process Biochemistry*, 43, 1202-1208.
- Adeleke, A. J., Odunfa, S. A., Olanbiwonninu, A., Owoseni, M. C. (2012). Production of cellulase and pectinase from orange peels by fungi. *Nature and Science*, 10, 107-112.
- Adsul, M. G., Ghule, J. E., Singh, R., Shaikh, H., Bastawde, K. B., Gokhale, D. V., Varma, A. J. (2004). Polysaccharides from bagasse: Applications in cellulase and xylanase production. *Carbohydrate Polymers*, 57, 67–72.
- Ahmad Anas, N. G., Arbain, D. (2014). Statistical optimization of selected media components for production of glucose oxidase from *Aspergillus terreus* UniMAP AA-1. *Chiang Mai Journal of Science*, 41, 486–489.
- Akatin, M. Y. (2019). An overview of amylase production by solid state fermentation (SSF) since 2010. *Teknik Bilimler Dergisi*, 9, 1-7.
- Al-Dabbagh, Y.N., Mahmood, W. A. (2015). Effect of carbon, nitrogen and pH on inulinase production from local isolate of *Aspergillus niger*. *Zanco Journal of Pure Applied Science*, 27, 1–8.
- Al-Dhabi, N. A., Esmail, G. A., Ghilan, A. K. M., Arasu, M. V., Duraipandiyan, V., Ponmurugan, K. (2020). Isolation and purification of starch hydrolysing amylase from *Streptomyces* sp. Al-Dhabi-46 obtained from the Jazan region of Saudi Arabia with industrial applications. *Journal of King Saud University-Science*, 32, 1226-1232.
- Al-Maqtari, Q. A., Waleed, A. A., Mahdi, A. A. (2019). Microbial enzymes produced by fermentation and their applications in the food industry-A review. *International Journal Agriculture Innovations and Research*, 8, 62-82.
- Alam, M. Z., Mamun, A. A., Qudsieh, I. Y., Muyibi, S. A., Salleh, H. M., Omar, N. M. (2009). Solid state bioconversion of oil palm empty fruit bunches for cellulase enzyme production using a rotary drum bioreactor. *Biochemical Engineering Journal*, 46, 61–64.
- Alimardani-Theuil, P., Gainvors-Claisse, A., Duchiron, F. (2011). Yeasts: An attractive source of pectinases—From gene expression to potential applications: A review. *Process Biochemistry*, 46, 1525-1537.
- Allala, F., Bouacem, N., Azzouz, Z. et al. (2019). Purification, biochemical, and molecular characterization of a novel extracellular thermostable and al-

- kaline α -amylase from *Tepidimonas fonticaldi* strain HB23. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 558–74.
- Anand, G., Yadav, S., Gupta, R., Yadav, D. (2020). Pectinases: from microbes to industries. Chowdhary, P., Raj, A., Verma, D., Akhter, Y. (Eds). In: Micro-organisms for Sustainable Environment and Health, 287-303.
- Anastassiadis, S., Kamzolova, S. V., Morgunov, I. G., Rehm, H.J. (2008). The Effect of iron on gluconic acid production by *Aureobasidium pullulans*. *The Open Biotechnology Journal*, 2, 195–201.
- Anbu, P., Gopinath, S. C., Chaulagain, B. P., Lakshmipriya, T. (2017). Microbial enzymes and their applications in industries and medicine 2016. 2017.
- Andjelkovic, U., Lah, J. (2010). Thermodynamics and structural features of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* external invertase isoforms in guanidinium-chloride solutions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 59, 727–732.
- Arafa, A., Abdel-Ghani, A., El-Dahmy, S., Abdelaziz, S., El-Ayouty, Y., El-Sayed, A. (2020). Purification and characterization of *Anabaena flos-aquae* phenylalanine ammonia-lyase as a novel approach for myristicin biotransformation. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30, 622-632.
- Awad, G. E. A., Amer, H., El-Gammal, E. W., Helmy, W. A., Esawy, M. A., El-nashar, M. M. M. (2013). Production optimization of invertase by *Lactobacillus brevis* Mm-6 and its immobilization on alginate beads. *Carbohydrate Polymers*, 93, 740–746.
- Ayyachamy, M., Khelawan, K., Pillay, D., Permaul, K., Singh, S. (2007). Production of Inulinase by *Xanthomonas campestris* pv phaseoli Using Onion (*Allium cepa*) and Garlic (*Allium sativum*) Peels in Solid State Cultivation. *Letters in Applied Microbiology*, 45, 439–444.
- Aziz, S., Jalal, F., Nawaz, M. Niaz, B. vd. (2011). Hyperproduction and thermal characterization of a novel invertase from a doublemutant derivative of *Kluyveromyces marxianus*. *Food Technology and Biotechnology*, 49, 465–473.
- Bajaj, A., Lohan, P., Jha, P. N., Mehrotra, R. (2010). Biodiesel production through lipase catalyzed transesterification: an overview. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 62(1), 9-14.
- Baltacı, M. Ö., Tuysuz, E., Ozkan, H., Taskın, M., Adıguzel, A. (2019). Lipase production from thermophilic bacteria using waste frying oil as substrate. *Teknik Bilimler Dergisi*, 9, 23-27.
- Batool, T., Makky, E. A., Jalal, M., Yusoff, M. M. (2016). A comprehensive review on L-asparaginase and its applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 178, 900-923.
- Batra, A., Saxena, R. K. (2005). Potential tannase producers from the genera *Aspergillus* and *Penicillium*. *Process Biochemistry*, 40, 1553-1557.

- Baweja, M., Tiwari, R., Singh, P.K., Nain, L., Shukla, P. (2016). An alkaline protease from *Bacillus pumilus* MP 27: functional analysis of its binding model toward its applications as detergent additive. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1195.
- Beg, Q.K., Gupta, R. (2003). Purification and characterization of an oxidation-stable, thiol-dependent serine alkaline protease from *Bacillus mojavensis*. *Enzyme and Microbial Technology*, 32, 294-304.
- Belghith, H., Ellouz-Chaabouni, S., Gargouri, A. (2001). Biostoning of denims by *Penicillium occitanis* (Pol6) cellulases. *Journal of Biotechnology*, 89, 257–262.
- Bergareche, D., Royo, J., Muñoz, L.M., Hueros, G., 2018. Cell wall invertase activity regulates the expression of the transfer cell-specific transcription factor ZmMRP-1. *Planta*, 247, 429–442.
- Bhan, C., Singh, J. (2020). Role of microbial lipases in transesterification process for biodiesel production. *Environmental Sustainability*, 1-10.
- Bora, L., Gohain, D., Das, R. (2013). Recent advances in production and biotechnological applications of thermostable and alkaline bacterial lipases. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 88, 1959-1970.
- Bredai, R., Belhaj Ben Romdhane, I., Bouchaala, I., Srih Belghith, K., Belghith, H. (2021). Purification of *Bacillus licheniformis* lipase and its application as an additive in detergent for destaining. *Journal of Surfactants and Detergents*, 24, 835-853.
- Bussamara, R., Fuentesfria, A.M., Oliveira, E.S., Broetto, L., Simcikova, M., Valente, P., Schrank, A., Vainstein, M.H., (2010). Isolation of a lipase-secreting yeast for enzyme production in a pilot-plant scale batch fermentation. *Bioresour. Technol.*, 101, 268-275.
- Canlı, O., Erdal, S., Taskin, M., Kurbanoglu, E.B. (2011). Effects of extremely low magnetic field on the production of invertase by *Rhodotorula glutinis*. *Toxicology and Industrial Health*, 27(1), 35–39.
- Canlı, O., & Kurbanoglu, E.B. (2011). Utilization of ram horn peptone in the production of glucose oxidase by a local isolate *Aspergillus niger* OC-3. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 41(1), 73–83.
- Canlı, O., & Kurbanoglu, E. B. (2012). Application of low magnetic field on inulinase production by *Geotrichum candidum* under solid state fermentation using leek as substrate. *Toxicology and Industrial Health*, 28, 894–900.
- Canlı, Ö. (2009). Koç Boynuzu Peptonu Kullanılarak *Aspergillus niger* tarafından Glukoz Oksidaz Enzimi Üretimi. Atatürk Üniversitesi.
- Chandra, P., Singh, R., Arora, P. K. (2020). Microbial lipases and their industrial applications: a comprehensive review. *Microbial Cell Factories*, 19, 1-42.
- Chávez-González, M., Rodríguez-Durán, L. V., Balagurusamy, N., Prado-Baragán, A., Rodríguez, R., Contreras, J.C., Aguilar, C.N. (2012). Biotech-

- nological advances and challenges of tannase: an overview. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 445-459.
- Chi, Z., Chi, Z., Zhang, T., Liu, G., Yue, L. (2009). Inulinase-expressing microorganisms and applications of inulinases. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 82, 211–220.
- Chhokar, V., Sangwan, M., Beniwal, V., Nehra, K., Nehra, K. S. (2010). Effect of additives on the activity of tannase from *Aspergillus awamori* MTCC9299. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 160, 2256-2264.
- Christopher, L. P., Zambare, V. P., Zambare, A., Kumar, H., Malek, L. (2015). A thermo-alkaline lipase from a new thermophile *Geobacillus thermodenitrificans* AV-5 with potential application in biodiesel production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 90, 2007-2016.
- Ciucu, A., Patroescu, C. (1984). Fast spectrometric method of determining the activity of glucose-oxidase. *Analytical Letters*, 17, 1417–1427.
- Colla, L. M., Rizzardi, J., Pinto, M. H., Reinehr, C. O., Bertolin, T. E., Costa, J. A. V., (2010). Simultaneous production of lipases and biosurfactants by submerged and solid-state bioprocesses. *Bioresource Technology*, 101, 8308–8314.
- Copeland, R. A. (2000). Enzymes: a practical introduction to structure, mechanism, and data analysis. John Wiley & Sons.
- Cosgrove, D. J. (2018). Diffuse growth of plant cell walls. *Plant Physiology*, 176(1), 16–27.
- Cui, J. D., Qiu, J. Q., Fan, X. W., Jia, S. R., Tan, Z. L. (2014). Biotechnological production and applications of microbial phenylalanine ammonia lyase: a recent review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 34, 258-268.
- Das, A., Bhattacharya, S., Reddy, N.V., Sundara, R.S., (2013). Improved production and purification of pectinase from *Streptomyces* sp. GHBA10 isolated from Valapattanam mangrove habitat, Kerala, India. *International Research Journal of Biological Sciences*, 2, 16–22.
- Das, D., Bhat M, R., Selvaraj, R. (2019). Review of inulinase production using solid-state fermentation. *Annals of Microbiology*, 69 201–209.
- Datta, S., Menon, G., Varughese, B. (2017). Production, characterization, and immobilization of partially purified surfactant–detergent and alkali-thermostable protease from newly isolated *Aeromonas caviae*. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 47, 349-356.
- Dhiman, S., Mukherjee, G., & Singh, A. K. (2018). Recent trends and advancements in microbial tannase-catalyzed biotransformation of tannins: a review. *International Microbiology*, 21, 175-195.
- Doan, C. T., Tran, T. N., Wen, I., Nguyen, V. B., Nguyen, A. D., Wang, S. L. (2019). Conversion of shrimp head waste for production of a thermoto-

- lerant, detergent-stable, alkaline protease by *Paenibacillus* sp. *Catalysts*, 9, 798.
- dos Santos Aguilar, J. G., Sato, H. H. (2018). Microbial proteases: production and application in obtaining protein hydrolysates. *Food Research International*, 103, 253-262.
- Driouch, H., Roth, A., Dersch, P., Wittmann, C. (2010). Optimized bioprocess for production of fructofuranosidase by recombinant *Aspergillus niger*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87, 2011–2024.
- Emran, M. A., Ismail, S. A., Hashem, A. M. (2020). Production of detergent stable thermophilic alkaline protease by *Bacillus licheniformis* ALW1. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101631.
- Fernandes, S., Belo, I., Lopes, M. (2021). Highly aerated cultures boost gluconic acid production by the yeast-like fungus *Aureobasidium pullulans*. *Biotechnological Engineering Journal*, 175, 108133.
- Fiedurek, J., Gromada, A. (1997). Screening and mutagenesis of molds for improvement of the simultaneous production of catalase and glucose oxidase. *Enzyme and Microbial Technology*, 20, 344–347.
- Fontoura, R., Daroit, D. J., Corrêa, A. P. F., Moresco, K. S., Santi, L., Beys-da-Silva, W. O. et al. (2019). Characterization of a novel antioxidant peptide from feather keratin hydrolysates. *New Biotechnology*, 49, 71-76.
- Foroughi, F., Keshavarz, T., Evans, C. S. (2006). Specificities of proteases for use in leather manufacture. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 81, 257-261.
- Ganasen, M., Yaacob, N., Rahman, R.N.Z.R.A., Leow, A.T.C., Basri, M., Salleh, A.B., Ali, M.S.M. (2016). Cold-adapted organic solvent tolerant alkalophilic family I.3 lipase from an Antarctic *Pseudomonas*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 1266-1276.
- Gao, R., Yu, Q., Shen, Y., Chu, Q., Ge, C., Fen, S., Sun, Q. (2021). Production, bioactive properties, and potential applications of fish protein hydrolysates: Developments and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 687-699.
- Garg, G., Singh, A., Kaur, A., Singh, R., Kaur, J., Mahajan, R. (2016). Microbial pectinases: an ecofriendly tool of nature for industries. *3 Biotech*, 6, 1-13.
- Gohel, S. D., & Singh, S. P. (2015). Thermodynamics of a Ca²⁺-dependent highly thermostable alkaline protease from a haloalkaliphilic actinomycete. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 421-429.
- Gomes, J., Zeni, J., Cence, K., Toniazzo, G., Treichel, H., Valduga, E. (2011). Evaluation of production and characterization of polygalacturonase by *Aspergillus niger* ATCC 9642. *Food and Bioproducts Processing*, 89, 281-287.

- Guerrand, D., 2018. Economics of food and feed enzymes: Status and perspectives. Nunes, C.S., Kumar, V. (Eds) in: *Enzymes in Human and Animal Nutrition*, 487-514.
- Guo, N., Gong, F., Chi, Z., Sheng, J., Li, J. (2009). Enhanced inulinase production in solid state fermentation by a mutant of the marine yeast *Pichia guilliermondii* using surface response methodology and inulin hydrolysis. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 36, 499–507.
- Haddar, A., Bougatef, A., Agrebi, R., Sellami-Kamoun, A., Nasri, M. (2009). A novel surfactant-stable alkaline serine-protease from a newly isolated *Bacillus mojavensis* A21. Purification and characterization. *Process Biochemistry*, 44, 29-35.
- Hammami, A., Fakhfakh, N., Abdelhedi, O., Nasri, M., & Bayoudh, A. (2018). Proteolytic and amylolytic enzymes from a newly isolated *Bacillus mojavensis* SA: characterization and applications as laundry detergent additive and in leather processing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 108, 56-68.
- Hasan, F., Shah, A. A., Hameed, A. (2006). Industrial applications of microbial lipases. *Enzyme and Microbial Technology*, 39, 235-251.
- Henrissat, B., Bairoch, A. (1996). Updating the sequencebased classification of glycosylhydrolases. *Biochemistry Journal*, 316, 695–696.
- Heravi, K.M., Eftekhari F., Yakchali B., Tabandeh F., (2008). Isolation and Identification of a lipase producing *Bacillus* sp. from soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11, 740-745.
- Herwig, C., Doerrie, C., Marison, I., von-Stockar, U. (2001). *Quantitative analysis of the regulation scheme of invertase expression in Saccharomyces cerevisiae*. 76, 247–258.
- Huang, D. L., Zeng, G. M., Feng, C. L., Hu, S., Zhao, M. H., Lai, C., Zhang, Y., Jiang, X. Y., & Liu, H. L. (2010). Mycelial growth and solid-state fermentation of lignocellulosic waste by white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* under lead stress. *Chemosphere*, 81, 1091–1097.
- Iftukhar, T., Niaz M., Anwer, M., Abbas, S. Q., Saleem, M. and Jabeen, R., (2011). Ecological Screening of lipolytic cultures and process optimization for extracellular lipase production from fungal hyperproducer. *Pakistan Journal of Botany*, 43, 1343-1349.
- Irshad, M., Anwar, Z., Mahmood, Z. Aqil, T., Mehmood, S., Nawaz, H., (2014). Bio-processing of agro-industrial waste orange peel for induced production of pectinase by *Trichoderma viridi*; its purification and characterization. *Turkish Journal of Biochemistry* 39, 9–18.
- Jaeger, K. E., Reetz, M. T. (1998). Microbial lipases form versatile tools for biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 16, 396-403.

- Jing, W., Zhengyu, J., Bo, A. (2003). Production and separation of exo- and endo-inulinase from *Aspergillus ficuum*. *Process Biochemistry*, 39, 5–11.
- Joseph, B., Ramteke, P.W., Thomas, G., (2008). Cold active microbial lipases: Some hot issues and recent developments. *Biotechnology Advances*, 26, 457–470.
- Joshi S, Satyanarayana T. (2013). Biotechnology of cold-active proteases. *Biology*, 2, 755-783
- Kalia, Shweta, Arghya Bhattacharya, Sanjeev Kumar Prajapati, and Anushree Malik. (2021). Utilization of starch effluent from a textile industry as a fungal growth supplement for enhanced α -amylase production for industrial application. *Chemosphere*, 279, 130554.
- Kawatra, A., Dhankhar, R., Mohanty, A., Gulati, P. (2020). Biomedical applications of microbial phenylalanine ammonia lyase: current status and future prospects. *Biochimie*. 177, 142-152.
- Kaur, S., Zhang, X., Mohan, A. et al. (2017). Genome-wide association study reveals novel genes associated with culm cellulose content in bread wheat (*Triticum aestivum*, L.). *Frontiers in Plant Science*, 8, 1–7.
- Kherouf, M., Habbeche, A., Benamia, F., Saoudi, B., Kerouaz, B., Ladjama, A. (2021). Statistical optimization of a novel extracellular alkaline and thermostable amylase production from thermophilic *Actinomadura keratinilytica* sp. Cpt29 and its potential application in detergent industry. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 102068.
- Koc, M., Cokmus, C., Cihan, A. C. (2015). The genotypic diversity and lipase production of some thermophilic bacilli from different genera. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46, 1065-1076.
- Komesli, S., Akbulut, S., Arslan, N. P., Adiguzel, A., Taskin, M. (2021). Waste frying oil hydrolysis and lipase production by cold-adapted *Pseudomonas yamanorum* LP2 under non-sterile culture conditions. *Environmental Technology*, 42, 3245-3253.
- Komoda, T., Matsunaga, T., (2015). Constituents of the Human Body, pp. 7-24. In *Biochemistry for Medical Professionals*, Academic Press/Elsevier.
- Kotwal, S.M., Shankar, V. (2009). Immobilized invertase. *Biotechnology Advances*, 27, 311–322.
- Kovacs, K., Banoczi, G., Varga, A. et al. (2014). Expression and properties of the highly alkalophilic phenylalanine ammonia-lyase of thermophilic *Rubrobacter xylanophilus*. *PLoS One*, 9, e85943.
- Kshetri, P., Roy, S. S., Chanu, S. B. et al. (2020). Valorization of chicken feather waste into bioactive keratin hydrolysate by a newly purified keratinase from *Bacillus* sp. RCM-SSR-102. *Journal of Environmental Management*, 273, 111195.

- Kumar, R., Sharma, J., Singh, R. (2007). Production of tannase from *Aspergillus ruber* under solid-state fermentation using jamun (*Syzygium cumini*) leaves. *Microbiological Research*, 162, 384-390.
- Ladero, M., Perez, M. T., Santos, A., Garcia-Ochoa, F. (2003). Hydrolysis of lactose by free and immobilized β -galactosidase from *Thermus* sp. strain T2. In *Biotechnology and Bioengineering* (Vol. 81, pp. 241-252).
- Lan, T. Q., Wei, D., Yang, S. T., Liu, X. (2013). Enhanced cellulase production by *Trichoderma viride* in a rotating fibrous bed bioreactor. *Bioresource Technology*, 133, 175-182.
- Lazim, H., Mankai, H., Slama, N., Barkallah, I., Limam, F. (2009). Production and optimization of thermophilic alkaline protease in solid-state fermentation by *Streptomyces* sp. CN902. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 36, 531-537.
- Lekha, P.K., Lansane, B.K. (1997) Production and application of tannin acyl hydrolase: State of the Art. *Advances in Applied Microbiology*, 44, 215-260.
- Leskovac, V. Suircevic J., Radulovic, M. (1989). The oxidative part of the glucose oxidase reaction. *International Journal of Biochemistry*, 21, 1083-1088.
- Leskovac, V., Trivić, S., Wohlfahrt, G., Kandrač, J., Peričin, D. (2005). Glucose oxidase from *Aspergillus niger*: The mechanism of action with molecular oxygen, quinones, and one-electron acceptors. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 37, 731-750.
- Libardi, N., Soccol, C. R., Góes-Neto, A., Oliveira, J. de, Vandenberghe, L. P. de S. (2017). Domestic wastewater as substrate for cellulase production by *Trichoderma harzianum*. *Process Biochemistry*, 57, 190-199.
- Lincoln, L., More, S. S. (2018). Comparative evaluation of extracellular β -D-fructofuranosidase in submerged and solid-state fermentation produced by newly identified *Bacillus subtilis* strain. *Journal of Applied Microbiology*, 125, 441-456.
- Lineback, David R. (1986). Current Concepts of Starch Structure and Its Impact on Properties. *Journal of the Japanese Society of Starch Science*, 33, 80-88.
- Litwack G., (2008). Enzymes. In *Human Biochemistry and Disease*, Academic Press/Elsevier (pp. 95-129).
- Liu, X., Kokare, C. (2017). Microbial enzymes of use in industry. In *Biotechnology of microbial enzymes* (pp. 267-298). Academic Press.
- Madhu, A., Chakraborty, J. N. (2017). Developments in Application of Enzymes for Textile Processing. *Journal of Cleaner Production*, 145, 114-33.
- Marco, M. G., Rodríguez, L. V., Ramos, E. L., Renovato, J., Cruz-Hernández, M. A., Rodríguez, R., Aguilar, C. N. (2009). A novel tannase from the xerophilic fungus *Aspergillus niger* GH1. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 19, 987-996.

- Mazutti, M., Bender, J. P., Treichel, H., & Luccio, M. Di. (2006). Optimization of inulinase production by solid-state fermentation using sugarcane bagasse as substrate. *Enzyme and Microbial Technology*, 39, 56–59.
- Mechri, S., Bouacem, K., Jaouadi, N. Z., Rekik, H., Elhoul, M. B., Benmradi, M. O., Jaouadi, B. (2019). Identification of a novel protease from the thermophilic *Anoxybacillus kamchatkensis* M1V and its application as laundry detergent additive. *Extremophiles*, 23, 687-706.
- Mehta, A., Guleria, S., Sharma, R., Gupta, R. (2021). The lipases and their applications with emphasis on food industry. In *Microbial biotechnology in food and health* (pp. 143-164). Academic Press.
- Mensink, M.A., Frijlink, H.W., van der Voort Maarschalk, K., Hinrichs, W.L.J. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide I: review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 130, 405–419.
- Meunchan, M., Michely, S., Devillers, H., Nicaud, J. M., Marty, A., Neuvéglise, C. (2015). Comprehensive analysis of a yeast lipase family in the *Yarrowia clade*. *PloS one*, 10, e0143096.
- Mitra, P., Chakraverty, R., Chandra, A., (1996). Production of proteolytic enzymes by solid state fermentation-an overview. *Journal of scientific & industrial research*, 55, 439–442.
- Mohammad, B. T., Al Daghistani, H. I., Jaouani, A., Abdel-Latif, S., Kennes, C. (2017). Isolation and characterization of thermophilic bacteria from Jordanian hot springs: *Bacillus licheniformis* and *Thermomonas hydrothermalis* isolates as potential producers of thermostable enzymes. *International Journal of Microbiology*, 2017.
- Mojsov, K. (2019). Enzymatic Desizing, Bioscouring and Enzymatic Bleaching of Cotton Fabric with Glucose Oxidase. *The Journal of The Textile Institute*, 110, 1032–41.
- Montgomery, R. K., Krasinski, S. D., Hirschhorn, J. N., Grand, R. J. (2007). Lactose and lactase - Who is lactose intolerant and why? *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 45(Suppl. 2), S131-S137.
- Mostafa, Y. S., Alamri, S. A., Alfaifi, M. Y., Alrumman, S. A., Elbehairi, S. E. I., Taha, T. H., Hashem, M. (2021). L-glutaminase synthesis by marine *Halomonas meridiana* isolated from the red sea and its efficiency against colorectal cancer cell lines. *Molecules*, 26, 1963.
- Mouna imen, O., and Mahmoud., K., (2015). Statistical optimization of cultural conditions of an halophilic alpha-amylase production by halophilic *Streptomyces* sp. grown on orange waste powder. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 4, 685–93
- Mughal, M.S.; Ali, S.; Ashiq, M.; Talish, A. S. (2009). Kinetics of an extracellular exo-inulinase production from a 5-fluorocytosine resistant mutant of *Geotrichum candidum* using two-factorial design. *Bioresource Technology*, 100, 3657–3662.

- Mukherjee, A.K., Adhikari, H., Rai, S.K., (2008). Production of alkaline protease by a thermophilic *Bacillus subtilis* under solid-state fermentation (SSF) condition using *Imperata cylindrica* grass and potato peel as low-cost medium: Characterization and application of enzyme in detergent formulation. *Biochemical Engineering Journal* 39, 353–361.
- Naidoo, K., Kumar, A., Sharma, V., Permaul, K., Singh, S. (2015). Purification and characterization of an endoinulinase from *Xanthomonas campestris* pv. phaseoli KM 24 mutant. *Food Technology and Biotechnology*, 53, 146–153.
- Nehad, E. A., Atalla, S. M. (2020). Production and immobilization of invertase from *Penicillium* sp. using orange peel waste as substrate. *Egyptian Pharmaceutical Journal*, 19(2), 103.
- Nevalainen, H., Suominen, P., Taimisto, K. (1994). On the safety of *Trichoderma reesei*. *Journal of Biotechnology*, 37, 193–200.
- Newman, J.D., Turner, A. P. F. (2005). Home blood glucose biosensors: a commercial perspective. *Biosensors and Bioelectronics*, 20, 2435–2453.
- Nithya, K., Muthukumar, C., Kadaikunnan, S., Alharbi, N. S., Khaled, J. M., Dhanasekaran, D. (2017). Purification, characterization, and statistical optimization of a thermostable α -amylase from desert actinobacterium *Streptomyces fragilis* DA7-7. *3 Biotech*, 1-13.
- Niyonzima, F. N., More, S. S. (2014). Detergent-compatible bacterial amylases. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 174, 1215-1232.
- Noha, D. O., Choib, H. S., Suhb, H. J. (2014). Catechine biotransformation by tannase with sequential addition of substrate. *Process Biochemistry*, 49, 271-276.
- Outchkourov, N., Petkov, S. (2019). Phytases for Feed Applications. Vogel, A., May, O. (Eds), In: *Industrial Enzyme Applications*, 255-285.
- Ovando-Chacon, S. L., Tacias-Pascacio, V. G., Ovando-Chacon, G. E. et al. (2020). Characterization of thermophilic microorganisms in the Geothermal Water Flow of El Chichón Volcano Crater Lake. *Water*, 12, 2172.
- Ozoude, T. O., Agwa, O. K., Wokoma, E. C. (2019). Production of invertase from *Actinomyces* isolated from soils in Eliogbolo and Oyigbo, Rivers State using submerged fermentation technique. *Microbiology Research Journal International*, 1-8.
- Pan, S., Chen, G., Zeng, J., Cao, X., Zheng, X., Zeng, W., Liang, Z. (2019). Fibrinolytic enzyme production from low-cost substrates by marine *Bacillus subtilis*: process optimization and kinetic modeling. *Biochemical Engineering Journal*, 141, 268-277.
- Patel, A.K., Singhanina, R.R., Pandey A., (2017). Production, purification, and application of microbial enzymes, pp. 13-41. *Biotechnology of Microbial Enzymes*, Academic Press/Elsevier.

- Patidar, M. K., Nighojkar, S., Kumar, A., Nighojkar, A. (2018). Pectinolytic enzymes-solid state fermentation, assay methods and applications in fruit juice industries: a review. *3 Biotech*, 8, 1-24.
- Paul, J. S., Beliya, E., Tiwari, S., Patel, K., Gupta, N., Jadhav, S. K. (2020). Production of biocatalyst α -amylase from agro-waste 'rice bran' by using *Bacillus tequilensis* TB5 and standardizing its production process. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101648.
- Peng, Y., Yang, X., Zhang, Y. (2005). Microbial fibrinolytic enzymes: an overview of source, production, properties, and thrombolytic activity in vivo. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 69, 126-132.
- Piątkowska-Jakubas, B., Krawczyk-Kuliś, M., Giebel, S. et al. (2008). Use of L-asparaginase in acute lymphoblastic leukemia: recommendations of the Polish Adult Leukemia Group. *Polish Archives of Internal Medicine* 118, 11.
- Pickering, G.J. Heartherbell, D.A, Barnes, M. F. (1998). Optimising glucose conversion in the production of reduced alcohol wine using glucose oxidase. *Food Research International*, 31, 685–692.
- Pieters, R., Hunger, S.P., Boos, J., Rizzari, C., Silverman, L., Baruchel, A., Pui, C.H., (2011). L-asparaginase treatment in acute lymphoblastic leukemia. *Cancer*, 117, 238-249.
- Pinjari, Aleem Basha, Vijayalakshmi Kotari. (2018). Characterization of extracellular amylase from *Bacillus* Sp. Strain RU1. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 6, 29–34.
- Pinzón-Martínez, D. L., Rodríguez-Gómez, C., Miñana-Galbis, D. et al. (2010). Thermophilic bacteria from Mexican thermal environments: isolation and potential applications. *Environmental Technology*, 31, 957-966.
- Punekar, N.S. (2018) *Enzymes: Catalysis, Kinetics and Mechanisms*; Springer: Singapore.
- Qiu, Y., Niu, H., Huang, W., He, Y., Wu, X. H. (2011). Properties and secondary structure of tannase from *Penicillium herquei*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 16, 858-866.
- Raja, M. M. M., Raja, A., Imran, M. M., Santha, A. M. I., Devasena, K. (2011). Enzymes application in diagnostic prospects. *Biotechnology*, 10, 51-59.
- Ramesh, S., Rajesh, M., Mathivanan, N., (2009). Characterization of a thermostable alkaline protease produced by marine *Streptomyces fungicidicus* MML1614. *Bioprocess and Biosystem Engineering*, 32, 791–800.
- Raveendran, S., Parameswaran, B., Beevi-Ummalya, S. et al. (2018). Applications of microbial enzymes in food industry. *Food Technology and Biotechnology*, 56, 16-30.

- Raveendran, S., Parameswaran, B., Beevi Ummalyima, S. (2018). Applications of microbial enzymes in food industry. *Food Technology and Biotechnology* 56, 16–30.
- Razzaq, A., Shamsi, S., Ali, A., Ali, Q., Sajjad, M., Malik, A., Ashraf, M. (2019). Microbial proteases applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 110.
- Rekik, H., Jaouadi, N. Z., Gargouri, F., Bejar, W., Frikha, F., Jmal, N., Jaouadi, B. (2019). Production, purification and biochemical characterization of a novel detergent-stable serine alkaline protease from *Bacillus safensis* strain RH12. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121, 1227-1239.
- Renneberg, R., Berkling, V., Lorocho, V., (2017). Enzymes: Molecular Supercatalysts for Use at Home and in Industry. In *Biotechnology for Beginners*, pp.35-63.
- Renovato, J., Gutiérrez-Sánchez, G., Rodríguez-Durán, L. V. et al. (2011). Differential properties of *Aspergillus niger* tannase produced under solid-state and submerged fermentations. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 165, 382-395.
- Romero, M. D., Aguado, J., González, L., Ladero, M. (1999). Cellulase production by *Neurospora crassa* on wheat straw. *Enzyme and Microbial Technology*, 25, 244–250.
- Roy, J.K., Rai, S.K., Mukherjee, A.K. (2012). Characterization and application of a detergent-stable alkaline α -amylase from *Bacillus Subtilis* strain AS-S01a. *International Journal of Biological Macromolecules* 50, 219–29.
- Ruan, Y. L., Jin, Y., Yang, Y. J., Li, G. J., Boyer, J. S. (2010). Sugar input, metabolism, and signaling mediated by invertase: Roles in development, yield potential, and response to drought and heat. *Molecular Plant*, 3, 942–955.
- Samakoğlu, S. (1991). *Glukoz oksidaz ve glukonik asit üretimi artırılmış Aspergillus niger mutantlarının eldesi*. Hacettepe Üniversitesi.
- Sanchez, S., Demain, A. L. (2011). Enzymes and bioconversions of industrial, pharmaceutical, and biotechnological significance. *Organic Process Research & Development*, 15, 224-230.
- Saravanan, D., Prakash, A.A., Jagadeeshwaran, D., Nalankilli, G., Ramachandran, T., and C. Prabakaran. (2011). Optimization of thermophile *Bacillus licheniformis* a-amylase desizing of cotton fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 36, 253–58
- Saxena, R.K., Sheoran A., Giri B., Davidson W.S., (2003). Purification strategies for microbial lipases. *Journal of Microbiological Methods*, 52, 1–18.
- Schiweck, H., Clarke, M., Pollach, G. (2007). *Sugar in Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*.

- Schmid, D. (1990). Crystallization and preliminary X-ray diffraction studies of deglycosylated glucose oxidase from *Aspergillus niger*. *Journal of Molecular Biology*, 213, 207–209.
- Seifollah, F. H., & Khodaverdi, G. (2013). Pectin esterase production by *Aspergillus niger*: Optimization of fermentation condition. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3, 896-910.
- Selwal, M. K., Selwal, K. K. (2012). High-level tannase production by *Penicillium atramentosum* KM using agro residues under submerged fermentation. *Annals of Microbiology*, 62, 139-148.
- Squarezi, C., Longo, C., Ceni, G., Boni, G., Silva, M. F., DiLuccio, M., Mazutti, M. A., Maugeri, F., Rodrigues, M. I., Treichel, H. (2009). Inulinase production by agro-industrial residues: Optimization of pretreatment of substrates and production medium. *Food and Bioprocess Technology*, 2, 409–414.
- Shankar, T., Thangamathi, P., Rama, R., Sivakumar, T. (2014). Characterization of invertase from *Saccharomyces cerevisiae* MTCC 170. *African Journal of Microbiology*, 8, 1385–1393.
- Sharma, N.K., Beniwal, V., Kumar, N., Kumar, S., Pathera, A.K., Ray, A. (2014) Production of tannase under solid-state fermentation and its application in detannification of guava juice. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 44, 281-90.
- Sharma, S., Agarwal, L., Saxena, R. K. (2008). Purification, immobilization and characterization of tannase from *Penicillium variable*. *Bioresource Technology*, 99, 2544-2551.
- Shen, L., Gao, J., Wang, Y., Li, X., Liu, H., Zhong, Y. (2022). Engineering the endoplasmic reticulum secretory pathway in *Trichoderma reesei* for improved cellulase production. *Enzyme and Microbial Technology*, 152, 109923.
- Shrivastava, A., Khan, A. A., Khurshid, M., Kalam, M. A., Jain, S. K., Singhal, P. K. (2016). Recent developments in l-asparaginase discovery and its potential as anticancer agent. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 100, 1-10.
- Sifour, M., Zaghloul, T. I., Saeed, H. M., Berekaa, M. M., Abdel-Fattah, Y. R. (2010). Enhanced production of lipase by the thermophilic *Geobacillus stearothermophilus* strain-5 using statistical experimental designs. *New Biotechnology*, 27, 330-336.
- Singh, R., Kumar, M., Mittal, A., Mehta, P. K. (2016). Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. *3 Biotech*, 6, 1-15.
- Singh, R., Mittal, A., Kumar, M., Mehta, P. K. (2016). Microbial proteases in commercial applications. *Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Science*, 4, 365-374.

- Singh, P., Gill, P. K. (2006). Production of inulinases: recent advances. *Food Technology and Biotechnology*, 44, 151–162.
- Singh, R., Kumar, V., Kapoor, V. (2014). Partial purification and characterization of a heat stable α -amylase from a thermophilic *Actinobacteria*, *Streptomyces* sp. MSC702. *Enzyme Research* 2014.
- Singh, R. S., Chauhan, K., Kennedy, J. F. (2019). Fructose production from inulin using fungal inulinase immobilized on 3-aminopropyl-triethoxysilane functionalized multiwalled carbon nanotubes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 41–52.
- Singh, S., Gupta, R. (2004). Apple juice clarification using fungal pectinolytic enzyme and gelatin. *Indian Journal of Biotechnology*, 3, 573–576.
- Singh, S., Mandal, S. K. (2012). Optimization of processing parameters for production of pectinolytic enzymes from fermented pineapple residue of mixed *Aspergillus* species. *Jordan Journal of Biological Science*, 5, 307–314.
- Soares, M.M.C.N., da Silva, R., Carmona, E.C., Gomes, E. (2001). Pectinolytic enzyme production by *Bacillus* species and their potential application on juice extraction. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17, 79–82.
- Sumanjelin, B., Ramachandra Rao C. S. V., Satish Babu R. (2013). Isolation, characterization of lipase producing bacteria from crude rice bran oil and optimization studies by response surface methodology (RSM). *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 3, 289–296.
- Svendsen, A. (Ed.). (2016). *Understanding Enzymes: Function, Design, Engineering, and Analysis*. CRC Press.
- Swoboda, B.E.P., Massye, V. (1965). Purification and properties of the glucose oxidase from *Aspergillus niger*. *Journal of Biological Chemistry*, 240, 2209–2215.
- Tari, C., Genckal, H., Tokatlı, F. (2006). Optimization of a growth medium using a statistical approach for the production of an alkaline protease from a newly isolated *Bacillus* sp. L21. *Process Biochemistry*, 41, 659–665.
- Tasar, O. C. (2017). Enhanced β -fructofuranosidase biosynthesis by *Rhodotorula glutinis* using Taguchi robust design method. *Biocatalysis and Biotransformation*, 35, 191–196.
- Tasar, Ö. C. (2020). Inulinase production capability of a promising medicinal plant: *Inula viscosa*. *Commagene Journal of Biology*, 4, 67–73.
- Tasar, O. C., Erdal, S., Algur, O. F. (2015). Utilization of leek (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) for inulinase production. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 45, 596–604.
- Taskin, M. (2013). Co-production of tannase and pectinase by free and immobilized cells of the yeast *Rhodotorula glutinis* MP-10 isolated from tan-

nin-rich persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruits. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 36, 165-172.

- Taskin, M., Esim, N., Genisel, M., Ortucu, S., Hasenekoglu, I., Canli, O., Erdal, S. (2013). Enhancement of invertase production by *Aspergillus niger* OZ-3 using low-intensity static magnetic fields. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 43, 177-188.
- Taskin, M., Ortucu, S., Unver, Y., Tasar, O. C., Ozdemir, M., Kaymak, H. C. (2016a). Invertase production and molasses decolourization by cold-adapted filamentous fungus *Cladosporium herbarum* ER-25 in non-sterile molasses medium. *Process Safety and Environmental Protection*, 103, 136-143.
- Taskin, M., Ucar, M. H., Unver, Y., Kara, A. A., Ozdemir, M., Ortucu, S. (2016b). Lipase production with free and immobilized cells of cold-adapted yeast *Rhodotorula glutinis* HL25. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 8, 97-103.
- Touioui, S. B., Jaouadi, N. Z., Boudjella, H. et al. (2015). Purification and biochemical characterization of two detergent-stable serine alkaline proteases from *Streptomyces* sp. strain AH4. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31, 1079-1092.
- Treichel, H., Oliveira, D.D., Mazutti, M.A., Luccio, M.D., Oliveira, J.V., (2010). A review on microbial lipases production. *Food and Bioprocess Technology*, 31, 82-196.
- Umameshwari, R., Amsamani, S. (2018). Enzymatic Desizing of Hemp Cotton Fabrics. Parthiban, M., Srikrishnan, R., Kandhavadi, P. (Eds). In: Sustainability in Fashion and Apparels: Challenges and Solutions. Woodhead Publishing India.
- Unver, Y., Yildiz, M., Taskin, M., Arslan, N. P., Ortucu, S. (2015). Protease production by free and immobilized cells of the cold-adapted yeast *Cryptococcus victoriae* CA-8. *Biocatalysis and Biotransformation*, 33, 105-110.
- van den Dungen, M. W., Boer, R., Wilms, L. C., Efimova, Y., Abbas, H. E. (2021). The safety of a *Kluyveromyces lactis* strain lineage for enzyme production. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 126.
- Van de Lagemaat, J., Pyle, D. L. (2005). Modelling the uptake and growth kinetics of *Penicillium glabrum* in a tannic acid-containing solid-state fermentation for tannase production. *Process Biochemistry*, 40, 1773-1782.
- Veerapagu, M., Narayanan, A.S., Ponmurugan, K., Jeya, K.R., (2013). Screening selection identification production and optimization of bacterial lipase from oil spilled soil. *Asian Journal of Pharmaceutical Clinical Research*, 6, 62-67.
- Veloortalappil, N. J., Robinson, B. S., Selvanesan, P., Sasidharan, S., Kizhakkepawothail, N. U., Sreedharan, S., Sailas, B. (2013). Versatility of microbial proteases. *Advances in Enzyme Research*, 2013.

- Vemulapalli, V., Miller, K.A., Hosney, R. C. (1998). Glucose oxidase in bread-making systems. *Cereal Chemistry*, 75, 439–442.
- Wan, H., Wu, L., Yang, Y., Zhou, G., Ruan, Y. L. (2017). Evolution of sucrose metabolism: the dichotomy of invertases and beyond. *Trends in Plant Science*, 23, 163–177.
- Wong, C. M., Wong, K. H., Chen, X. D. (2008). Glucose oxidase: Natural occurrence, function, properties and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 78, 927–938.
- Worthington, C. (1988). *Worthington Enzyme Manual: enzymes and related biochemicals*, Worthington Biochemical Corporation Freehold, New Jersey, USA.
- Wu, R., Chen, G., Pan, S., Zeng, J., Liang, Z. (2019). Cost-effective fibrinolytic enzyme production by *Bacillus subtilis* WR350 using medium supplemented with corn steep powder and sucrose. *Scientific reports*, 9, 1-10.
- Xavier, J. R., Ramana, K. V., Sharma, R. K. (2018). β -galactosidase: Biotechnological applications in food processing. *Journal of Food Biochemistry*, 42(5).
- Xu, X., Fan, X., Fan, C., Qin, X., Liu, B., Nie, C., Sun, N., Yao, Q., Zhang, Y., Zhang, W. (2019). Production optimization of an active β -Galactosidase of *Bifidobacterium animalis* in heterologous expression systems. *BioMed Research International*, 2019.
- Ye, D., Rongpipi, S., Kiemle, S. N. et al. (2020). Preferred crystallographic orientation of cellulose in plant primary cell walls. *Nature Communications*, 11, 1–10.
- Yu, S., Ding, L., Lin, H., Wu, W., Huang, J. (2019). A novel optical fiber glucose biosensor based on carbon quantum dots-glucose oxidase/cellulose acetate complex sensitive film. *Biosensors and Bioelectronics*, 146, 111760.
- Zhu, Z., He, J., Liu, G. et al. (2016). Recent insights for the green recovery of inulin from plant food materials using non-conventional extraction technologies : a review. *Innovative Food Science Emergency Technology*, 33, 1–9.

Bölüm 8

BİTKİLERDE MİKRO BESİN ELEMENTİ BOR VE BİTKİ İLİŞKİLERİ

Murat ARDIÇ¹

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Eskişehir, Türkiye, mardic@ogu.edu.tr ORCID 0000-0001-8734-3038

1. Giriş

Bitkiler, yaşam ortamlarında meydana gelen çevresel değişimlere karşı çeşitli içsel ve mekanik tepkiler gösterirler. Oluşan herhangi bir stres faktörü ile karşılaşan bitkilerde biyokimyasal ve fizyolojik olarak çeşitli tepkiler oluşmaktadır. Stres faktörlerinin en önemlilerinden biri olan besin elementlerinin eksikliği veya toksisitesi, bitkilerde metabolizmanın işlevini engellemekte ve bitki gelişimi, verim ve kalite gibi sorunlara neden olabilmektedir. Gerek kimyasal özelliği (periyodik elementler sisteminin (III A) 13. grubu, metalik ve metalik olmayan özellikleri gösteren, hem asit hem de baz üretme özelliğine sahip), gerekse eksiklik, toksisite sınır değerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle bitkilerde bor beslenmesindeki bozukluklar oldukça yaygındır (Brown vd., 2002). Bor, 1915'te Mazé tarafından bir mikro besin maddesi olarak belirtilse de tartışmalı çalışması nedeniyle; bitki metabolizması için elementin gerekliliğini kanıtlayan ilk yazar Warington(1923) olarak kabul edilir. Takip eden çalışmalarda bitkilerin bora olan gereksinimleri birçok bitki türünde kanıtlanmıştır.

Bor elementin birincil işlevi hücre duvarı sentezinde, yapısını ve bütünlüğünü korumaktır. Bitki duvarında bulunan bor miktarı, bitki türleri, bulunduğu organ ve bor kaynağına bağlıdır (Goldbach vd., 2000). Bor bitkiler tarafından aktif ve pasif olarak alınabilmektedir. Bitkiler yaygın olarak bor'u pasif absorpsiyon yoluyla ve iyonlaşmamış $B(OH)_3$ şeklinde alırlar (Nable vd., 1997). Bor bitkiler tarafından az da olsa, $B(OH)_4^-$ iyonları şeklinde de alınabilmektedir (Hu and Brown, 1998). Bor, cis-hidroksil gruplarına sahip bileşiklerle kolaylıkla kompleksler oluştururlar. Borat esterler ramnogalakturnan II (RGII) monomerlerinin apioz kalıntıları arasındaki bağlar oluştururarak hücre duvarının mimarisine katılırlar. Genellikle monokotiledon bitkiler dikotiledon bitkilerden hücre duvarı yapılarında daha az pektin içerdikleri için nispeten daha düşük bor gereksinimlerine sahiptirler ve aşırı bora karşı daha düşük toleransa sahiptirler (Chormova & Fry, 2016).

Bor formları, cis-diol kompleksi oluştururarak bitki plazma zarından glikoproteinler ve glikolipidler içeren bileşikler yapısında bulunurlar. Bu bileşik haliyle bor, enzim reaksiyonlarında, metabolitlerin, hormonların taşınmasında, membran metabolizmasında ve işlevinde rol oynar. Enzimleri uyararak, inhibe eder veya stabilize ederler; böylelikle şekerlerin, zar, lignin ve flavonoid, oksinlerin sentezine, nitrojen bileşiklerinin ve fenollerin metabolizmasına katılırlar (Goldbach, & Wimmer 2007).

Bor elementi; hücre bölünmesinde, dokuların vejetatif büyüme ve farklılaşmasında, translyasyon ve transkripsiyon olaylarında (Dzondo-Gadet vd., 2002) ve baklagillerde ve mikorizalarda azot fiksasyonunda da görev alır (Sönmez vd., 2009).

Bitkilerin yetersiz bor temini çok sayıda biyokimyasal, fizyolojik ve anatomik değişikliğe neden olur; bu nedenle, birincil ve ikincil etkileri kesin olarak ayırt etmek son derece zordur. Fotosentetik kapasiteyi ve fotosentetik ürünlerin taşınmasını etkiler, apikal meristemdeki hücre bölünmesinin kesilmesi en belirgin etkilerindendir ve kök büyümesinin azalmasına ve hatta durmasına neden olur (Shireen vd., 2018; Ardıç vd., 2009 a). Bitkilerde bor yetersizliğe bağlı olarak erkek organında işlevsel bozukluklar baş gösterir; polen tüpünün mikrosporogenezi, çimlenmesi ve uzaması azalır. Eksik tohum oluşumu bor eksikliğinin bitkilerdeki etkilerindendir (Cheng, & Rerkasem, 1998).

Eksikliği kadar yaygın olmasa da dünyanın kurak ve yarıkurak bölgelerinde bor toksisitesi büyük bir sorun oluşturmaktadır. Bor toksisitesi ile hücre çeperinde oluşturduğu hasar; ATP, NADH ve NADPH'ye bağlanan riboz kısımlarında metabolik bozukluk; RNA, serbest şekerler veya riboz bağlarınınca meydana getirilen bölünen ve gelişen hücrelerdeki hasarlar ve yapraklarda yüksek miktarda toplanan B'un transpirasyon akım yönündeki ozmatik düzenin bozulması ile kendini gösterir (Stagoulis & Reid, 2002; Reid vd., 2004).

2. Toprakta Bor

Bor, az miktarda bulunmasına rağmen hidrosfer ve litosferde yaygın olarak dağılmıştır. Doğal olarak veya antropojenik süreçlerle bir ortama girer. Doğal olarak oluşan toprak borunun en yaygın kaynakları borosilikat minerali, turmalin, uçucu volkan yayımları, jeotermal akarsular, yeraltı suyu ve deniz suyudur. Turmalin kararlıdır ve tortul kayalarda birikir. Silikattan gelen bor, pedosferde bozunmadan önce bitkiler tarafından kullanılamaz. Bozunma işleminden sonra element, bitkiler tarafından borik asit formunda erişilebilir hale gelir.

Bor elementi genellikle ekosisteme atık su, gübre, herbisit, yanma ürünü ve madencilik veya işleme endüstrisinden kaynaklanan atıklar olarak girse de, çevreye salınan bor üzerindeki antropojenik etkiler ağırlıklı olarak sulama suyu yoluyla olmaktadır. Toprağın sürdürülebilirliğine zarar vermeyen sulama suyundaki bor eşiği 1 mg·L⁻¹'dir (Vera, vd., 2019).

Borik asit, yağışla kolayca süzülebilen çözünür bir bileşiktir; bu nedenle bor noksanlığı genellikle dünyanın nemli bölgelerinde örneğin; Güneybatı Çin, kuzeybatı Hindistan, Nepal, Bangladeş, Japonya, ve Brezilya bor eksikliğinden en çok tehlike altında olan bölgeler olarak kabul edilir; bununla birlikte, eksikliğin Tayland, Kore, Zambiya, Nijerya, Filipinler, kuzey Avrupa ülkeleri ve Balkanlar dahil olmak üzere dünyanın en az 80 ülkesinde görüldüğü bilinmektedir (Shorrocks, 1997). Bor noksanlığının aksine toprak bor toksisitesi daha az görülmektedir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde örneğin; Türkiye, ABD, Meksika, Avustralya, Rusya, İsrail,

Irak, Mısır, Suriye, Fas, Ürdün, Libya, Malezya, Hindistan, Pakistan, Şili, Peru, Sırbistan, Macaristan ve İtalya topraklarında aşırı bor rapor edilmiştir (Landi vd., 2019).

Dünyanın topraklarının çoğu, nötr pH'ta kurutulmuş toprakta belirlenen 5-30 ppm arasında bor içerir. Bitkilerin tolere edebildiği maksimum kurutulmuş bor miktarı 25 ppm'dir. Bununla birlikte, topraktaki toplam boron sadece küçük bir kısmı (%1-3) suda çözünür ve bitkiler tarafından besin maddesi olarak kullanılabilir. Topraktaki kullanılmayan bor, artık bor, spesifik olarak adsorbe edilmiş, oksit ve organik olarak bağlı olarak etkileşime girer ve belirli çevresel koşullar altında karşılıklı olarak dönüşebilir (Padbhushan,& Kumar, 2017).

Toprak çeşitleri arasında değişen fiziksel, kimyasal özellikler ve çevre koşullarının etkileri nedeniyle bitki türleri ve çeşitleri arasında bor alımındaki farklılıkların belirlenmesi zorlaşmaktadır. Topraktaki bor için; geliştirilen farklı yöntemlerin içersinde en yaygın kullanılan sıcak su ekstraksiyon yöntemidir bu yöntem diğer yöntemlerden (sıcak seyreltik kalsiyum klorür, soğuk kalsiyum klorür-mannitol, soğuk hidroklorik asit, baryum klorür, dietilen triamin pentaasetik asit kul (DTPA)–sorbitol, potasyum klorür ekstraksiyonu, spektrofotometrik ve plazma kaynaklı spektrometrik yöntemler) elde edilen verilerle büyük ölçüde uyumludur (Brđar-Jokanović, 2020).

Abreu ve arkadaşları (2005) araştırmalarında diğer yazarların bulgularını karşılaştırıp yaptığı sınıflandırma da 0,0–0,2 ppm düşük, 0,21–0,6 ppm orta, 0,61–1,1 ppm yüksek, 1,2–3,0 ppm çok yüksek ve >3,0 ppm toksik bor toprak konsantrasyonları olarak belirtmişlerdir.

Borun eksikliğini ve fazlalığını belirleyen sınırlar diğer elementlere göre oldukça dar aralıkta seyretmektedir. Bu nedenle bitkilerin borca beslenmesindeki bozukluklar oldukça yaygındır. Koşullara bağlı olarak, aynı büyüme mevsiminde bile, aynı bölgede, hem eksiklik hem de toksisite meydana gelebilir. Bu durum, toprak tipine, pH'a, su durumuna, dokuya, hava nemine ve sıcaklığına, bitki türlerine ve genotipe bağlıdır (Brđar-Jokanović, 2020). Örneğin, arpa üzerinde toksik etki sergileyen bor konsantrasyonlarının (%10 kök büyümesinin azalması) 22 toprak arasında; pH, doku ve organik madde yüzdesi bakımından farklılık gösteren uygulamada yaklaşık 10 kat değişim belirlenmiştir (Mertens vd., 2011).

Bazı ülkelerin topraklarındaki borun az olduğu konsantrasyonlar; Nepal'de 0.19 ppm, Zambiya'da 0.25 ppm, Nijerya'da 0.27 ppm, Filipinler'de 0.28 ppm, Türkiye'de 0.37 ppm, Kore, Sierra Leone'de 0.39 ppm ve Hindistan'da 0.42 ppm olarak belirtilmiştir. Toksik bor konsantrasyonları ise; Irak'ta 1.51 ppm, Meksika da 1.26, Türkiye'de 1.10, Macaristan'da 1.02, ve Pakistan'da 0.68, olarak ölçülmüştür (Shorrocks, 1997).

Ülkemizin 3.5 milyon ha tarım arazisine sahip olan Orta-Güney Anadolu bölgesi (Konya, Afyon, Karaman, Aksaray, Niğde, Nevşehir ve Kayseri) tarım topraklarından alınan örneklerde yapılan analiz sonuçlarına göre toprakların elverişli bor miktarının 0.01-63.9 mg kg⁻¹ arasında değiştiği, %26.6'sının da bor'ca yetersiz (<0.5 mg kg⁻¹) ve %18'ininde ise borca toksik (>3.0 mg kg⁻¹) düzeyde oldukları bulunmuştur. Toprakların elverişli bor miktarının toprak özelliklerine bağlı olarak değiştiği ve özellikle toprak tuzluluğu, sodyum ve organik madde miktarı arttıkça elverişli bor miktarının da çok önemli düzeyde arttığı belirlenmiştir (Gezgin vd., 2002).

Borun eksikliği konusunda dünyanın hemen hemen tüm ülkelerinde 150'ye yakın bitki türünde çalışmalarla kanıtlanmış ve buna yenileri her geçen gün ilave edilmektedir. Borun toksisitesi ise ağırlıklı olarak sıcak ve kurak (<250 mm) ortamlarda ortaya çıksa da ve yarı kurak bölgelerde (250-450 mm yıllık yağış), düşük nemli soğuk bölgelerde de kendini gösterebilmektedir. Bu bölgelerde yetişen bitkiler; optimum sıcaklık ve su rejimlerini benimseyerek aynı miktarda elementi almaya çaba sarfederler. Bununla birlikte, soğuk ve kuru kıştan sonra kök büyümesi azalır. Sonuç olarak, bor toksisitesinin görsel belirtileri, bitkilerin yaşam döngüsünün erken evrelerinde de ortaya çıkar.

Fazla toprak borunun mahsuller üzerindeki etkisi, dikey dağılımına bağlıdır. Örneğin, çoğu Avustralya toprağında, bor konsantrasyonu toprak yüzeyinden yaklaşık olarak, maksimuma ulaştığı 1 m. derinliğe kadar artar. Bor elementin tarla koşullarında böyle bir dağılımı, bitki büyüme aşamalarında görsel semptom görünümünü geciktirebilir. Kuraklıkta, kökler toprağın daha derinlerine nüfuz ederek aşırı borla karşı karşıya kalır ve bu da toksisitenin daha belirgin semptomlarına neden olur. Kontrollü koşullar altında yapılan deneylerde, ekim sırasında yaygın olarak aşırı bor ilave edilen çalışmalar tarla koşullarına ışık tutmaktadır. Bu bakımdan bitkiler, tüm büyüme aşamalarında aşırı bora eşit derecede duyarlı değildir. Arpa, özellikle sap uzaması sırasında hassastır. Ayrıca, toksisite semptomları olan bitkiler genellikle tarlada düzensiz bir şekilde dağılır. Arpa bitkilerinde tarla denemelerinde 10 m² alan içerisinde görsel belirti gösteren ve göstermeyen bitkilere rastlanılmış ve bu bitkilerin sürgünlerinde 32 ve 5 ppm bor konsantrasyonları ölçülmüştür (Brennan vd., 2004).

Bor elementinin ortama verildiği çalışmalarda; bitki dokusundaki elementin konsantrasyonu saksı deneyi, besin çözeltisi, tarla koşulları arasındaki doğrusal ilişkiye rağmen, bor toleransında türler arasında büyük değişkenlik vardır. Örneğin, 100 ppm toprak bor uygulamasında verim düşüşü olmayan buğday genotipleri varken 25 ppm bor uygulamasında önemli verim düşüşü olan genotipler de bilinmektedir (Paull vd., 1988). Bitki ve toprak bor konsantrasyonları mutlaka doğrudan ilişkili değildir.

Sürgün bor konsantrasyonu 323 ve 156 ppm olan arpa bitkilerinden, sırasıyla toprak borunun 21.6 ve 56.3 ppm olduğu yerlerden numune alınmıştır. (Cartwright vd., 1986).

Bor alımı, yer değiştirmesi ve kullanımı ile ilgili karmaşık bitki-toprak etkileşimlerinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmak için yapılacak çalışmaların artırılmasının yanında çeşitli topraklarda, çevresel koşullarda ve ekinlerde yeni toprak testlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

3. Bitkiler ve Bor Eksikliği

Bor eksikliği hızlı bir şekilde ilk olarak hücrede kendini gösterir. İlk önce hücre çeperi, hücre membran oranı bozulmaktadır, bu olayın devamında hücre çeperi oldukça kalınlaşır, normal hücreye oranla hücre anatomisi ve fizyolojisinde değişiklikler meydana gelir. Bor eksikliğinde hücre çeperi sentezi etkilenirken hücre bölünmesi de engellenmektedir (Brown vd., 2002). Bitkilerde kök gelişimi, sürgün gelişimine göre bor noksanlığına daha duyarlıdır. Bor noksanlığı sonucu apikal meristemde hücre bölünmesinin durması kök uzamasını engellemekte ve borun çok az bulunduğu durumunda, kökte kaliptra kaybolur, büyüme durur ve kök uçları ölür. Sürgün/kök oranı artar ve bitkiler kuraklığa ve besin dengesizliklerine karşı daha duyarlı hale gelir. Ortamda borun çok az bulunduğu ve uzun süreli eksiklik olduğu durumlarda bitkilerin boğumları arası kısalmır ve yapraklarda nekrotik lekeler oluşur. Bir bitkinin yaşam döngüsünün üreme aşamasında bor gereksinimleri genellikle daha yüksektir. Üreme evresindeki eksikliğin en yaygın etkisi erkek organda oluşan kısırlıktır. Döllenme olsa da, tohumların gelişimi istenen düzeyde olmamaktadır, bu durum bazen tüm mahsülde beslenme bozukluğuna bağlı olarak ürün kayıplarının çok fazla olmasına neden olmaktadır. Borun noksanlığın görsel semptomları ortaya çıkmadan da verim önemli ölçüde azalabilir (Dell & Huang, 1997). Floemi hareketli bitkilerin sahip olduğu yer değiştirme yetenekleri sayesinde bitkilerdeki bor miktarında nadiren eksiklik yaşanır bunun nedeni poliollerin artan üretimidir. Bor kullanım verimliliğini artırmak yüksek polioller üretimine sahip genotiplerin seçimi yoluyla gerçekleştirilebilir (Bellaloui vd., 2003).

Buğdaylar üzerinde yapılan bir çalışmada bor eksikliğinin, genetik olarak bor'a dayanıklı buğday türleriyle azaltılabileceği konusunda oldukça fazla çalışma gündeme gelmiştir. Bor kullanımı açısından buğday genotipleri arasında geniş bir varyasyon söz konusu olup bu tüm tarımsal bitki ve besin maddeleri arasında bir tarım bitkisinde bilinen en fazla çeşitliliktir. Buğdaylar genotipik bakımından: çok duyarlı, duyarlı, orta duyarlı, orta toleranslı ve toleranslı olarak 5 grupta sınıflandırılmıştır (Rerkasem & Jamjod, 1997). Bu nedenle, eksiklik sorununun üstesinden gelmenin en uygun yolu olarak kullanım verimliliği için uygun genotiplerin

yetiştirilmesi, önem arz etmektedir. Buğdayda bor veriminin iki bağımsız ana lokus tarafından kontrol edildiği bulunmuştur. Baskın lokuslar (Bod1, Bod2) yüksek verimlilik anlamına gelir. Kullanım verimliliği standart lokus kombinasyonlarını Bod1 Bod1, Bod2 Bod2 (Fang 60-verimli çeşit), bod1bod1 bod2bod2 (Borca-verimsiz) ve bod1bod1 Bod2 Bod2 (SW 41-orta verimli) oluşturmaktadır (Jamjod vd., 2004).

Bitkilerin bor kullanım verimliliği, köklerden yer üstü bitki organlarına bor taşıma kapasitesinin yüksek olmasıyla belirlenir. Ksilemde bor yüklenmesinden ve eksiklik koşullarında translokasyonundan sorumlu membran proteini BOR1'in ilk tanımlamasını *Arabidopsis thaliana* bitkisinde gerçekleştirmiştir (Takano vd., 2002). Bu proteinin homologları pirinç, buğday, mısır ve diğer bitki türleri için de rapor edilmiştir (Leaungthitikanhachana vd., 2013). *Arabidopsis*'te şimdiye kadar yedi BOR tanımlanmıştır; BOR1, sırasıyla NIP5;1 ve NIP6;1 ile işbirliği yaparak köklerden ksileme ve onun yapraklara yer değiştirmesi sağlayarak bor taşınmasında çalışırken, BOR2, RGII moleküllerinin çapraz bağlanmasına katılarak kök büyümesini destekler, BOR4 esas olarak fazla borun dokulardan uzaklaştırılmasında işlev görmektedir ve aşırı bora toleransta çalışmaktadır. BOR4 homologları arpa, buğday ve diğer tarımsal bitkilerde de bulunmuştur. Membran proteini BOR1, hayvanlardaki bikarbonat taşıyıcı preteinin homologudur. Bor noksanlığına toleranslı bir *Arabidopsis* nesli üretilmiştir (Miwa vd., 2006). Bu sayede, köklerden yer üstü organlara doğru artan bor translokasyonuna neden olan BOR1 üretimi sağlanmıştır. Transgenik bitkiler %100 borun etkisini azaltmış ve noksanlık koşullarında başarılı bir şekilde ürün vermişlerdir ancak fazla bora karşı artan hassasiyet sergilememişlerdir. Bu proteinlerin işlevini ortamdaki bor varlığına ek olarak, CO₂ ve ışınım gibi dış faktörler etkilemektedir (Mishra vd., 2018). Yapılan çalışmalar sayesinde tarım bitkilerinde tanımlanan taşıyıcılar, daha iyi bor kullanım verimliliğine sahip çeşitlerin ıslahı veya tasarımıyla yönelik daha ileri araştırmaların temelini oluşturmaktadır.

Bor eksikliği tarafından indüklenen transkript birikimleri olan genler eksiklik altında normal *Arabidopsis* kök büyümesine dahil olan düşük bor (WRKY6) tarafından indüklenen bir transkripsiyon faktörünün ilk tanımlanması birçok çalışmaya örnek teşkil etmiştir. Örneğin, meyve veren mahsullerin bir modeli olarak kullanılan domateste yapılan çalışmada, bor eksikliği koşullarında gelişmiş büyüme özelliğine sahip transgenik domates çeşitlerinde domates hatların verimliliği artması AtBOR1 (*Arabidopsis thaliana* BOR1) sayesinde gerçekleşmiştir (Uraguchi vd., 2014).

Bor eksiklik koşullarında yetiştirilen transgenik bitkiler, transgenik olmayan bitkilerle karşılaştırıldığında daha fazla sürgün kuru ağırlığına ve yüksek sürgün, meyve bor konsantrasyonuna sahiptir. Bu nedenle, transgenik mahsullerin bor eksikliği olan alanlar için sürdürülebilir bir

çözüm olabileceği görülmektedir. Diğer yaklaşımlar, bor kullanım verimliliği için seleksiyon ile seçilen bitki ıslah çeşitlerinin geliştirilmesi ve bor eksikliğine karşı bitki fizyolojisinin daha iyi aydınlatılması ile olacaktır.

4. Bitkiler ve Bor Toksisitesi

Bor bitkiler tarafından eser miktarda gereksinim duyulan, sınır değerleri birbirine çok yakın olma özelliğiyle değerlerinden ayrılan, eksikliği kadar yaygın olmasa da dünyanın kurak ve yarıkurak bölgelerinde büyük bir toksisite sorunu görülen elementtir. Bor toksisitesi, bitkilerde genelde üç ana başlıkta sıralanmıştır. Bunlardan birincisi hücre çeperinde oluşan hasar; ikincisi ATP, NADH ve NADPH'ye bağlanan riboz kısımlarında oluşan metabolik bozukluk; üçüncüsü ise RNA, serbest şekerler veya riboz bağlarınca meydana getirilen bölünen ve gelişen hücrelerdeki hasarlardır. Bunlara dördüncü olarak yapraklarda yüksek miktarda toplanan B'un transpirasyon akım yönündeki ozmatik düzeni bozması ilave edilmiştir (Stagoulis and Reid, 2002; Reid et al., 2004). Bor toksisitesi floem hareketliliğine bağlı olarak türler arasında farklılıklar göstermektedir. Bor toksisite seviyesinde, gövdeden yaprağın en uç kısmına kadar taşınır ve toksisite etkisini bitkide taşıdığı bor en uç bölgeden yani transpirasyonun sonlandığı yerden diğer kısımlara doğru azalma göstermektedir. Bitkilerdeki tipik semptomu; yaşlı yaprak uçlarında ve yaprak kenarlarında yanıklar ve nekrotik, klorotik beneklerdir. Meyvalarda siyah noktalar, kambiyumu oluşturan hücrelerde ve gövdelerde ölüm gerçekleşmektedir (Nable vd., 1997). B toksisitesinin; bitkide ürün kaybının yanı sıra, çok yüksek B seviyelerinde bitki ölümlerine sebep olmaktadır (Khan vd., 1999). Bor toksisitesi, büyüme, gelişme ve membranların geçirgenliği gibi etkilerinin yanında, oksidatif zarara da yol açmaktadır (Ardıç vd., 2009 b).

Floem mobilitisinin az olduğu bitki türlerinde bor, ksilem yoluyla hareket eder ve transpirasyonun hareketinin sonlandığı dokularda birikir. Bor toksisitesi arpa ve buğday yapraklarında önce kenarlarda oluşan ve daha sonra yaprak yüzeyinin çoğunu kaplayan kahverengi lezyonlar, yaprak uçlarında yayılan kloroz ve nekroz semptomları şeklinde kendini gösterir. İlk toksisite belirtileri öncelikle yaşlı yapraklarda gözlenir. Yoğun toksisite halinde; yaprak kılıflarında, gövdelerde, sivri uçlarda ve kılçıklarda kahverengi lezyonlar oluşur. Toksisite, arpa ve buğday bitkilerinde gecikmiş çıkış ve gecikmiş yapraklanmanın yanı sıra gövde yüksekliğinde, kuru madde ağırlığında, 1000 tane ağırlığında, bitki başına başak sayısında ve verimde bir azalmaya neden olmaktadır (Paull vd., 1990). Genel olarak, semptomlar arpada buğdaydan daha belirgindir ve daha erken ortaya çıkar (Yau vd., 1994). Mobilitenin fazla olduğu diğer bitkilerden elma, armut gibi bazı meyva ağaçlarında ise toksisite yaprak uçlarından daha çok transpirasyonun noktalandığı meyva ve taşınımın gerçekleştiği

dokularda ölü hücrelerin oluşmasına sebep olmaktadır. Yapraklarda zamksı bölgeler, genç sürgün ucunun gelişiminin durması, gövde ve petioller boyunca kahverengi mantarsı lezyonlar oluşması gözlenirken, tomurcuklarda da dökülmeler belirlenmiştir (Nable vd., 1997). Benzer şekilde bor fazlalığı mısır, domates, havuç, yoncada gibi bazı tarım bitkilerinde de ürün kaybına neden olmaktadır (Bañuelos vd., 1999)

Bor konsantrasyonu toprak derinliği bağlı olarakta değişiklik göstermektedir. Toprağın alt kısımlarında var olan borun etkinliği artarsa, semptomlar daha geç ortaya çıkar ve verime etkisi daha az olur. Aşırı bor, yaprak alanını, genişliğini veya uzunluğunu etkilemez (Yau vd., 1997). Hidroponik yöntemle yetiştirilen buğday ve arpada genel kök zayıflığı ve yan köklerin büyümesinde azalma belirlenmiştir (Nable, 1988). Bor toksisite semptomlarının şiddeti genotipler arasında değişiklik gösterir, örneğin bor uygulamalarında daha düşük, aynı veya daha yüksek kuru madde ağırlığına sahip olanlar vardır (Torun vd., 2006). Buğday ve arpada hem verim azalması hem de bor toksisitesinin görsel semptomları açısından genotipler arasında önemli değişkenliğin yanı sıra verim azalmasına neden olduğu gözlenmiştir (Yau vd., 1997). Toprakta yüksek bor içeren koşullarda belirgin toksisite semptomları ve yüksek sürgün bor konsantrasyonuna rağmen dayanıklılığa ve kararlı verime sahip genotiplerde vardır (Avcı & Akar, 2005).

B bitkilerde en fazla yaprak ve üreme organlarında bulunurken sırasıyla en az kök, meyva ve tohumlarda bulunmaktadır. Pamuk'ta B miktarını yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona doğru sıralama yapıldığında; en yüksek düzeyde bazal yapraklarda, üst yapraklarda, kabuk bölgesinde, kökte, gövdede ve en az ise odun bölgesinde bulunduğu bildirilmiştir (Zhao & Oosterhuis, 2002). Bor'un yaprakta dağılımında da farklılıklar vardır. Yaprığın en uç bölgesi bor'un en yüksek konsantrasyon da olduğu bölge iken, bunu sırasıyla yaprak kenarları, daha sonra merkezi bölüm ve petiyole yaklaştıkça bor konsantrasyonunda azalma olduğu tespit edilmiştir (Shelp & Brown, 1997). Genel olarak buğdayda bor bitkisinin %68'i yapraklarda, %16'sı köklerde, %10'u başaklarda ve %6'sı da gövdelerde bulunur (Subedi vd., 1999). Saha denemeleri çok sayıda çevresel faktörün etkisi altındadır; ancak kontrollü koşullarda yapılan denemelerin deneysel tasarımı da bor alımını etkiler. Saksı boyutu ve tipi, sıcaklık, sulama rejimi ve uygulanan işlemlerin yoğunluğu kontrollü koşullarda besin alımını etkileyen faktörler arasındadır (De Vries, 1980). Bitkiler kontrollü koşullarda yapılan çalışmalarda, açık alana göre önemli ölçüde daha yüksek miktarda bor alabildikleri durumlar söz konusudur. Yüksek bora toleranslı bitkilerde; deneyin türü, bor ölçüm birimleri, dayanıklılık mekanizmaları, büyüme aşaması ve bitki organı, genotip, tarımsal bitkilerde optimal ve kritik bor konsantrasyonunu etkiler. Tarla-

da yetiştirildiğinde kritik arpa sürgün bor konsantrasyonu 30 ppm olarak belirlenirken, seralarda yetiştirilen birkaç arpa genotipinde 140 ppm'de maksimum verim elde edilmiştir (Cartwright vd., 1986).

Bor yağmurla bitkilerin yapraklarından kolayca süzülür, bor birikimi terlemeden etkilenir; artan su kullanımı koşullarında bitkinin yaprak uçlarındaki bor konsantrasyonu birikimi artır. Aşırı bor, Arabidopsis'te su taşınmasını ve terlemeyi azaltır, bu hareketlilik, bitkinin bora olan toleransının bir mekanizması olarak çalışmaktadır (Macho-Rivero vd., 2018).

Bazı genotipler daha az bor alır veya boru yer değiştirerek dokulardaki yüksek boru tolere edebilirler. 70 makarnalık buğday genotipi incelenmiş, yüksek ve düşük sürgün bor konsantrasyonlarına sahip toleranslı ve hassas genotipler tanımlanmıştır (Torun vd., 2006).

Bitkilerin bora olan toksisite toleransında genotiplerin coğrafi kökeni de etkin olmaktadır. Yüksek toprak bor sorunu olan bölgelerde, çeşitli kökenlere sahip genotipler arasında, gözlenen bora toleranslılık farklılıkları, üreme merkezlerinde bor toleransına yönelik edafik bir adaptasyona bağlı olarak istenmeyen seçilim olarak geliştiği şeklinde açıklanabilirken bu görüş bazı yapılan çalışmalarda doğrulanmaktadır. Bor toksisite denemeleri için Türkiye ve Sırbistan orijinli buğdaylarda (Kalaycı vd., 1998, Brdar-Jokanović vd., 2017) yapılan araştırmalarda; yerel çeşitlerin bor etkisine en çok adapte olan çeşitler olduğu belirlenmiştir. Kuzey Şili'de kurulan denemede 42 tarım bitkisinin çeşitli genotiplerinde büyüme ve verim incelenmiş; bölgedeki tarım arazilerinde yüzyıllar boyunca yüksek bor içeren tuzlu sularla sulanan yerel çeşitlerin diğer genotip çeşitlerine oranla önemli ölçüde iyi verim veren bitkiler belirlenmiştir (Ferreya vd., 1997).

Bitkilerde aynı türde bile bor elementinin eksikliği ile toksisite sınırları arasında farklılıkların gözlenmesinin sebebi ortamda bulunan diğer elementler olabileceği gibi iklim (nem, düşen yağmur miktarı) ve toprak yapısı gibi çevresel etmenler de olabilmektedir (Goldbach et al., 2000).

5. Genel Değerlendirme ve Öneriler

Bor bitkilerde büyüme ve verim üzerinde belirleyici özelliğe sahip mikro besin elementidir. Bitkilerde bor; hücre çeperlerinin yapısını oluşturan pektin ve lignin bileşiklerinin sentezlenmesinde; pektin ve lignin bileşikleri ile kompleksler oluşturarak ince, dayanıklı veya kuvvetli bir hücre çeperinin oluşumunu sağlamasında; şekerlerin sentezinde ve taşınmasında; hücre uzamasında; hücre bölünmesinde ve nükleik asit (RNA ve DNA) metabolizmasında; biyomembranların yapısal ve fonksiyonel özelliklerini kazanmasında ve korunmasında; fenol metabolizmasında; solunum; hormon metabolizmasında; karbonhidrat ve protein metaboliz-

masında gibi geniş bir yelpazede bilinen büyüme ve gelişmeyi düzenleyen olaylar içinde yer almaktadır.

Bor diğer mikro elementlerden farklı olarak, bitkide taşınımı türden türe farklılık gösteren tek elementtir (Shelp and Brown, 1997). Bitki bor konsantrasyonlarına ilişkin yapılan çalışmalara bakıldığında; bitki türlerinde var olan mobilite farklılıkları ve sonucu olarak bor hareketliliğinin çeşitliliği, bitki organlarında örneğin yaprağında farklı konsantrasyonda birikmesi, bitkinin özellikle yaşam evresine bağlı olarak birikim seviyelerindeki değişiklik, toprakta var olan bor konsantrasyonundaki yerine bağlı olarak alınabilir borun bitki için eksikliğinin ve fazlalığının ince bir çizgide yer alması, genotip ve deneysel tekniklerdeki farklılıklar gibi değişimlerin bitkilerde borun etkilerin belirlenebilmesinin ne kadar zor ve aynı çeşitlerde bile çok değişken olduğunun göstergesidir (Nable vd., 1990; Turan vd., 2018).

Bitkilerde bor eksikliği ve toksisitesinin etkilerinin azaltılması için bazı yöntemler uygulanabilir. Bor eksikliği genellikle uygun borlu gübrelere uygulanmasıyla yönetilir. En sık kullanılan uygulama toprak gübrelemesidir, bunun yanında yapraktan ve tohum hazırlama sırasında da gübreleme uygulanabilir. Bor noksanlığın bitkiler üzerindeki etkileri, gübreleme seçim yöntemine, uygulama zamanına, diğer toprak özelliklerine, sıcaklık, neme ve seçilen bitki tür ve genotip verimliliğine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bitkilerde borlu gübreler uygulamaları sadece verim açısından değil bitkinin su yönetimi, klorofil içeriği, ürün verimliliği gibi belirli fizyolojik parametreler açısından da iyileştirmeler olması için yapılmaktadır.

Eksiklik ve toksisite arasındaki dar aralık göz önüne alındığında, eklenen bor dozu her uygulama için dikkatli bir şekilde ayarlanmalıdır (Güneş vd., 2003; Fujiyama vd., 2019). Yüksek bor konsantrasyonuna sahip alanlarda, fazla borun uzaklaştırılması, bora toleranslı bitkilerin tespiti ve ıslahları, transgenetik geliştirilen bitkilerin yetiştirilmesi ile yapılabilir. Borlu toprakların başarılı bir şekilde ıslahında, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlendikten ve uygun prosedürün tespitinden ardından bor içeriği bakımından yetersiz su ile topraklar yıkanabilir. Bu tür uygulamalarda uzun süreli sulamanın, toprak üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabileceği de göz ardı edilmemelidir.

Topraktaki bor miktarını dağılımındaki değişkenlik nedeniyle bir deneme sahasında veya tarla koşullarında yetiştirilen bitkiler de gözlenen etkiler farklılık gösterebilmektedir. Topraktaki bora bu açıdan bakıldığında borun tuza kıyasla daha düşük giderim oranına sahip olduğu, daha derin toprak katmanlarında olası birikimlerin farklılık gösterdiği ve buna bağlı olarak bitki kök bölgesindeki borun değişkenlik gösterdiği, diğer besin

elementleri ile kolaylıkla etkileşime girebildiği ve doğal rezervlerden borun yenilenme olasılığının farklılık gösterdiği bilinmektedir (Nable vd., 1997; Dhassi vd., 2019). Bor ve Ca, S, Zn, Si ve Al gibi diğer elementler arasındaki ilişkiler, ya toprak iyileştirmesi ya da bitkiler üzerindeki toksik etkilerin hafifletilmesi için uygulanabilmektedir (İnal vd., 2009; Turan vd., 2009). Topraktaki aşırı bor miktarını hafifletmede; organik madde ilavesi ve çeşitli bitki büyüme modülatörleri uygulamaları sonuç vermektedir (Esteban vd., 2016). Sulama suyunda bor giderimi için uygun maliyetli yöntemler geliştirmek ve uygulamak, doğada insanların gerek çevre gerekse iklim yönünde yarattığı sorunlar ve etkilerinden bitkilerin daha az zarar görmelerini sağlayacaktır (Wolska & Bryjak., 2013).

Bor etkisinin gözlendiği bitkilerde iyi büyümeyi, kaliteyi, verimi etkileyen koşulların fiziksel iyileştirilmesi için yapılan çalışmaların maliyetleri ve uygulanabilirliği göz önüne alındığında, kullanım verimliliği ve toleransı açısından bor ile ilişkisi tanımlanmış bitki çeşitlerinin belirlenmesinin önemi daha da artmaktadır. Gelecekte bitkilerin bor ile olan ilişkilerini ve işleyişlerini anlamamanın yolu bitki fizyoloji, genetiği gibi bitki biyolojisi ve yetiştirme ortamı ile ilgili yapılacak çalışmaların artırılması ile elde edilecek bulguların ışığında olacaktır. Bu sayede gerek bölgesel, gerekse çevresel değişimleri iyi kavrayıp, dayanıklı bitki gruplarıyla yeni yetiştirme planlamaları yapılması en iyi çözüm önerisi olacaktır.

Kaynaklar

- Abreu, C.A.; Van Raij, B.; de Abreu, M.F.; González, A.P., (2005), Routine soil testing to monitor heavy metals and boron. *Sci. Agric.*, 62, 564-571
- Ardıç, M., Sekmen, A. H., Türkan, I., Tokur, S., & Özdemir, F., (2009 a), The effects of boron toxicity on root antioxidant systems of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Plant and Soil*, 314(1), 99-108
- Ardıç, M.; Sekmen, A. H.; Tokur, S.; Özdemir, F.; Türkan, I., (2009 b). Antioxidant responses of chickpea plants subjected to boron toxicity. *Plant Biology*, 11(3), 328-338
- Avcı, M.; Akar, T., (2005), Severity and spatial distribution of boron toxicity in barley cultivated areas of Central Anatolia and transitional zones. *Turk. J. Agric. For.*, 29, 377-382
- Bañuelos, G.S.; Ajwa, H.A.; Caceres, L.; Dyer, D., (1999), Germination responses and boron accumulation in germplasm from Chile and the United States grown with boron-enriched water. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 43, 62-67
- Bellaloui, N.; Yadav, R.C.; Chern, M.-S.; Hu, H.; Gillen, A.M.; Greve, C.; Dandekar, A.M.; Ronald, P.C.; Brown, P.H., (2003), Transgenically enhanced sorbitol synthesis facilitates phloem-boron mobility in rice. *Physiol. Plant*, 117, 79-84
- Brdar-Jokanović, M.; Zorić, M.; Kondić-Špika, A.; Maksimović, I.; Kobiljski, B.; Kraljević-Balalić, M., (2017), Boron tolerance in wheat accessions of different origin estimated in controlled and field conditions. *J. Agric. Sci. Tech.-Iran*, 19, 345-356
- Brdar-Jokanović, M., (2020), Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21. <https://doi.org/10.3390/ijms21041424>
- Brennan, R.F.; Adcock, K.G. , (2004), Incidence of boron toxicity in spring barley in Southwestern Australia. *J. Plant Nutr.*, 27, 411-425
- Brown P.H. and Hu H., (1998), Boron mobility and consequent management in different crops. *Beter Crops*, 82, 28-34
- Brown P. H., Bellaloui N., Wimmer M. A., Bassil E. S., Ruiz J., Hu H., Pfeiffer H., Dannel F. and Römhelt V., (2002), Boron in Plant Biology. *Plant Biology* 4, 205-223
- Cartwright, B.; Zarcinas, B.A.; Spouncer, L.R., (1986), Boron toxicity in South Australian barley crops. *Aust. J. Agric. Res.*, 37, 351-359
- Cheng, C.; Rerkasem, B., (1993), Effects of boron on pollen viability in wheat. *Plant Soil*, 155, 313-315

- Chormova, D.; Fry, S.C., (2016), Boron bridging of rhamnogalacturonan-II is promoted in vitro by cationic chaperones, including polyhistidine and wall glycoproteins. *New Phytol.*, 209, 241-251
- De Vries, M.P.C., (1980), How reliable are results from pot experiments? *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 11, 895-902
- Dell, B.; Huang, L., (1997), Physiological response of plants to low boron. *Plant Soil*, 193, 103-120
- Dhassi, K.; Drissi, S.; Makroum, K.; Er-Rezza, H.; Amlal, F.; Houssa, A.A., (2019), Soil boron migration as influenced by leaching rate and soil characteristics. A column study, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 50, 1663-1670
- Dzondo-Gadet, M.; Mayap-Nzietchueng, R.; Hess, K.; Nabet, P.; Belleville, F.; Dousset, B., (2002), Action of boron at the molecular level: Effects on transcription and translation in an acellular system. *Biol. Trace Elem. Res.*, 85, 23-33
- Esteban, V.; Pacheco, P.; Tapia, L., (2016), Bastías, E. Remediation of salt and boron-affected soil by addition of organic matter: An investigation into improving tomato plant productivity. *Idesia (Chile)*, 34, 25-32
- Ferreira, R.E.; Aljaro, A.U.; Ruiz, R.S.; Rojas, L.P.; Oster, J.D., (1997), Behavior of 42 crop species grown in saline soils with high boron concentrations. *Agric. Water Manag.*, 34, 111-124
- Fujiyama, B.S.; Silva, A.R.B.; Silva Júnior, M.L.; Cardoso, N.R.P.; Fonseca, A.B.; Viana, R.G.; Sampaio, L.S., (2019), Boron fertilization enhances photosynthesis and water use efficiency in soybean at vegetative growth stage. *J. Plant Nutr.*, 42, 2498-2506
- Gezgin, S., Dursun, N., Hamurcu, M., Harmankaya, M., Önder, M., Sade, B., Topal, A., Soylu, S., Akgün, N., Yorgancılar, M., Ceyhan, E., Çiftçi, N., Acar, B., Gültekin, İ., Işık, Y., Şeker, C. and Babaoğlu, M., (2002), Determination of B contents of soils in Central Anatolian cultivated lands and its relations between soil and water characteristics. *Boron In Plant and Animal Nutrition. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York*, 391-400
- Goldbach, H.E.; Wimmer, M.A.; Findelee, P., (2000), Discussion paper: Boron - How can the critical level be defined? *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 163, 115-121
- Goldbach, H.E.; Wimmer, M.A., (2007), Boron in plants and animals: Is there a role beyond cell-wall structure? *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 170, 39-48
- Güneş, A.; Alpaslan, M.; Inal, A., (2003), Effects of boron fertilization on the yield and some yield components of bread and durum wheat. *Turk. J. Agric. For.*, 27, 329-335
- İnal, A.; Pilbeam, D.J.; Gunes, A., (2009), Silicon increases tolerance to boron toxicity and reduces oxidative damage in barley. *J. Plant Nutr.*, 32, 112-128.

- Jamjod, S.; Niruntrayagul, S.; Rerkasem, B., (2004), Genetic control of boron efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* , 135, 21-27
- Kalaycı, M.; Alkan, A.; Çakmak, I.; Bayramoğlu, O.; Yilmaz, A.; Aydın, M.; Ozbek, V.; Ekiz, H.; Ozberisoy, F., (1998), Studies on differential response of wheat cultivars to boron toxicity. *Euphytica*, 100, 123-129
- Landi, M.; Margaritopoulou, T.; Papadakis, I.E.; Araniti, F. , (2019), Boron toxicity in higher plants: an update. *Planta*, 250, 1011-1032
- Leaungthitikanachana, S.; Fujibe, T.; Tanaka, M.; Wang, S.; Sotta, N.; Takano, J.; Fujiwara, T., (2013), Differential expression of three BOR1 genes corresponding to different genomes in response to boron conditions in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Cell Physiol.*, 54, 1056-1063
- Macho-Rivero, M.A.; Herrera-Rodríguez, M.B.; Brejcha, R.; Schäffner, A.R.; Tanaka, N.; Fujiwara, T.; González-Fontes, A.; Camacho-Cristóbal, J.J., (2018), Boron toxicity reduces water transport from root to shoot in Arabidopsis plants. Evidence for a reduced transpiration rate and expression of major PIP aquaporin genes. *Plant Cell Physiol.*, 59, 841-849
- Mertens, J.; Van Laer, L.; Salaets, P.; Smolders, E., (2011), Phytotoxic doses of boron in contrasting soils depend on soil water content. *Plant Soil*, 342, 73-82
- Mishra, S.; Heckathorn, S.A.; Frantz, J.M.; Krause, C., (2018), The effect of boron availability, CO₂, and irradiance on relative accumulation of the major boron transport proteins, BOR1 and NIP5;1. *Biol. Plant*, 62, 121-128
- Miwa, K.; Takano, J.; Fujiwara, T., (2006), Improvement of seed yields under boron limiting conditions through overexpression of BOR1, a boron transporter for xylem loading, in Arabidopsis thaliana. *Plant J.*, 46, 1084-1091
- Nable, R.O., (1988), Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars: A preliminary examination of the resistance mechanism. *Plant Soil*, 112, 45-52
- Nable, R.O.; Paull, J.G.; Cartwright,, (1990), B. Problems associated with the use of foliar analysis for diagnosing boron toxicity in barley. *Plant Soil*, 128, 225-232
- Nable, R. O., Banuelos, G. S. and Paull, G., (1997), Boron toxicity. *Plant and Soil*, 193, 181-197
- Padbhushan, R.; Kumar, D., (2017), Fractions of soil boron. A review. *J. Agric. Sci.*, 155, 1023-1032
- Paull, J.G.; Rathjen, A.J.; Cartwright, B.; Nable, R.O., (1990), Selection parameters for assessing the tolerance of wheat to high concentrations of boron. In *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*; El Bassam, N., Dambroth, M., Loughman, B.C., Eds.; Kluwer Academic Publisher: Dordrecht, The Netherlands, 361-369

- Paull, J.G.; Cartwright, B.; Rathjen, A.J., (1998), Responses of wheat and barley genotypes to toxic concentrations of soil boron. *Euphytica*, 39, 137-144
- Reid, R. J., Hayes, J. E., Post, A., Stangoulis, J. C. R. and Graham, R. D., (2004), A critical analysis of causes of boron toxicity in plants. *Plant, Cell and Enviroment*, 25, 1405-1414
- Rerkarsem, B. and Jamjod, S., (1997), Boron deficiency induced male sterility in wheat (*Triticum aestivum* L.) and implications for plant breeding. *Euphytica* 96, 257-262
- Shelp, B. J. and Brown P.H., (1997), Boron mobility. *Plant and Soil*, 193, 85-101
- Shireen, F.; Nawaz, M.A.; Chen, C.; Zhang, Q.; Zheng, Z.; Sohail, H.; Sun, J.; Cao, H.; Huang, Y.; Bie, Z. , (2018), Boron: Functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *Int. J. Mol. Sci.*, 19, 1856. <https://doi.org/10.3390/ijms19071856>
- Shorrocks, V.M., (1997), The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant Soil*, 193, 121-148
- Sönmez, O.; Aydemir, S.; Kaya, C., (2009), Mitigation effects of mycorrhiza on boron toxicity in wheat (*Triticum durum*) plants. *N. Z. J. Crop Hort. Sci.*, 37, 99-104
- Stangoulis JCR, Reid RJ., (2002), Boron Toxicity In Plants and Animals. In *H Goldbach, B Rerkasem, M Wimmer, PH Brown, M Thelie, R Bell, eds, Boron in Plant and Animal Nutrition. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands*, 227-240
- Subedi, K.D.; Gregory, P.J.; Gooding, M.J., (1999), Boron accumulation and partitioning in wheat cultivars with contrasting tolerance to boron deficiency. *Plant Soil*, 214, 141-152.
- Takano, J.; Noguchi, K.; Yasumori, M.; Kobayashi, M.; Gajdos, Z.; Miwa, K.; Hayashi, H.; Yoneyama, T.; Fujiwara, T., (2002), Arabidopsis boron transporter for xylem loading. *Nature*, 420, 337-340
- Torun, A.; Yazici, A.; Erdem, H.; Çakmak, I., (2006), Genotypic variation in tolerance to boron toxicity in 70 durum wheat genotypes. *Turk. J. Agric. For.*, 30, 49-58
- Turan, M.A.; Taban, N.; Taban, S., (2009), Effect of calcium on the alleviation of boron toxicity and localization of boron and calcium in cell wall of wheat. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, 37, 99-103
- Turan, M.A.; Taban, S.; Kayin, G.B.; Taban, N., (2018), Effect of boron application on calcium and boron concentrations in cell wall of durum (*Triticum durum*) and bread (*Triticum aestivum*) wheat. *J. Plant Nutr.*, 41, 1351-1357
- Uraguchi, S.; Kato, Y.; Hanaoka, H.; Miwa, K.; Fujiwara, T., (2014), Generation of boron-deficiency tolerant tomato by overexpressing an Arabidopsis

- thaliana borate transporter AtBOR1. *Front. Plant Sci.*, 5, 125. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00125>
- Vera, A.; Moreno, J.L.; García, C.; Morais, D.; Bastida, F., (2019), Boron in soil: The impacts on the biomass, composition and activity of the soil microbial community. *Sci. Total Environ.*, 685, 564-573
- Warington, K., (1923), The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Ann. Bot.*, 37, 629-672
- Wolska, J.; Bryjak, M., (2013), Methods for boron removal from aqueous solutions. A review, *Desalination*, 310, 18-24
- Yau, S.K.; Hamblin, J.; Ryan, J., (1994), Phenotypic variation in boron toxicity tolerance in barley, durum and bread wheat. *Rachis*, 13, 20-25
- Yau, S.K.; Saxena, M.C., (1997), Variation in growth, development, and yield of durum wheat in response to high soil boron. I. average effects. *Aust. J. Agric. Res.*, 48, 945-949
- Zhao, D. and Oosterhuis, D. M., (2002), Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency. *Field Crops Research*, 78, 75-87

Bölüm 9

TİYAZOL TÜREVİ BİLEŞİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE BİYOLOJİK AKTİVİTE ARAŞTIRMALARI

Ayşen IŞIK¹

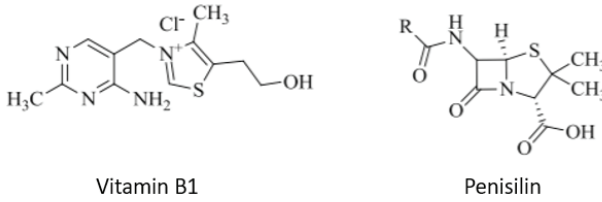
Ahmet KOÇAK²

1 Arş.Gör., Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyokimya Bölümü, Konya/ TR. E posta: isik.aysen@selcuk.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-1280-0019

2 Prof. Dr., Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Konya / TR. E-posta: akocak@selcuk.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-2487-2431

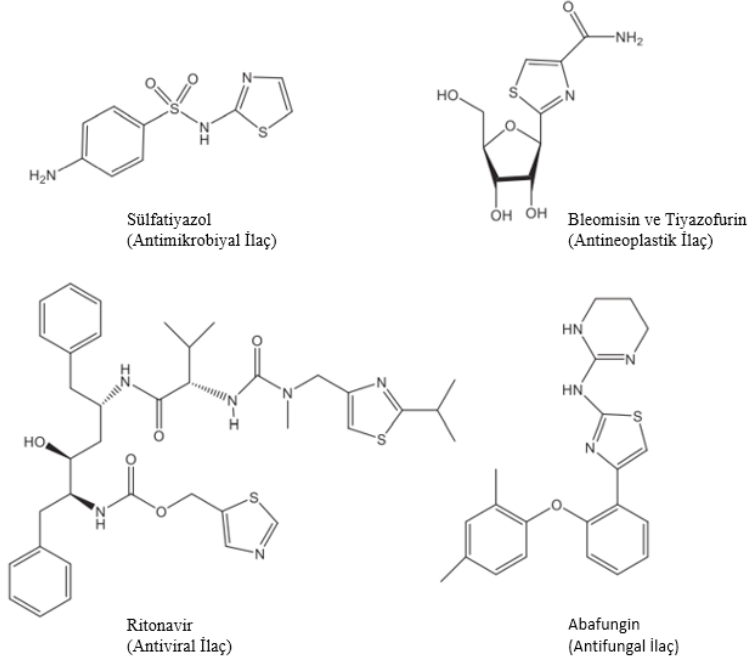
1. Giriş

Organik kimya ve biyokimyanın önemli bir bölümünü oluşturan heterosiklik kimya, halkalı yapısında olan en az bir heteroatom içeren (genellikle azot, oksijen veya kükürt) organik bileşikler kapsamaktadır. Farmasötik açıdan önemli moleküller geliştirmek için keşfedilen çok çeşitli heterosiklik bileşikler arasında tiyazoller tıbbi kimyada önemli bir rol oynamıştır. Tiyazol, C_3H_3NS , sırasıyla 1 ve 3 konumlarında azot ve kükürt içeren beş üyeli moleküler halka yapısına sahip aromatik heterosiklik organik bir bileşiktir (Siddiqui et. al., 2011). Hantzsch ve Weber, α -tiyosiyanoasetonimin yapısı üzerinde yaptıkları çalışmalar sırasında tiyazollerin ilk sentezini bildirdiler (Hantzsch ve Weber, 1887; Weissberger, 1979). Tiyazol, biyolojik öneme sahip birçok doğal üründe yer almaktadır. Örneğin, B1 vitamininde bulunan tiyazol halkası bir elektron havuzu görevi görür ve koenzim formu alfa keto asitlerin dekarboksilasyonu için önemlidir (Qureshi ve Pradhan, 2019). Dahası, tiyazoller sentetik ara ürünlerdir ve çeşitli penisilin türevleri gibi biyolojik olarak aktif bir dizi bileşikte ortak alt yapıları oluşturmaktadır. (Şekil 1.1.)



Şekil 1.1. Tiyazol İçeren Doğal ve Sentetik Bazı Bileşikler

Literatürde tiyazol çekirdeğine sahip bileşiklerin, anti-inflamatuar (Kalkhambkar et. al. 2007), antibakteriyel (Khalil et. al. 2009) ve antifungal (Ghorab & El-Batal, 2002) gibi çeşitli biyolojik aktivitelere sahip olmakla birlikte Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanmış pek çok ilacın yapısında da yer almaktadır (Sukinah & Abdelwahed, 2021). (Şekil 1.2.)

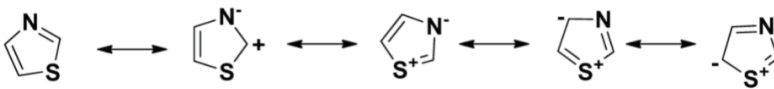


Şekil 1.2. Çeşitli Biyolojik Aktivite Gösteren Tiyazol İçeren Bileşikler (Sukinah & Abdelwahed, 2021)

2. Tiyazollerin Genel Özellikleri

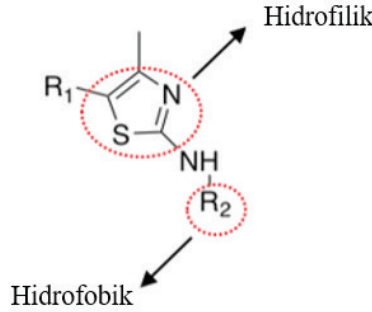
Tiyazoller hem elektron veren (donör) bir grubu (-S-) hem de elektron alan (akseptör) bir grubu (C=N) bünyesinde ihtiva ederek kararlı bir heterosiklik bileşik sınıfını oluşturur (Mishra et. al., 2015). Tiyazol, 116 -118 °C kaynama noktasına sahip berrak uçuk sarı bir sıvıdır (Siddiqui et. al., 2009), alkol ve eterde çözünür, ancak suda orta derecede çözünür (Gupta & Kant, 2013).

Tiyazol molekülünde, N=C-S sistemi halkanın elektronik açıdan önemli merkezini oluşturmaktadır. Tiyazolün heterosiklik halkasında bulunan kükürt atomu (S) eşleşmemiş elektronlarından Huckel kuralına karşılık gelen 6 π elektronun yer değiştirmesini içerir (Khan et.al., 2016). Şekil 2.1.'de tiyazol halka sisteminin rezonans yapıları verilmiştir.



Şekil 2.1. Tiyazol'ün Rezonans Yapıları

Tiyazol türevleri (Şekil 2.2.) hem hidrofobik (lipofilik) hem de hidrofilik (lipofobik) kısımlara sahip olmaları nedeniyle amfifilik bir karaktere sahiptir. Bu özellik, antimikrobiyal inhibisyon aktivitesi için bakterilerin hücre zarına kolayca yayılma potansiyelini artırarak hücre fizyolojisi bozukluğuna ve apoptoza yol açmaktadır (Sharshira & Hamada, 2012).



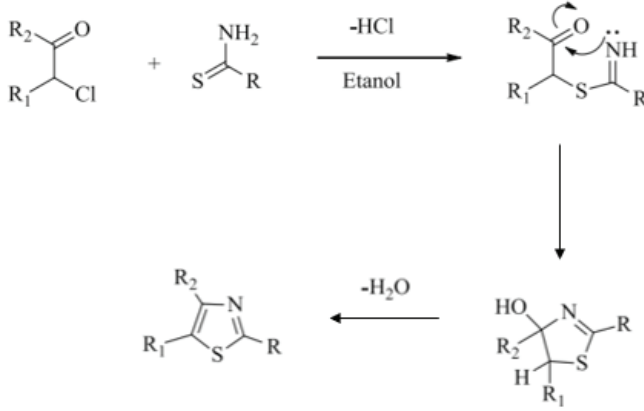
Şekil 2.2. Tiyazol Türevlerinin Yapısı

3. Tiyazollerin Genel Sentez Yöntemleri

Tiyazol türevlerinin araştırılması, bugüne kadar var olan çeşitli uygulamaları nedeniyle yıllar boyunca önemli bir konu olarak ortaya çıkmıştır. Bu bileşiklerin araştırılmasındaki bir diğer etken de, tiyazol türevlerinin basit bir sentez yöntemi ile başlangıç materyalinden iyi bir verimle sentezlenebilmesidir (Grozav et.al., 2014). Tiyazol bileşikleri çeşitli koşullar, katalizörler ve yaklaşımlar uygulanarak pek çok yöntemle sentezlenebilmektedir.

3.1. Hantzsch Yöntemi

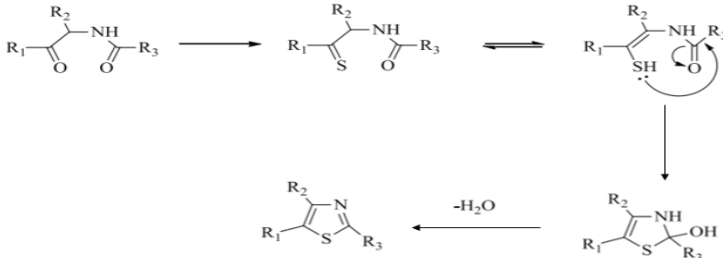
Bu yöntemde, α -haloketonun tiyoamid, tiyoüre, amonyak tiyokarbamat veya ditiyokarbamat türevleri gibi nükleofilik reaktiflerle yoğunlaştırma reaksiyonlarını içerir. Bu şekilde tiyazol halkasının 2-, 3-, 4- veya 5- konumlarına istenilen gruplar bağlanabilmektedir (Mickevičius et.al., 2013).



Şekil 3.1. Hantzsch Tiyazol Genel Sentez Yöntemi

3.2. Gabriel Yöntemi

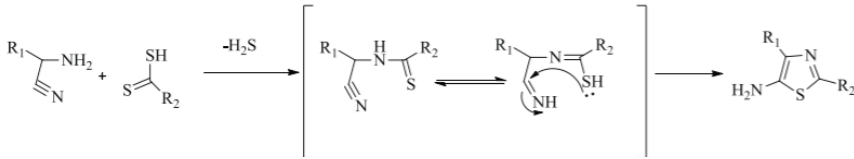
Tiyazol türevlerini sentezlemek için diğer bir yaklaşım da Gabriel sentez yöntemidir. Bu yöntem, açilamino ketonu fosfor pentasülfid ile reaksiyona sokarak 2,5-disübstiüe tiyazol türevlerinin üretilmesi ile tiyazol halkasının kapanmasına odaklanır (Kumar et.al.,2013; Gabriel, 1910a; Gabriel, 1910b).



Şekil 3.2. Gabriel Tiyazol Genel Sentez Yöntemi

3.3. Cook-Heilbron Yöntemi

Cook-Heilbron yöntemi, aminonitrilin tiyoasitlerin, karbon disülfid veya izotiyosiyanatların tuzu ve esterleri ile hafif koşullar altında reaksiyona girerek 5- aminotiyazollerin elde edildiği bir yöntemdir (Cook et.al., 1949).



Şekil 3.3. Cook-Heilbron Tiyazol Genel Sentez Yöntemi

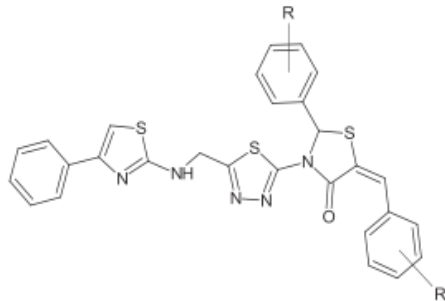
4. Tiyazollerin Biyolojik Aktiviteleri

Biyolojik aktiviteye sahip birçok organik bileşik yapılarında tiyazol molekülünü içermektedir. Tiyazol ve türevleri, geniş aktivite spektrumları ile bilinen en aktif bileşik sınıfları arasında yer almaktadır. Literatürde tiyazol bileşiğine ait antibakteriyel (Waad et.al., 2019), antifungal (Khabnadideh et.al., 2012), antimalaryal (Bueno et.al., 2016), antitüberküler (Andreani et.al., 2001), antiviral (Dawood et.al., 2015), anti -inflamatuar (Sharma et.al., 2015), antidiyabetik (Bozdag-Dundar et. al., 2006), anti-oksidan (Kurt et.al., 2015) ve antikanser (Thoraya et.al., 2020) aktiviteler gösterdiği rapor edilmiştir. Tiyazol üzerinde devam eden araştırmalara bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

4.1. Antimikrobiyal Etkileri

Tiyazol molekülünün penisilin yapısında yer alması ile araştırmacılar tiyazolün antimikrobiyal etki çalışmalarına ağırlık vermişlerdir. Günümüzde klinikte kullanılmakta olan üçüncü kuşak sefepim, seftriakson, sefiksim, seftazimit gibi tiyazol halka sistemi içeren geniş spektrumlu sefalosporinler bulunmaktadır.

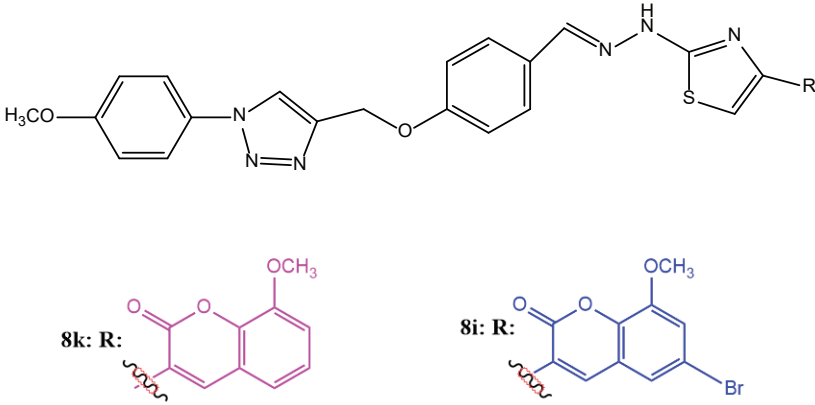
Verna (2011)' nın yapmış olduğu bir çalışmada, 2 amino-4-fenil-1,3 tiyazolden tiazolidin türevlerini sentezlemiş ve ampisilin standart olarak kullanarak Bacillus subtilis, Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Aspergillus niger, Aspergillus flavus ve Candida albicans'a karşı antimikrobiyal aktivite açısından değerlendirmiştir. Sentezlenen bileşiklerin orta ila iyi derecede aktiviteler sergilediğini bildirmişlerdir (Şekil 2.6.)



Şekil 4.1. Antimikrobiyal Etkili Tiyazol Türevlerinin Genel Gösterimi

Patels ve ark. (2015), çeşitli spirotiyazolinon heterosiklik bileşiklerini sentezlemiş ve karakterize etmiştir. 4-(4-(6,7-dihidrotieno[3,2-c]piridin-5(4H)-ilsülfonil)fenil)-1-tiya-4-azaspiro[4.5]dekan-3-on türevi bileşikler antimikrobiyal aktiviteleri açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, sentezlenen bileşiklerin heterosiklik halkalarının sayısı arttıkça, daha yüksek antimikrobiyal aktivitelere sahip olduğu gözlenmiştir.

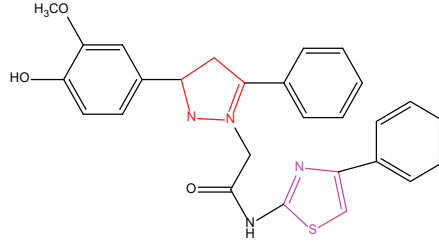
Gondru ve ark. (2021)' nın yapmış olduğu bir başka çalışmada ise yeni bir dizi triazol-tiyazol hibritleri sentezlenmiş ve in vitro antimikrobiyal aktivite değerlendirilmiştir. Test edilen bileşiklerin çoğu, 2,8 ila 15.7 μM aralığında değerlerle bakteri suşlarına karşı umut verici inhibitör aktivite sergilediği bildirilmiştir. 8i-8l ve 8r bileşikleri, 5.9–14.2 μM aralığında spektrum değerleriyle çeşitli Candida suşlarına karşı potansiyel Candida aktivitesi gösterirken, 8i, 8k ve 8l bileşiklerinin Bacillus'a karşı sırasıyla 6.6, 16.6 ve 15.9 μM IC_{50} değerleriyle biyofilm oluşumunu engellediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. Antimikrobiyal Etkili Tiyazol Türevlerinin (8a-r) ve Etkili Bileşiklerin (8i ve 8k) Genel Gösterimi

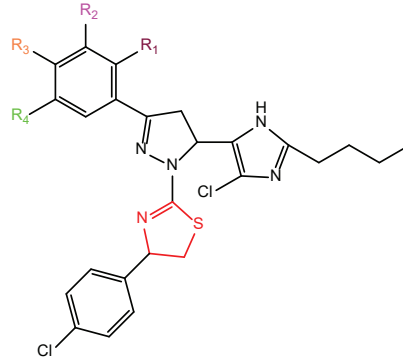
4.2. Antifungal Etkileri

Saravanan ve ark. (2010) nın yapmış olduğu çalışmada, 2-hidrazinil-N-(4-feniltiyazol-2-il)asetamidin ikinci pozisyonundaki pirazol sübstitüentlerinin katılmasıyla yeni tiyazoller sentezlenmiştir. Hedef bileşikler antifungal Aspergillus niger ATCC 9029 ve Aspergillus fumigatus ATCC 46645 açısından taranmıştır. Sentezlenen bileşikler arasında 2-(5-(4-hidroksi-3-metoksifenil)-3-fenil-4,5-dihidropirazol-1-il)N-(4 feniltiazol-2-il) asetamid en yüksek antifungal aktivite gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Antifungal Etkili 2-(5-(4-hidroksi-3-metoksifenil)-3-fenil-4,5-dihidropirazol-1-il)N-(4-feniltiazol-2-il)asetamid Bileşiği

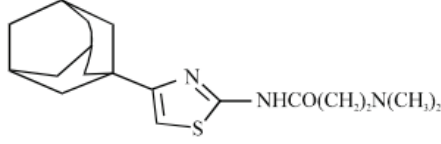
Bir başka çalışma, Dawane ve ark. nın (2010) yapmış olduğu antifungal ve antibakteriyel etkili türevlerin sentezlendiği çalışmadır. 1-(4-(4'-klorofenil)-2-tiyazolil)-3-aril-5-(2-bütil-4-kloro-1H-imidazol-5il)-2-pirazolin türevleri, uygun şalkonların 4(4'-klorofenil)-2-hidra-zino-tiyazol ile polietilen glikol içinde sentezlenmiş ve standart olarak tetrasiklin kullanılarak antibakteriyel ve antifungal aktivite açısından test edilmiştir. Bileşikler, güçlü antifungal ve antibakteriyel aktiviteler sergilediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. Antifungal Etkili Tiyazol Türevi Bileşiklerin Genel Gösterimi

4.3. Anti-inflamatuvar Etkileri

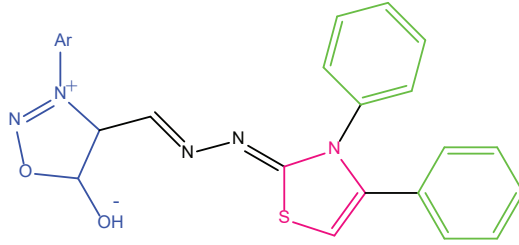
Kouatly ve ark. (2009), tiyazol halkası ile sübstitüe edilmiş amitle-rin bir dizi adamantan türevi sentezlenmiş ve anti-inflamatuvar aktivitenin yanı sıra lipoksijenaz ve sikloksijenaz inhibitör etkileri değerlendirilmiştir. Hedef bileşiklerden 25 no.lu bileşiğin en güçlü aktivite gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.5. *Anti-inflamatuvar Etkili Tiyazol Türevi Bileşiklerin Genel Gösterimi*

4.4. Antioksidan Etkileri

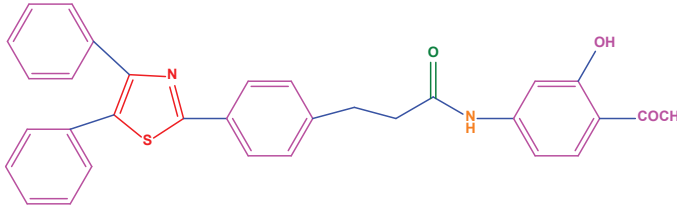
Shih ve ark. (2004), çeşitli tiyosemikarbazonları etil-2-kloroasetat, etil kloroasetat ve 2-Bromo asetofenon ile siklizasyonu yoluyla sidno-nil-süstitüe tiyazolidindionları/ tiyazolinleri sentezlemişler ve antioksidan aktiviteleri açısından değerlendirmiştir. Sonuç olarak, sentezlenen tüm bileşiklerin vitamin E ile karşılaştırılabilir derecede güçlü 1,2-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) radikal süpürme aktivitesi sergilediği bulunmuştur.



Şekil 4.6. *Güçlü Antioksidan Etkili Tiyazol Türevi Bileşiklerin Genel Gösterimi*

4.5. Antitüberküler Etkileri

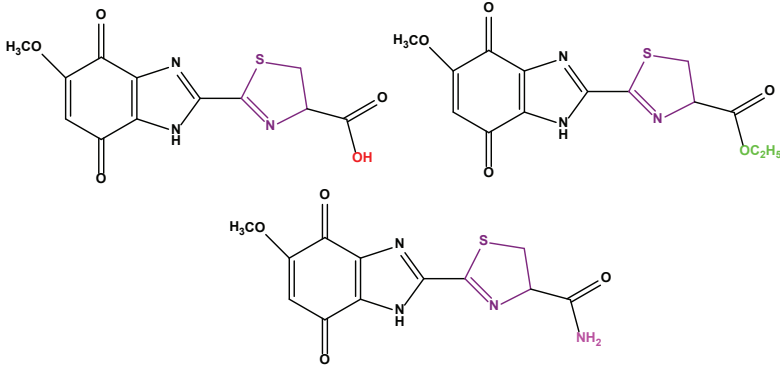
Pattan ve ark. (2007), bir dizi yeni 5-[1-(4-(4-süstitüe-fenilamino)-meth-(z)-iliden]-tiyazolidin-2,4-dion türevlerini sentezlemişler ve hedef bileşikleri antitüberküler aktiviteleri açısından değerlendirmişlerdir. Hedeflenen bileşiklerin umut verici antitüberküler aktivite gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.7. *Antitüberküler Etkili Tiyazol Türevi Bileşiklerin Genel Gösterimi*

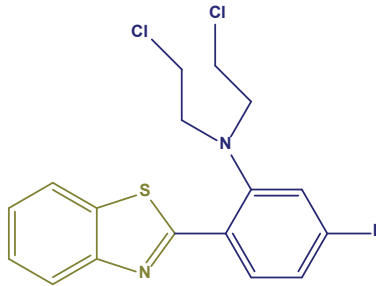
4.6. Antikanser Etkileri

2,3-diamino-1,4-dimetoksibenzen ve metil trikloroasetimidat reaksiyonu ile tiyazolilbenzimidazol-4,7-dionların sentezi Garuti ve ark. (2001), tarafından rapor edilmiştir. Sentezlenen bileşikler miyeloid lösemi hücre hattı (K562) ve eritrolösemi hücre hattı (SW620) olmak üzere iki hücre hattına karşı antiproliferatif aktivite açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak bileşikler Doksorubisine oranla iyi derecede aktivite sergilemiştir.



Şekil 4.8. Antikanser Etkisi Test Edilen Etkili Tiyazol Türevleri

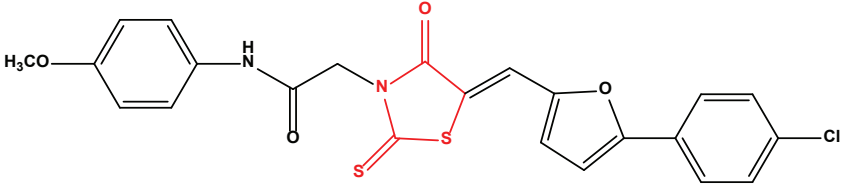
Kini ve ark. (2007), o-aminofenolleri polifosforik asit varlığında süstitüe benzoik asit ile daha yüksek sıcaklıkta aril süstitüe benzotiyazoller sentezlemişler ve insan rahim ağzı kanseri hücre hatlarına karşı değerlendirmişler.



Şekil 4.9. İnsan Rahim Ağzı Kanser Hücre Hattına Karşı Etkili Tiyazol Türevi Bileşik

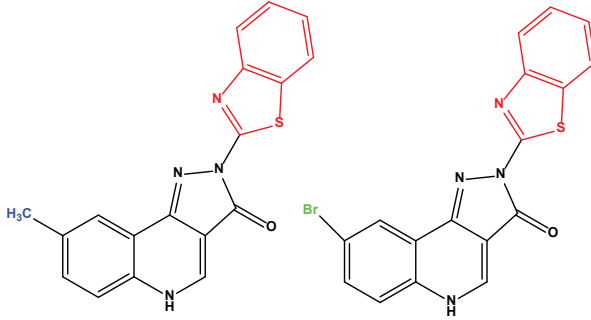
Chandrappa ve ark. (2009), 2-(5-((5-(4-klorofenil)furan-2-il)metilen)-4-okso-2-dioksotiyazolidin-3-il) asetik asit türevlerinin sentezini ve sitotoksik aktivitelerinin değerlendirilmesini rapor etmiştir. Fenil halkasının C-terminalinde elektron veren gruplara sahip bileşiklerin hücre ölümünü indükleyerek aktivitede artışa neden olduğu, elektron çeken gruplara (CN, F, CF₃) sahip bileşiklerin ise düşük aktivite gösterdiğibelirlenmiş-

tir. Bileşik 18, elektron veren metoksi grubuna atfedilebilecek en belirgin sitotoksiteyi sergilediği için en güçlüsü olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.10. Antikanser Etkili Tiyazol Türevi Bileşik 18'in Yapısı

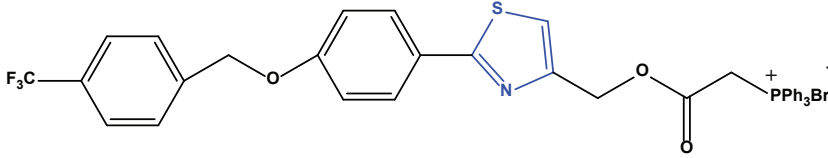
Vasconcelos ve ark. (2011), bir dizi yeni 2-(benzo[d]tiyazol-2-il)-8-süstitüe-2H-pirazolo[4,3-c]kinolin-3(5H)-on bileşiklerini sentezlemiş ve sentezlenen tüm türevler dört hücre hattına (MDA-MB-435 (meme), 4L-60 (lösemi), HCT-8 (kolon), SF-295 (CNS)) karşı in vitro antiproliferatif aktiviteler açısından değerlendirilmiştir. Standart bileşik olarak doksorubisin kullanılmıştır. Sonuç olarak, 2-{benzo[d]tiyazol-2-il)-8-metil-2H-pirazolo[4,3-c]-kinolin-3[5H]-on} ve 2-{benzo[d] tiyazol-2-il)-8-bromo-2H-pirazolo[4,3-c]kinolin-3[5H]-on} bileşiklerinin iyi sitotoksite sergilediği belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Antikanser Etkisi Test Edilen Etkili Tiyazol Türevleri

Dang ve ark. (2021), ise bir dizi TPP-tiyazol türevi sentezlemişler ve hedef bileşikler üç kanser hücre hattında (HeLa, PC3 ve MCF-7) değerlendirmişlerdir. Bileşiklerin büyük bölümünün etkili bir şekilde üç kanser hücre hattını da inhibe ettiğini ortaya çıkarmışlardır. Bu arada, sitotoksitesi seçimli türevlerin HeLa hücrelerinin enerji üretimi üzerindeki engelleyici etkisini değerlendirmek için bir ATP üretim inhibisyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, test edilen bileşiklerin kanser hücrelerinin ATP üretimini önemli ölçüde sınırladığını göstermiştir. Dahası, bileşikler

için SAR ilişkileri araştırılmış ve daha fazla araştırma için en umut verici bileşik R13 (5.52 μM 'lik IC_{50} -Hela Hücre Hattında) belirlenmiştir. Genel olarak, kanser hücrelerine karşı önemli sitotoksikite sergileyen ve mitokondriyal enerji üretimini etkili bir şekilde inhibe eden bir dizi bileşik sentezlenmiş ve antikanser sonuçlar literatüre kazandırılmıştır.



Şekil 4.12. Antikanser Etkisi Test Edilen Etkili Tiyazol Türevi R13 Bileşiğinin Yapısı

5. Sonuç

Tiyazol ve türevlerinin geniş biyolojik aktivite sergilediğine dayalı var olan mevcut literatür araştırmaları tiyazolu önemli bir heterosiklik bileşik sınıfı haline getirmiştir. Yapılan bu çalışmada da, tiyazol ve türevlerinin antimikrobiyal, antifungal, antiinflamatuvar, antioksidan, antitüberküler ve antikanser etkileri gösterilmiştir. Tiyazol bileşiği üzerindeki modifikasyonlarının değiştirilerek bir dizi yeni bileşiklerin elde edildiği ve aktivitedeki olası iyileştirmelerin tiyazol türevleri üzerinde hangi kumandan elde edileceği de ayrıca söz konusu çalışmada açıklanmıştır.

Tiyazol molekülü çeşitli heterosiklik sistemlerle birleştirilerek biyolojik aktiviteyi arttıran çeşitli yeni heterosiklik sistemlerin önünü de açmaktadır. Bu bağlamda, tiyazol türevlerinin yeni nesil biyolojik ajan olarak aktif bileşikler arasında güçlü bir potansiyel aktivite göstereceği bir gerçektir. Dolayısıyla tiyazol ve türevlerinin gelecekte çeşitli hastalıklara karşı daha güçlü terapötik ajanlar olarak kullanılabileceği araştırmalara devam edilmelidir.

6. Kaynaklar

- Andreani, A., Granaola, M., Leoni, A., Locatelli, A., Morigi, R., Rambaldi, M. (2001). Synthesis and antitubercular activity of imidazo[2,1-b]thiazoles. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 36(9), 743-746.
- Bozdag-Dundar, O., Ceylan-Unlusoy, M., Verspohl, E.J., Ertan, R. (2006). Synthesis and antidiabetic activity of novel 2,4-thiazolidinedione derivatives containing a thiazole ring. *Arzneimittel-Forschung/Drug Research*. 56(9), 621-625.
- Bueno, J.M., Carda, M., Crespo, B., Cunat, A.C., de Cozar, C., Leon, M.L, et al. (2016). Design, synthesis and antimalarial evaluation of novel thiazole derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 26(16), 3938-3944.
- Chandrappa, S., Kavitha, C.V., Shahabuddin, M.S., Vinaya, K., Anandakumar, C.S., Ranganatha, S.R., Raghavan, S.C., Rangappa, K.S. (2009) Synthesis of 2-(5-((5-(4-chlorophenyl)furan-2-yl)methylene)-4-oxo-2-thioxothiazolidin-3-yl)acetic acid derivatives and evaluation of their cytotoxicity and induction of apoptosis in human leukemia cells. *Bioorg. Med. Chem.*, 17, 2576.
- Dang, X., Lei, S., Luo, S., Hu, Y., Wang, J., Zhang, D., Lu, D., Jiang, F., Fu, L. (2021). Design, synthesis and biological evaluation of novel thiazole-derivatives as mitochondrial targeting inhibitors of cancer cells. *Bioorganic Chemistry*, 114, 105015.
- Dawane, B. S.; Konda, S. G.; Mandawad, G. G.; Shaikh, B. M. (2010). Synthesis and in vitro antimicrobial activity of some new 1-thiazolyl-2-pyrazoline derivatives. *Eur. J. Med. Chem.*, 45, 387.
- Dawood, K.W., Eldebss, T.M., El-Zahabi, H.S., Yousef, M.H. (2015). Synthesis and antiviral activity of some new bis-1,3-thiazole derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 18(102), 266-276.
- Garuti, L., Roberti, M., Pession, A., Leoncinic, E., Hreliac, S. (2001). Synthesis and Antiproliferative Activity of Some Thiazolylbenzimidazole-4,7-diones. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 11, 3147-3149.
- Ghorab, M.M., El-Batal, A.I. (2002). Synthesis of some new thiazole derivatives antifungal activity and ultrastructure changes of some mycotoxin producing fungi, *Boll Chim Farm*, 141(2), 110-7.
- Gondru, R., Kanugala, S., Raj, S., Kumar, G., Pasupuleti, M., Banothu, J., Bavan-tula, R. (2021). 1,2,3-triazole-thiazole hybrids: Synthesis, in vitro antimicrobial activity and antibiofilm studies. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 33, 127746.
- Grozav, A., Găină, L. I., Pileczki, V., Crisan, O., Silaghi-Dumitrescu, L., Therrien, B., Zaharia, V. and Berindan-Neagoe, I. (2014). The synthesis and antiproliferative activities of new arylidene-hydrazinyl-thiazole derivatives. *International Journal of Molecular Sciences*, 231(15), 22059- 22072.

- Gupta, V. and Kant, V. (2013). A review on biological activity of imidazole and thiazole moieties and their derivatives. *Science International*, 1, 253-260.
- Hantzsch, A.R., Weber, J.H. (1887). Ueber Verbindungen des Thiazols (Pyridins der Thiophenreihe). *Dtsch. Chem. Ges.*, 20, 3118-32.
- Kalkhambkar R.G., Kulkarni G.M., Shivkumar, H., Nagendra Rao, R. (2007). Synthesis of novel triheterocyclic thiazoles as anti-inflammatory and analgesic agents. *Eur J Med Chem*, 42(10), 1272-1276.
- Khabnadideh, S., Rezaei, Z., Pakshir, K., Zomorodian, K., Ghafari, N. (2012). Synthesis and antifungal activity of benzimidazole, benzotriazole and aminothiazole derivatives. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 7(2), 65-72.
- Khalil, A.M., Berghot, M.A., Gouda, M.A. (2009). Synthesis and antibacterial activity of some new thiazole and thiophene derivatives. *Eur J Med Chem*, 44 (11), 4434-4440.
- Khan, K. M., Qurban, S., Salar, U., Taha, M., Hussain, S., Perveen, S., Hameed, A., Ismail, N. H., Riaz, M. and Wadood, A. (2016). Synthesis, in vitro α -glucosidase inhibitory activity and molecular docking studies of new thiazole derivatives. *Bioorganic Chemistry*, 68, 245-258.
- Kini, S., Swain, S., Gandhi, A. (2007). Synthesis and Evaluation of novel Benzo-thiazole Derivates against Human Cervical Cancer cell lines. *Ind J Pharm Sci.*, Jan-Feb, 46-50.
- Kouatly, O., Geronikaki, A., Kamoutsis, C., Hadjipavlou-Litina D., and Eleftheriou, P. (2009). Adamantane derivatives of thiazolyl-N-substituted amide, as possible non-steroidal anti-inflammatory agents. *Eur. J. Med. Chem.*, 44, 1198-1204.
- Kumar, S. V., Parameshwarappa, G. and Ila, H. (2013). Synthesis of 2,4,5-trisubstituted thiazole via lawesson's reagent mediated chemoselective thionation-cyclization of functionalized enamides. *The Journal of Organic Chemistry*, 78(14), 7362- 7369.
- Kurt, B.Z., Gazioglu, I., Sonmez, F., Kucukislamoglu, M. (2015). Synthesis, antioxidant and anticholinesterase activities of novel coumarylthiazole derivatives. *Bioorganic Chemistry*, 59, 80-90.
- Mickevičius, V., Voskienė, A., Jonuškienė, I., Kolosej, R., Šiugždaitė, J., Venskutonis, P. R., Kazernavičiūtė R., Brazienė, Z. and Jakienė, E. (2013). Synthesis and biological activity of 3- [phenyl(1,3-thiazol-2-yl)-amino] propanoic acids and their derivatives. *Molecules*, 18(12), 15000- 15018.
- Mishra, C. B., Kumari, S. and Tiwari, M. (2015). Thiazole: A promising heterocycle for the development of potent CNS active agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 92, 1- 34.
- Patel, P.N., Patel Y.S. (2015). Synthesis and some novel transformations of a spiro 4-thiazolinone derivative and its antimicrobial activities. *Cogent Chem*, 1048558.

- Pattan, S., Alagwadi, K., Bhat, A., Reddy, V., Pattan, J., Khade, A., Bhat, K. (2007). *Ind Drugs*, 45(7), 532-535.
- Qureshi, A., Pradhan, A. (2019). Short Review on Thiazole Derivative. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 9(4-A), 842-847
- Saravanan, G., Alagarsamy, V., Pavitra, T.G.V., Kumar, G.C. and Savithri, Y. (2010). Synthesis, characterization and antimicrobial activities of novel thiazole derivatives. *Int. J. pharma Bio. Sci.*, 1, 1-8.
- Sharma, R.N., Xavier, F.P., Vasu, K.K., Chaturvedi, S.C., Pancholi, S.S. (2009). Synthesis of 4-benzyl-1, 3-thiazole derivatives as potential anti-inflammatory agents: An analogue-based drug design approach. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 24(3), 890-897.
- Sharshira, E. M. and Hamada, N. M. M. (2012). Synthesis, characterization and antimicrobial activities of some thiazole derivatives. *American Journal of Organic Chemistry*, 2(3), 69-73.
- Shih, M. H.; Ke, F. Y. (2004). Syntheses and evaluation of antioxidant activity of sydnonyl substituted thiazolidinone and thiazoline derivatives. *Bioorg. Med. Chem.*, 12, 4633.
- Siddiqui A., Kumar A., Ahsan W., Azad B. (2011). Diverse biological activities of thiazoles: A Retrospect. *International journal of drug development and research*, 3(4), 55-67.
- Siddiqui, N., Arshad, M. F., Ahsan, W. and Alam, M. S. (2009). Thiazoles: A valuable insight into the recent advances and biological activities. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 1(3): 136-143.
- Sukinah, H.A. & Abdelwahe, R. S. (2020). Review of the synthesis and biological activity of thiazoles. *Synthetic Communications*, 51(5), 670-700.
- Thoraya, A.F., Ghada, S.M., Zeinab, A.M., Marwa, F.H. (2020). Discovery of thiazole-based-chalcones and 4-hetarylthiazoles as potent anticancer agents: Synthesis, docking study and anticancer activity. *Bioorganic Chemistry*, 98, 103761.
- Vasconcelos, T., Raissa, R., Azevedo, E. C., Maria, C. D., Vitor, F. F., Montenegro, R. C., Ana, J. A., Claudia, P., Leticia, C. L., Manoel, M., Jose, F., Alessandra, D., Natasha, D., Carlos, R. (2011). Synthesis and anticancer activities of some novel 2-(benzo[d]thiazol-2-yl)-8-substituted-2H-pyrazolo[4,3-c]quinolin-3(5H)-ones, *Eur. J. Med. Chem*, 46, 1448.
- Verma, S. (2011). *Int. J. Pharma. Res. Develop*, 2, 73.
- Waad, D.A., Mahmoud, E.H., Shahenda, M.M., Abdulmalik, A., Hussein S., El-Sayed E.H. (2019). Antibacterial, antibiofilm and molecular modeling study of some antitumor thiazole based chalcones as a new class of DHFR inhibitors. *Microbial Pathogenesis*, 136, 103674.

Bölüm 10

EKSTREMOFİLİK FUNGUSLAR

Serap KÖKCÜ

Nermin SARIGÜL

EKSTREMOFİLİK ÇEVRELERDE YAŞAM

Ekstremofilik funguslar, en zor çevre koşullarında hayatta kalmak ve büyümek için savaştan ökaryotik organizma gruplarıdır. Yüksek ve düşük sıcaklıklar, UV varlığı, düşük su aktivitesi, tuzluluk, pH, mikro besin, CO₂ konsantrasyonu gibi çevresel stres faktörleri, fungusların fizyolojisini ve metabolik yollarını etkileyen önemli faktörlerdir (Magan, 2007).

Küresel ısınma, insanlarca gerçekleştirilen endüstriyel faaliyetler sonucu iklim değişiklikleri kesin olarak kabul edilmektedir. En önemlisi küresel ısınmanın sonuçları her geçen yıl daha da belirginleşmektedir. İklim değişikliklerinde 2014 yılına göre 2016-2035 yılları arasında sıcaklıkta ciddi artışlar olacağı ve bu artışların 21. yüzyılın sonlarında daha da ekstrem sıcaklıklar olacağı öngörülmektedir (IPCC, 2014). Okyanus sıcaklıklarında artış, deniz seviyelerinin yükselmesi, buzullardaki büyük çapta erimeler, iklim değişikliğinin belirtilerini temsil etmektedir (Alfanzo ve Botana, 2015).

Her ekstremofilik fungingin adaptasyon sağladığı bir ekstrem çevre koşulu bulunmaktadır. Gezegenimiz ekstrem koşullardaki yaşam için önemli fırsatlar sunmaktadır; yüksek ve düşük sıcaklıklar, yüksek tuz konsantrasyonları, asidik ve bazik koşullar ve toksik ortamlar bu ekstrem koşullardandır (Gostincar vd., 2010). Ökaryotikler için zorlu olan bu stresli koşullar meydana gelebilecek fungi çeşitliliğini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca evrimsel süreçlerinde gerçekleşen adaptasyonları üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Ekstremofilik funguslar stres adaptasyonu konusunda başarılı ökaryotik mikroorganizmalardır ve bu adaptasyonla alakalı olarak başarılı örnekler bulunmaktadır. Aşırı soğuk, kuru, tuzlu, asidik ve derin deniz habitatlarında uzmanlaşmış funguslar keşfedilmiştir. Evrimsel çalışmalar sonucunda da ekstremofilik fungusların değişen ve daha çok gelişen stres koşullarına olan uyumları daha net bir şekilde anlaşılmaktadır (Alleaume-Benharira vd., 2006; Johannesson ve Andre, 2006).

Ekstrem Sıcaklıklarda Funguslar

Yüksek Sıcaklıklar

Sıcaklık, yeryüzündeki mikroorganizmaların hayatta kalması, büyümesi, dağılımı ve çeşitliliğini belirleyici olarak rol oynayan son derece önemli bir çevresel değişkendir. Her türün kendine özgü biyolojik sistemlerinin çalıştığı sıcaklık aralıkları bulunmaktadır. Türün optimum gelişme sıcaklığı dışındaki sıcaklık değişimleri, türlerin biyolojik süreçlerinde anormalliklere yol açabilmektedir. Çevresel sıcaklıktaki dalgalanmalar, belirli türlerde çeşitli korunma mekanizmaları geliştirmeye sebep olmaktadır (Vigh vd., 2005; Kim vd., 2006; Balogh vd., 2013).

Genel olarak sıcaklığı seven mikroorganizmalara termofiller denir. Termofilik mikroorganizmalarda, 70-80°C'nin üzerinde yaşam faaliyeti gösterebilen mikroorganizmalar gözlenmiş olsa da- arkeler ve öbakteriler gibi-funguslar, bu sıcaklık aralıklarında büyüme gösteremezler (Blöchl vd., 1997). Mikrofloranın ana bileşenlerinden olan termofilik funguslar, 20°C ve üzerinde asgari büyüme sıcaklığına sahip olup, 60 ila 62°C'ye kadar uzanan maksimum büyüme sıcaklıkları olan küçük bir topluluktur. Termofilik funguslar, 45°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaşam faaliyeti gösteren ökaryotik organizmaların temsilcileridir. Diğer tüm türlerde olduğu gibi termofilik funguslarda de optimum büyüme sıcaklığının üst sıcaklıklarına çıkıldığı zaman büyümelerini sınırlayan mekanizmalar devreye girmektedir (Cooney ve Emerson, 1964).

Termofilik funguslar literatürlerde farklı isimlendirmelerle sunulmuştur. Örneğin çoğu literatürde *Thermomyces lanuginosus* olarak isimlendirilen termofilik funginin ilk başlarda kullanılan ismi *Humicola lanuginosa* 'dır. Farklı isimlendirmeler yapıldığı gibi termofilik funginin anamorf veya telemorf ismi de kullanılmaktadır. Örneğin *Sporotrichum (Chrysosporium) thermophile*, *Myceliophthora thermophila* olarak da kullanılmıştır. Termofilik fungusların birkaç eş anlamlı olarak kullanılan isimleri vardır ve her grubun optimum gelişim sıcaklığı farklıdır. *Humicola insolens*, *H. grisea* türleri olan *H. thermoidea*, veya *Torula thermophila* şimdilerde *Scytalidium thermophilum*'u temsil etmektedir. Bu türler kompost toprağından izole edilmiştir (Straatsma ve Samson, 1993).

İlk bilinen termofilik funguslardan olan *Mucor pusillus* ekmekten izole edilmiştir. *Thermomyces lanuginosus* bahçe toprağından izole edilmiş olan başka bir termofilik fungi türüdür (Tsiklinskaya, 1899). Bu izole edilen türlerden sonra bulundukları biyolojik ortam şartlarını ve ortamda bulunan organik maddeyi kullanarak, kendi kendine ısınma yaptığı gözlenmiştir (Miehe, 1907). Bu gözlemlerle birlikte termofilik fungusların bulunduğu ortamın ısınmasına sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Kendi kendine ısınmaya sebep olan termofilik fungusların ilk izole edilenleri; *Mucor pusillus*, *Thermomyces lanuginosus*, *Thermoidium sulfureum* ve *Thermoascus aurantiacus* ' tur. Başlangıçta ortamda bulunan saprofitik, mezofilik mikrofloranın ekzotermik reaksiyonları sonucu sıcaklık 40°C'ye yükselir. Böylece ısınmış olan ortam sonucunda termofiliklerin sporları gelişmeye başlar ve bu sıcaklık sporların çoğalmasına yardımcı olur. Termofil mikroflora, mezofil mikroflorayı aşar ve böylece ortam sıcaklığı 60°C ve üzerine ulaşabilmektedir (Miehe, 1907).

Termofilik funguslar taksonlar üzerinden incelendiğinde; Termofilik *Mucorales*'in çalışılmış alt türleri vardır. Bunlar: *Rhizomucor pusillus* türü *Rhizomucor miehei* ile karıştırılmıştır. İki tür de büyüme sıcaklıkları aynı olan termofillerdir. *Rhizomucor miehei* form olarak daha uzun yan dallara-

ra sahiptir ve daha gevşek gelişim göstermektedir. Morfolojileri, fizyolojik ayrımları ve dağılımlarının hesabı Domsch vd., tarafından yapılmıştır (1980). *Rhizomucor pakistanicus*, Pakistan da izole edilmiş bir türdür. Bu tür rizoidlerinin varlığı ile ayırt edilmiştir. Morfolojik özellikleri nedeniyle *Rhizomucor pusillus*'in eş anlamlısı olarak düşünülmüştür (Schipper, 1979). *Rhizomucor variabilis* ve *R. regularior* kutanöz insan hastalığı ajanını temsil eden başka bir termofilik *mucor* türleri olarak belirlenmiştir (Zheng & Chen, 1993). *Rhizomucor nainitalensis*, diğer *rhizomucor* türlerinden farklı olarak değişen şekillerde ve boyutlarda sporangiospor üretmektedir ve 48°C'de çok iyi gelişim göstermektedir (Joshi, 1982). *Rhizomucor tauricus*, diğer termofilik *mucor* türlerinden sporangioforlarının daha şişkin olmasıyla ayırt edilmektedir. Sporulasyonu 24-55°C'de gerçekleşirken gelişimi 21°C'de yavaş gerçekleşir ve 57°C'de tamamen durmaktadır (Schipper, 1978). *Thermomucor indicae-seudaticae* türleri yumuşak zigospor oluşturmaktadır ve zigosporları kaba duvarlıdır (Subrahmanyam vd., 1977).

Termofilik *Ascomycota*'nın çalışılmış alt türleri vardır. *Canariomyces thermophile*, angular siyah hücrelere sahip, düzensiz fırlatılan ascileri bulunmaktadır. 45°C'de gelişen koloniler gözlenmekle beraber maksimum ve minimum büyüme sıcaklıklarına ait veri gözlenmemiştir (Guarro vd., 1988). *Chaetomium britannicum*, vazo şeklinde askokarplara sahip olan termofilik fungidir ve kahverengi askosporlara sahiptir. Bu türün 47°C'de gelişimi gözlenmiştir (Ames, 1963). *Chaetomium mesopotamicum*, oval ve kahverengi askosporlara sahiptir ve bu tür 30-52°C arasında gelişim göstermektedir (Abdullah ve Zora, 1993). *Chaetomium thermophilum*, globoz ve subgloboz olmak üzere iki farklı şekilde büyüme paterni göstermektedir ve bu termofil fungus koyu kahverengi askospor oluşturmaktadır (Arx vd., 1986). *Chaetomium virginicum*, sarı ve kahverengi askosporlara sahiptir ve bu termofil fungusin *Chaetomium thermophilum*'un sinonimi olduğu düşünülmektedir (Arx vd., 1986). *Coonemeria* ve alt türlerinde kırmızı ve sarı-kahverengi duvarlı askosporlar üretmektedir. *Dactylomyces thermophiles*, 38°C'de izole edilen termofilik askomycettir (Apinis ve Chesters, 1964). *Coonemeria* grubu içinde bulunan *Dactylomyces crustaceus*'in optimum büyüme sıcaklığı 40°C olarak gözlenmiş, 60°C'nin üzerinde gelişimi gözlenmemiştir. Olgun kolonilerinin turuncu renkte olduğu gözlenmiştir (Cannon vd., 1985; Eriksson ve Hawksworth, 1993). *Coonemeria aegyptiaca*, Mısır'da izole edilmiştir, en iyi 40°C'de gelişim gösterdiği gibi 25-55°C sıcaklık aralıklarında gelişmektedir ve askosporları kırmızımsı kahverengidir. Askosporları elipsoidal şekilde olduğu için kolayca ayırt edilebilmektedir. Sıcaklığın artmasıyla askosporlarda değişiklikler olur ve subgloboz şekle bürünür (Ueda ve Udagawa, 1983). *Coonemeria verrucosa*'nın, 40°C'de oluşturduğu yüzeysel askosporlar, seyrek konidio-

forlarla karıştırılmaktadır. Optimum büyüme sıcaklığı 30-40°C arasındadır ve minimum büyüme 20-25°C arasında gerçekleşmektedir (Yaguchi vd., 1995). *Corynascus novoguineensis*, *Myceliophthora* anamorflarını üretmektedir ancak bu termofil funginin maksimum büyüme sıcaklığı 40°C iken anamorflarından olan *Myceliophthora fergusii* 'nin optimum büyüme sıcaklığı 55°C'dir (Oorschot, 1980). *Talaromyces thermophiles*, *Penicillium* 'un anamorfik olan tek termofil türüdür ve yeşil konidia üretmektedir. En hızlı büyüme gösterdiği sıcaklıklar 45-60°C arasındadır (Pitt, 1979). *Thermoascus aurantiacus*, 30°C'den başlayarak 62°C'ye kadar gelişim gösterebilen güçlü bir termofil olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca büyümeleri 45°C'de optimum olarak gözlenmiştir (Domsch vd., 1980; Chen ve Chen, 1996). *Thermoascus aurantiacus*, minimum büyüme sıcaklıkları 31°C iken, maksimum büyüme sıcaklıkları 61°C, optimum büyüme sıcaklıkları da 49-50°C olarak gözlenmiştir (Marcy vd., 1984). *Thielavia australiensis*, 35-40°C'de optimum büyüme sıcaklığı, maksimum büyüme sıcaklığı ise 50°C olan elipsodiyal askospor üreten termofilik funguslardır (Marcy vd., 1984). *Thielavia australiensis*, Avustralya'dan izole edilmiş olan bu termofilik funginin optimum büyüme sıcaklığı 35-40°C, maksimum büyüme sıcaklığı ise 50°C'dir, ancak minimum büyüme sıcaklığı belirlenmemiştir (Arx vd., 1988). *Thielavia pingtungia*, optimum gelişim 40°C'de gözlenirken, maksimum büyüme sıcaklığının 50°C olduğu gözlenmiştir (Silva ve Hanlin, 1996).

Termofilik *Hyphomycetes* 'in çalışılmış alt türleri vardır. *Acremonium thermophilum*, gelişimi çok iyi olan termofilik bir tür olmasına rağmen 20°C'de ve 47°C'de oldukça yavaştır. Optimum büyüme sıcaklığı 25-40°C arasındadır (Gams ve Lacey, 1972). *Humicola hyalothermophila*, 28 veya 55°C'de gelişim göstermezken, en iyi gelişim 45°C'de gözlenmiştir (Moubasher vd., 1979). *Myceliophthora hinnulea*, optimum büyüme 40-45°C arasında gerçekleşirken, azami büyüme 20 °C ve 50 °C'de gerçekleştirilmektedir (Awao ve Udagawa, 1983). *Scytalidium indonesicum*, 45°C'de çok iyi büyüeyebilen termofilik fungi olarak belirlenmiştir (Straatsma ve Samson, 1993). *Thermophymatospora fibuligera*, optimum büyüme ve sporulasyonu 35-40°C'de gerçekleşirken, 20°C'de gelişim gözlenmemiştir (Udagawa vd., 1986). *Thermomyces ibadensis*, minimum büyüme sıcaklıkları 31-35°C, optimum büyüme sıcaklığı 42-47 °C iken maksimum büyüme sıcaklıkları 60-61 °C'dir (Apinis ve Eggins, 1966). *Thermomyces stellatus*, optimum büyüme sıcaklığı 40 °C olarak belirlenirken, 24 °C de büyüme yavaştır ve 50 °C'de gelişim gözlenmemiştir (Bunce, 1961).

Yüksek sıcaklıkların ekstrem çevre koşulu olduğu gibi düşük sıcaklıklarda ekstrem çevre koşuludur. Düşük sıcaklıkları seven mikroorganizma gruplarına psikrofiller denir. Psikrofilik mikroorganizmaların derin denizlerde gelişebilen türleri -1 ila 4 °C arasında, buzul habitatlarda -5 °C'de,

Arktik ve Antarktik bölgede gelişebilen türleri (kış aylarında) -1 ila -35 °C arasındaki sıcaklıklarda faaliyet gösterebilmektedir. Ancak mikrofungal biyoçeşitlilik hakkında az bilgi bulunmaktadır (Singh vd., 2004).

Düşük Sıcaklıklar

Aşırı soğuk bölgelerde fungi çeşitliliği hakkında çok fazla bilgi edinilememiştir. Düşük sıcaklıklar buz kristallerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla düşük sıcaklığın yanısıra ortamda düşük su aktivitesi de olmaktadır. Bu iki faktör soğuk bölgelerdeki mikrobiyal biyotayı etkileyen baskın faktörlerdir. Aşırı soğuk ortamlarda aktif mikrobiyal büyüme buz oluşumunun etkisi altındadır (Gunde-Cinerman vd., 2003).

Arktik ve Antarktik bölgelerde son 10 yılda psikrofil bakteriler, arkeler, az da olsa algler için çalışmalar yapılmıştır (Abyzov, 1993; Vishniac, 1993; Nienow and Friedman, 1993; Broady, 1993; Ma vd., 1999). Son zamanlarda ise fungusların her ekstrem çevrede araştırılmaları yapılmaktadır. Buzul habitatlarda su kristalleşmeye başladığı zaman dışarı iyonlar atılır. Bu iyonlar sayesinde sudaki iyon konsantrasyonunda artış gözleendiği gibi su aktivitesinde düşüş gözlenmektedir (Gunde-Cinerman vd., 2003).

Kutup bölgelerinde gerçekleşen atmosferik dolaşım, daha düşük enlemlerde hava kütlesi değişimlerine sebep olur. Karasal toz ve çökeltilerde taşınan mikroorganizmalar, yağın kardan oluşan buzun içine gömülmektedir. Bu nedenle oluşan buz, uzak çevreden gelen mikroorganizmaların birkmesini sağlayan bir ortamda olduğu için doğal bir hava örneklem aracı olarak kabul edilmektedir. Ayrıca taşınan partiküller sayesinde birikme gerçekleşen buzda organik madde, kum tabakaları ve diğer katmanları içerebilmektedir (Abyzov, 1993; Ma vd., 1999). Buz kütleleri mikroorganizmanın uzun süreli korunması için mükemmel bir matris olarak kabul edilmektedir. Bu uzun süreli koruma, hem çağdaş hem de eski mikrobiyal çeşitliliğin incelenmesine ortam oluşturmaktadır. Buzul habitatta bulunan mikroorganizmalar, ılıman ve tropikal bölgeden gelen mikroorganizmalara göre sayıca fazla olduğu gözlenmiştir. Çünkü psikrofiller, bölgeye özgü habitat adaptasyonu sonucu ekstrem koşulda yaşamını devam ettirebilmektedir (Ma vd., 1999).

Buz yapı modelleri, buz kristallerinin etrafında oluşan sıvı kanallar hakkında fikir vermektedir. Buzdan kaynaklanan tuzluluktan dolayı, buzda mikro seviyelerde kaymaların olmasına sebep olmaktadır. Buzda gömülü olan sedimentler ve kriyokonit delikler etrafında ince sıvı su filmleri oluşmaktadır. Bu oluşan sıvı su filmlerinin buzda aktif mikrobiyal büyümenin gerçekleşmesi için potansiyel mikroniklerin olduğu bildirilmiştir (Reeve vd., 2002; Filip vd., 1995; Sawstrom vd., 2002; Wharton vd., 1985). Minimal seviyede bulunan sudan dolayı buzul çevre düşük su aktivitesine sahiptir. Bu durumda psikrofilik funginin düşük sıcaklıkla baş ettiği gibi su-

suzluk stresiyle de karşı karşıya olduğu halde gelişim gösterdiği ve sürekli bir kolonizasyonunu sürdürdüğü gözlenebilmektedir (Ma vd., 1999). Buzdan izole edilen türlerde ortak paylaşımların olduğu gözlenmiştir. Buzun yapısındaki tuzluluk türlerde hem iyonik hem de kuraklık stresi yaratırken, düşük sıcaklığa bağlı olarak ozmotik stres gözlenmektedir (Gunde-Cinerman vd., 2003).

Donma, su emiliminin ve iletiminin azalmasına sebep olduğu için hücresel dehidrasyona yol açmaktadır. Buna karşılık yüksek tuzluluk ozmotik dengesizliklere sebep olmaktadır. Tuzlu ortamlara maruz kalan fungi kendini koruma amaçlı uyumlu çözücü (compatible solute) birikimi yapar. Çevresel etki olan kuruma ve yüksek tuzluluğun oluşturduğu streten dolayı fungi, bu fiziksel streslere tepki olarak uyumlu çözücülerini biriktirmektedir. Üretilen uyumlu çözücüler; molekül ağırlığı düşük olan polioller veya trehalozlardır. Dehidrasyon hasarına karşı korumayla, uyumlu çözücülerin hücre içi birikiminin korele olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, fungal türlerde kuraklığa, yüksek tuzluluğa ve soğuğa karşı direnç arasında bir ilişki olduğu düşünülmektedir (Gunde-Cinerman vd., 2003).

Ekstrem soğuk habitat olarak gösterilen ortamlarda- permafrost (Golubev, 1998; Vishniac, 1993; Nienow ve Friedman, 1993; Broady, 1993; Soinam vd., 2000), su (Broady ve Weinstein, 1998; Botha ve Wolfaardt, 2000), kar (Abyzov, 1993) ve buzul (Abyzov, 1993; Reeve vd., 2002; Ma vd., 1999)-hakim olan taksonların *Cladosporium* ve *Aerobasidium* olduğu ve bunlara ek olarak *Penicillium* türlerinin olduğu gözlenmiştir (Gunde-Cinerman vd., 2003). Derin deniz dipleri de psikrofil funguslar için uygun bir habitatır. Bu bölgelerdeki funguslar de soğuğa adaptasyon sağlamışlardır. Bu düşük sıcaklığa sahip olan habitatlarda, önceleri birçok mikroorganizma gurubunun araştırılmasına eğilim gösterilmişken, daha sonralarda funguslar üzerine yapılan araştırmalar artmıştır. Böylece bilinen tür sayısı da bilinen ölçüde artmıştır (Möller ve Dreyfuss 1996, Robinson 2001, Blanchette vd., 2004, Arenz vd., 2006, Connell vd., 2006, Held vd., 2006, Malosso vd., 2006, Duncan vd., 2008, Onofri vd., 2008, Selbmann vd., 2008, Arenz ve Blanchette 2009, Jurgens vd., 2009). Derin deniz diplerinde yapılan araştırmalar sonucu psikrofil olarak belirlenen fungi türleri bulunmaktadır. Bunlar; *Mucor strictus*, *Phoma herbarum*, *Humicola marvinii*, *Pseudogymnoascus destructans*, *Sclerotinia borealis*, *Microdochium nivale*, *Coprinus psychromorbidus* ‘tur (Schipper 1967, Dejardin & Ward 1971, Traquair ve Smith 1982, Richard vd., 1997, Hsiang vd., 1999, Tronsmo vd., 2001, Singh vd., 2006, Gargas vd., 2009, Hoshino vd., 2003, Anupama vd., 2011, Minnis & Lindner 2013).

Psikrofilik olarak tanımlanan türler arasında mayalardan da birkaç tür belirlenmiştir. Örneğin; *Mrakia frigida*, 15°C ve 4°C’ de iyi gelişim göstermiştir, ancak 20°C’de gelişimi çok yavaştır (Margaret 1966). *Mrakia*

psychrophila, Antartika topraklarından izole edilmiş bir türdür ve 10°C optimal gelişim sıcaklığı olarak gözlenmiştir (Xin ve Zhou 2007). *Mrakiella cryoconiti*, *M. aquatica* ve *M. niccombsii* türleri Alp ve Arktik habitatlardan izole edilmiştir. Bu türlerin 20°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda gelişim gösteremediği gözlenmiştir (Margesin ve Fell 2008, Robin vd., 2010). Yine Antarktik bölgeden izole edilen bazı filamentöz funguslar ve mayalar bulunmaktadır. Bunlar; *Penicillium antarcticum*, Atlantik okyanusu ve Danimarka'da kaydedilen *Cryptococcus adeliensis*, *Cryptococcus albidosimilis* ve *Cryptococcus antarcticus*'tur (Vishniac ve Kurtzman, 2002).

Antarktik kıtada hakim olan psikrofilik fungi türlerinin %0.6'sını raporlanan çalışmada, çevrede *Chytridiomycota*, *Zygomycota*, *Ascomycota* ve *Basidiomycota* filumlarının bulunduğunu belirtilmiştir. Bu izolasyon yapılan Antarktik bölgede farklı alanlardan substrata ait olarak kaydedilen türler bulunmaktadır: *Thelebolus microsporus*, *Cryptococcus vishniacii*, *Geomyces pannorum* (Onofri vd., 2004). Antarktik bölgeden izole edilmiş türlerin çoğu anamorfiktir. Funguslar, anamorfik olup gelişimlerini daha basit bir hale getirmektedirler. Bunun sebebi; yaşam döngülerini, daha kısa sürede ve yüksek metabolik faaliyetler olmadan sonlandırabileceği için, seksüel döngüden vazgeçmeleridir. Antarktik bölgelerden izole edilen anamorf türlerin yanında istisna olan türlerde vardır, *Thelebolus globosus* ve *T. ellipsoideus* gibi (Hoog vd., 2005). *Arthrobotrys ferox*, yosun üzerinden, *Torulopsis psychrophila* ve *Phoma herbarum*, kuş dışkısından, *P. Herbarum*, iskelet kalıntılarından, *Acremonium antarcticum* ve *A. psychrophilum*, likenler üzerinden, *Hormoconis resinae*, petrol döküntüleri üzerinden, *Dacrymyces* ve *Exidia*, ağaç kalıntılarından izole edilen türler olarak raporlanmıştır (Sharma, 2004).

Kuzey yarım kürede, *Pythium iwayamai*, *Microdochium nivale* -pink snow molds- (sinonim: *Fusarium nivale*), *Sclerotinia borealis* (sinonim: *Myriosclerotinia borealis*), *Coprinus psychromorbidus*, *Typhula incarnata*, ve *T. ishikariensis* (sinonim: *T. idahoensis*). *Phacidium infestance*, *P. abietis*, ve *Racodium therryanum* psikrofilik fungusları raporlanmıştır. Psikrofil fungusların, Hoshino ve arkadaşları tarafından izole edilenleri besiyerlerine inkübasyonları yapılarak gelişim sıcaklıkları belirlenmiştir (Hoshino vd., 2009).

Fungusların belirli türleri çok dar sıcaklık aralıklarında çalışmaktadır. En uygun aralığın dışındaki sıcaklıklarda fungusların biyolojik süreçlerinde anormallikler meydana gelmektedir. Ortam sıcaklığındaki dalgalanmalar, funginin metabolik faaliyetlerini düşük veya yüksek sıcaklıkta çalışmaya yöneltmektedir. Termofilik funguslar, yüksek ısıya maruz kalma durumunda ısı şoku tepkisi vermektedir. Bu tepki membrandaki lipid kompozisyonunun değişimi olarak gözlenmiştir (Vigh vd., 2005; Kim vd., 2006, Balogh vd., 2013). Membranda sıcak şok proteini (HSP) üretimi gerçekleşmektedir (Richter ve diğ., 2010). Termofilik funguslarda yüksek

sıcaklıkta membran fosfolipidlerindeki doymuş yağ asidi oranının arttığı, psikrofilik funguslarda, düşük sıcaklıklarda membran fosfolipidlerindeki doymamış yağ asidi oranının arttığı gözlenmiştir (Wright vd.,1983). Termofilik funguslarda membran lipidlerindeki doymuş-doymamış yağ asitlerinin enzim aktiviteleri oksijen varlığı ile de ilişkilendirilmiştir. Sıcaklık arttıkça ortamdaki oksijen miktarı azalıp karbondioksit miktarı artmaktadır. Karbondioksitteki artış doymuş yağ asidinin artmasına sebep olmaktadır (Sumner ve Morgan, 1969). Termofilik funguslarda çözünebilir proteinler hızlı bir şekilde parçalanabilmektedir. Bu enzim/protein devrinin hızlı olmasının funginin sıcaklıktan korunması için bir araç olduğu düşünülmektedir (Miller vd.,1974). Termofilik funguslar ekstrasellular enzim üretmektedirler örneğin; sellulaz, ksilanaz (Kaur vd.,2004), glukozamylaz (Singh ve Satyanarayana, 2003) ve fitaz (Singh ve Satyanarayana, 2009) gibi. Bu ekstrasellular enzimleri konformasyonel yapısını korumak amacıyla üretmektedir. Termofil funguslar üreme yapılarını da korumaktadırlar. Askokarp, peridya, askospor, konidya gibi yapılarının hücre duvarlarında melanin birikimi yapmaktadır, böylece yoğun bir pigment haline gelen fungi yapısı korunmaktadır. Ayrıca melanin, atmosferik nemin olumsuz koşullarından da fungi hücrelerini korumaktadır (Singh vd.,2015).

Düşük sıcaklıklar, kimyasal reaksiyonları yavaşlatmaktadır, su viskozitesini arttırmaktadır, proteini denatüre etmektedir ve suyun nispi geçirgenliğini arttırmaktadır. Böylece yükler arasındaki çekim kuvveti azalmakta ve proteinler olumsuz etkilenmektedir (Russell, 1990; Mazur, 1980). Psikrofil funguslar üreme yapılarını ve hücrelerini koruyabilmek için şeker alkollerini ve glikojen ile birlikte bulunan trehaloz depolamaktadır (Thevelein, 1984; Lewis ve Smith, 1967). Düşük sıcaklıklarda ortamdaki su aktivitesinin düşmesinden dolayı psikofilik fungusların turgor basıncından korunmak için gliserol ve mannitol konsantrasyonlarını arttırdıkları düşünülmektedir (Cooke ve Whipps, 1993). Psikrofil funguslarda sıcaklığın düşmeye başladığı durumlarda membrandaki doymamış yağ asidi miktarı artmaktadır (Kerekes ve Nagy, 1980). Psikrofil funguslarda ekstrasellular ve intrasellular olarak üretilen antifriz proteinleri vardır. Bu proteinlerin, fungusların eksi sıcaklıklarda bile aktif olmasını sağladığı ve kristalleşme meydana geldiğinde buzlaşmayı yavaşlattığı düşünülmektedir. Ayrıca bu proteinlerin donma çözülme sırasında funginin yaşamını sürdürebilmesini sağladığı ve hiflerin donmasını önlediği düşünülmektedir (Snider vd., 2000). Psikrofil fungusların soğuktan korunma mekanizmalarından bir tanesi de soğuk aktif enzim üretmesi olduğu düşünülmektedir (Cairns vd., 1995).

Düşük Su Aktivitesinde Yaşayabilen Ekstremofilik Funguslar

Düşük su aktivitelerinde gelişim gösterebilen mikroorganizmalara kserofiller denir. Kserofil canlılar 0.85 veya daha düşük olan su aktivitelelerinde gelişim gösterebilmektedir (Pitt, 1975). Bu mikroorganizmalar düşük

su aktivitelerinde metabolik faaliyetlerini sürdürebilmek için kendilerine özgü fizyolojik mekanizmalar geliştirmişlerdir. Ortamdaki su aktivitesini membranlarında bulunan ozmosensörlerle algılayarak, ozmotik basınçlarını dengelemektedirler (Andrews ve Pitt, 1986). Düşük su aktivitelerinde gelişebilen mikroorganizmalar halofiller, kserofiller, ozmofiller vb. olarak tarif edilmektedir (Pettersson ve Leong, 2011). Halofilik mikroorganizmalar, hem yüksek tuz konsantrasyonlarına, hem ozmotik basınca hemde iyon toksiditesine direnç gösterebilen mikroorganizmalardır. Kserofilik funguslar yüksek tuz ve şeker konsantrasyonlarının olduğu ekstrem koşullarda da gelişebilme konusunda uzmanlaşmışlardır. Kserofilik mikroorganizmaların en kserofilik olarak bilineni 0.61 su aktivitesinde yaşayabilen *Xeromyces bisporus* adındaki fungi olarak tanımlanmıştır (Pitt ve Christian, 1968). *Xeromyces bisporus*, yüksek şeker konsantrasyonu olan ürünlerden izole edilmektedir. Bu tür, üreme döngüsünü 0.67 su aktivitelerinde tamamlayabilmektedir (Pitt ve Hocking, 2009). *Chrysosporium inops*, *C. xerophilum* ; *Xeromyces bisporus*'un yakın akrabalarıdır. Ancak bu akrabaların, düşük su aktivitesi olan ortamlarda *Xeromyces bisporus* gibi rekabet edebilecek kadar dayanıklı türler olmadıkları gözlenmiştir (Magan ve Lacey, 1984).

Kserofilik fungusların kendilerini koruma mekanizmaları benzerlik göstermektedir ve bu benzerliğin osmotik basıncın değişimi durumunda hücre içinde compatible solute biriktirmesi olduğu saptanmıştır (Brown ve Simpson, 1972).

Kserofilik funguslar farklı su aktivitelerinde gelişim gösterebilmektedir. Örneğin; *Penicillium brevicompactum*, *P. chrysogenum*, *Penicillium implicatum* gibi *Penicillium* türleri ve *Eupenicillium cinnamopurpureum* 0.80 su aktivitesi altındaki değerlerde gelişim gösterebilmektedir (Hocking ve Pitt, 1979; Pitt ve Hocking, 2009). Birçok *Penicillium* türü 0.80-0.85 su aktivitesi değerleri arasında uygun sıcaklık ve pH koşullarında diğer kserofilik türlere göre -*Aspergillus* gibi- iyi gelişim ve rekabet gösterebilmektedir (Hocking, 2009). *Aspergillus* türleri arasında en kserofilik olarak tanımlanan tür *Aspergillus restrictus*'tur (Peterson, 2008). *Aspergillus restrictus* ve *Aspergillus penicillioides*, kserofilik fungusları en iyi 0.91-0.93 su aktivitesinde gelişim gösterebilirken, 0.73 su aktivitesine kadar yaşayabilmektedir (Andrews ve Pitt, 1987). *Aspergillus candidus*, beyaz konidialarıyla ayırt edilen kserofilik fungi türüdür ve bu tür düşük oksijen gerilimlerine karşı en toleranslı tür olarak bildirilmiştir. %0.45 oranındaki oksijen varlığında bile yaşayabilmektedir. *Aspergillus candidus*, kojik asit; *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* aflatoksin adı verilen toksinleri üreten kserofilik funguslar olarak belirlenmiştir (Pettersson ve Leong, 2011). *Aspergillus niger*, *Aspergillus carbonarius*, *Aspergillus japonicus* ve *Aspergillus aculeatus* gibi siyah konidialı kserofilik funguslar düşük pH'larda (pH:2.0) gelişim gösterebildiği gibi *Aspergillus ochraceus*, *As-*

pergillus westerdijikiae ve *Aspergillus steynii* gibi koyu sarı konidialı kserofilik funguslar da düşük pH'larda (pH:2.2) gelişim gösterebilmektedir (Frisvad vd.,2007). *Aspergillus* anamorfları olan *Eurotium* türleri de bir diğer kserofilik fungi grubudur. *Eurotium amstelodami*, *Eurotium chevalieri*, *Eurotium repens* ve *Eurotium rubrum*, minimum 0.70-0.72 su aktivitelerinde gelişim gösterebilmektedir. Bu türler aynı zamanda hipersalin sulardan izole edildikleri için halofilik kserofiller olarak tanımlanmıştır (Burtinar vd.,2005). *Chrysosporium* türleride çeşitli kserofilik funguslara sahip olan gruptur. *C. fastidium*, *C. farinicola*, *C. inops* ve *C. xerophilum*, krem rengi veya gri renkte kolonilere sahip olan 0.71-0.66 su aktitesinde gelişim gösterebilen kserofilik funguslar olarak tanımlanmıştır. Soliter ascileri ile ayırt edilebilen bir tür olan *Eremascus*, kserofilik olarak iki tür içermektedir: *Eremascus albus*, *E. fertilis*. *Eremascus albus* 0.70 su aktivitesinde büyüeyebilen ve yüksek su aktivitelerinde yaşayamayan bir tür olarak tanımlanmıştır (Pettersson ve Leong, 2011).

Kserofilik olarak tanımlanan diğer mikroorganizma türleri halofilik mikroorganizmalardır. Kristal tuz, yaşam formlarının çoğuna karşı ekstrem koşullar olarak kabul edilse de ekstremofiller tarafından uygun koşullardır. Yüksek tuz konsantrasyonları, diğer iyonların yüksek konsantrasyonları, ultraviyole ışınlar, ekstrem pH değerleri, halofilik mikroorganizmaların uyum sağlayabildiği doğal yaşam ortamları olarak kabul edilmektedir (Gunde-Cimerman vd., 2000). Tuzlu sulardan izole edilen mikrobiota verileri şu şekilde yayınlamıştır: meristematik melanize maya benzeri funguslar ve *Cladosporium* cinsinin farklı ilgili türleri (Gunde-Cimerman vd., 2000; Butinar vd., 2005; Zalar vd., 2007), melanize edilmemiş mayalar (Butinar vd., 2005), filamentli *Wallemia*, *Scopulariopsis* ve *Alternaria* (Gunde-Cimerman vd., 2005; Zalar vd., 2005), *Aspergillus* ve *Penicillium* cinslerinin farklı türleri ve teleomorfik türleri olan *Eurotium*, *Emericella* ve *Petromyces* (Butinar vd., 2005). *Ascomycota*'nın ana halofilik elemanları *Capnoidiales*, *Dothideales* ve *Eurotiales*'dir (Wollenzien vd., 1995; Selbmann vd., 2005). Arktik bölge buzullarından izole edilen baskın halofilik fungi türleride bulunmaktadır (*Hortaea werneckii*, *Phaethotheca triangularis*, *Trimmatostroma salinum*) (Gunde-Cimerman vd., 2003).

Ökaryotik mikroorganizmalardan *Saccharomyces cerevisiae* tuz toleransı için en çok incelenen mikroorganizma türü olmuştur. 1.2 M tuz konsantrasyonlarında gelişim gösterebilen *Saccharomyces cerevisiae* de tuz koşullarına karşı herhangi bir adaptasyonun olmadığı, ancak tuza karşı duyarlı olmadığı gözlenmiştir (Serrano 1996). *Debaryomyces hansenii*, *Hortaea werneckii* ve *Wallemia ichthyophaga* gibi halofilik fungusların *Saccharomyces cerevisiae*'ye göre daha uygun funguslar olduğu düşünülmektedir. Bu funguslar 5.2 M tuz konsantrasyonlarına kadar gelişim gösterebildikleri gözlenmiştir (Zalar vd., 2005).

En halofilik tür olarak belirlenen *Wallemia ichthyophaga*'nın da 5.2M tuz konsantrasyonunda gelişim gösterebildiği gözlenmiştir (Zalar vd., 2005). *Wallemia* cinsi genetik ve morfolojik farklılık olarak üç tür içermektedir: *Wallemia ichthyophaga*, *Wallemia muriae* ve *Wallemia sebi* (Zalar vd., 2005). Bu üç tür de yüksek tuz konsantrasyonlarında yaşayabildiği gibi yüksek şeker konsantrasyonlarına da adaptasyon göstermektedir (Samson vd., 2002). *Wallemia ichthyophaga*, henüz tam olarak tanımlanamamış, mikotoksinlerin hepsinde mevcut olan hemolitik aktiviteye sahip bir metabolit ürettiği farkedilmiştir (Gunde-Cimerman vd., 2009).

Düşük su aktivitesinde yaşam faaliyetlerini sürdürebilen funguslar, bulunduğu ekstrem koşuldan korunabilmek adına çeşitli mekanizmalar geliştirmişlerdir. Ortamdaki su aktivitesi ile hücre içi dengeyi sağlayabilmek için compatible solute birikimi yapmaktadırlar ve bu birikimi hücre içinde gerçekleşen DNA replikasyonu, protein sentezi gibi fonksiyonları inhibe etmeden gerçekleştirmektedirler (Brown ve Simpson, 1972). Düşük su aktivitelerinde faaliyet gösteren funguslar en uyumlu çözücü olarak gliserolü tercih etmektedirler (Magan 1997). Yakın ilişkili iki maya olan *Zygosaccharomyces rouxii* ve *Saccharomyces cerevisiae*, ortamdaki su aktivitesinin düşmesine yanıt olarak gliserol birikimi yapmaktadırlar. İki maya türü de bu birikimi farklı mekanizmalarla gerçekleştirmektedir. *Saccharomyces cerevisiae*'nin sentezlediği gliserol büyüme ortamına su aktivitesine yanıt olarak salınırken, *Zygosaccharomyces rouxii*'nin sentezlediği gliserol hücre içinde birikmektedir ve su aktivitesinin azalmasına göre artarak yanıt vermektedir (Pettersson ve Leong, 2011). *Debaryomyces hansenii*, *Saccharomyces cerevisiae* ve *Zygosaccharomyces rouxii* gibi gliserol birikimi yapan bir türdür ancak az miktarda arabitol, trehaloz, glutamik asit ve alanin birikimi yaptığı da saptanmıştır (Jovall vd., 1990). *D. hansenii* compatible solutelere ek olarak yüksek tuz konsantrasyonlarından korunma amaçlı olarak NADP-glutamat dehidrogenaz aktivitesini arttırmaktadır (Alba-Lois vd., 2004). Diğer fungi türleri ise compatible solute olarak eritrol, ribitol, arabinitol, ksilitol, sorbitol, mannitol ve galaktikol biriktirmektedir (Hohmann 2002). Düşük su aktivitesinde yaşayabilen funguslar, bu ekstrem ortamlardan kendilerini koruyabilmek adına uyumlu çözücülerin yardımıyla membran permeabilitelerini korumaktadırlar (Gunde-Cimerman vd., 2009). Halofilik funguslar yüksek tuz konsantrasyonlarını algılar ve Yüksek Ozmolitik Gliserol (HOG) sinyal yolunu kullanarak Na konsantrasyonlarındaki değişimlerde hayatta kalabilmektedir (Lenassi vd., 2007; Turk & Plemenitas 2002).

Ekstrem pH'larda Funguslar

Asidik habitatlarda yaşayan funguslar için asidofilik terimi kullanılmaktadır. Bu funguslar asidik pH'larda yetişebildiği gibi nötral ve alkali pH'larda da gelişim göstermektedir (Gross ve Robbins, 2000). Fungi

ve mayalar, sülfür açısından zengin ortamların zenginleştirilmesinde aktif faaliyet göstermektedir (Armstrong, 1921; Joffe, 1922; Abbott, 1923). *Acidothrix acidophila* belirlenmiş olan yeni bir türdür ve bu türün fungi soy ağacında *Acidea extrema* ve *Soosiella minima* adında akrabaları da yeni türler olarak belirlenmiştir. Bu türlerin *Helotiales* ordosuyla olan ilişkileri tartışılmıştır (*Helotiales*, *Leotiomycetes*, *Ascomycota*) (Blanchette vd.,2014). Yüksek asidik pH'lar, mikrobiyal gelişim için en zorlu ortamlardan birini temsil etmektedir. Bu zorlu koşullara rağmen funguslar, bu ortamlarda gelişim gösterebilmektedir ve çok çeşitli topluluklar oluşturmaktadır (Amaral Zettler vd., 2002, 2003, 2013; Baker vd., 2004, 2009; López-Archilla ve Amils 1999; López-Archilla ve arkadaşları 2001, 2004). *Acidomyces acidophilus* (Selbmann vd., 2008), *Hortaea acidophila* (Hölker vd., 2004) ve *Acidomyces acidothermus* (Yamazaki vd., 2010; Hujslová vd., 2014), türleri en asidofilik fungi türleri olarak belirlenmiştir. Bu türlerin taksonomik olarak asidotolerant fungi olan *Acidiella bohémica* (Hujslová vd., 2014) ile birlikte aşırı asidik topraklarda hakim olan *Teratosphaeriaceae* (Capnodiales, *Dothideomycetes*, *Ascomycota*) gruplarına ait olduğu belirlenmiştir.

Asidofilik fungi türleri, halofilik fungi türleri gibi ağır metal içerikli ortamlarda bulunabilmektedirler. Bu türler ağır metal giderimi yaparak hem bulunduğu ortamdaki ağır metallerin giderilmesini sağlamaktadır (Kinsela vd.,2015) hemde bu fungusların bazıları bu ağır metalleri metabolik faaliyetlerinde kullanmaktadır. Kadmiyum toksik bir ağır metal olmasına rağmen biyojeokimyasal döngülerde tam olarak belirlenemeyen bir fonksiyona sahiptir. Kadmiyum mikroorganizmaların gelişimini baskıladığı halde bazı fungusların belirgin bir kadmiyum konsantrasyonunu yok ettiği tespit edilmiştir (Xu vd.,2017). Bakır metalinin funguslarda oksidaz gibi enzimleri aktive ettiği ve bu fungusların bakır emilimini çok iyi yaptığı tespit edilmiştir (Guillen ve Machuca, 2008). Demir, mikroorganizmaların hücre döngülerinde düzenleyici etkisinden dolayı esas eleman olarak kabul edilen ağır metaldir (Weiss, 2005). Bu yüzden çoğunlukla fungusların demir emilimi yaptığı belirlenmiştir ve %64'ten daha fazla demir konsantrasyonu mikroorganizmalarda hücrel hasarlara sebep olabilmektedir (Britton vd., 2002). Çinko metali, funguslarda hücre bölünmesinin yanı sıra protein sentezlerini ve bağışlık sistemlerini desteklediği tespit edilmiştir. Bu yüzden çinkonun emilimi de yüksek miktarda gerçekleştirilmektedir (Savi vd.,2013). Kurşun ve Mangan da funguslar tarafından giderimi gerçekleştirilen ağır metaller olarak saptanmıştır (Bano vd., 2017).

Yüksek pH değerlerinde yaşayabilen mikroorganizmalara alkalifiller terimi kullanılmaktadır. Alkalifil mikroorganizmalar, 9 değerinden yüksek pH'larda metabolik faaliyetlerini sürdürebilen ve çoğunluğunu prokaryotların oluşturduğu mikroorganizma grupları olarak tespit edilmiştir (Du-

ckworth vd., 1996). Bununla birlikte bazı filamentöz fungusların pH değerinin 9'u aştığı durumlarda optimal bir şekilde büyüebildiği gözlenmiştir (Nagai vd., 1995, 1998, Grum-Grzhimaylo vd., 2013). Filamentöz funguslarda alkalifillik çok nadirdir, diğer yandan alkalitolerant türlerin çok yaygın olduğu saptanmıştır (Alexey vd., 2013). Alkalifil filamentöz funguslar basit konidial morfolojileri sayesinde kolayca tanımlanabilmektedir ve yaygın olan *Acremonium* ve *Verticillium* türlerinin seksüel morfları bulunmamaktadır (Okada vd., 1993, Kladwang vd., 2003). *Acremonium* türleri *Ascomycota* soylarındaki funguslarla benzer kondisyona sahiptir ancak çoğu *Acremonium* türünün *Hypocreales*'e ait olduğu saptanmıştır ve bu elde edilen türlerden bir tanesi *Emericellopsis*'dir (Zuccaro *et al.* 2004). *Sodiomyces* türleri (*Plectosphaerellaceae*), *Acrostalagmus luteoalbus* (*Plectosphaerellaceae*), *Emericellopsis alkalina* (*Hypocreales*), *Thielavia sp.* (*Chaetomiaceae*) ve *Alternaria* komunitlerinden *Soda* (*Pleosporaceae*) yüksek pH değerlerinde gelişebilen türler olarak saptanmıştır. *Chordomyces antarcticum*, *Acrostalagmus luteoalbus* gelişim ortamlarında fazla Na⁺'a maruz kaldıklarında etkilenmektedirler (Alexey vd., 2015).

Düşük ve yüksek pH değerlerinde metabolik faaliyetlerini sürdürebilen funguslar, ekstrem pH koşullarıyla mücadele edebilme mekanizmalarına sahiptirler. Hücre içindeki ve dışındaki pH regülasyonunu düzenlemektedirler (Raven, 1990) ve düşük pH'larda asidofilik funguslar protonlarını hücre dışına pompalayarak bulundukları çevrenin asidik koşullarını nötral pH'lara çekmeye çalıştıkları gözlenmiştir (Nicolaus vd., 2010).

Ekstremofilik Fungusların Biyoteknolojik Önemi

Düşük sıcaklıklarda faaliyet gösteren funguslar, sentezini gerçekleştirdikleri soğuk aktif enzimler sayesinde esnek yapılarını korumaktadırlar. Bu enzimler esnekliği sağladığı gibi termostabiliteye de eşlik etmektedir (Fields, 2001). Termofillerde bu esnek yapı yerine enzimlerle daha sert bir yapı oluşturulmaktadır (Cavicchioli vd., 2002). Soğuk aktif enzimler, düşük sıcaklıklarda yüksek katalitik aktivite gösterirken, yüksek sıcaklıklarda düşük termostabilite göstermektedir (Ohglya vd., 1999). Soğuk aktif enzimler pahalı ısıtma sistemlerinde, kış mevsimi boyunca gerçekleştirilen işlemlerden kaynaklı artan reaksiyonlarda verimlilik sağlamaktadır. Yüksek düzeyde stereospesifite sağlar, yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkabilecek istenmeyen kimyasal reaksiyonları en aza indirir ve gerektiğinde enzimi hızlı bir şekilde inaktive etmek için termal kararsızlık göstermektedir (Gerday vd., 2000; Russel, 1998). Soğuk aktif enzimler organik sentez amacıyla sulu-organik ve susuz-organik çözücülerde de kullanılmaktadır. Organik sentezi sırasında soğuk aktif enzimler, sahip oldukları içsel esneklikleri sayesinde su aktivitesini dengelemektedir (Gerday vd., 2001; Owusu-Apenten, 1999; Sellek ve Chaudrhuri, 1999).

Ekstrem koşul funguslarından α -amilaz, β -glikosidaz, ksilanaz gibi enzimlerin üretimi gerçekleştirilmektedir (Cavicchioli vd.,2002). Antartik bölgeden izole edilmiş olan funguslardan elde edilmiş olan α -amilaz enzimi, ekmek yapımında, tekstil endüstrisinde ve deterjanlarda kullanılmaktadır. Selülaz enzimi, tekstil endüstrisinde ve kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır. β -galaktosidaz enzimi süttten laktozu elimine ederken ve aroma maddelerinin üretiminde kullanılmaktadır. Proteaz enzimleri, deterjan endüstrisinde ve etlerin yumuşaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Ksilanaz enzimleri fırın endüstrisinde kullanılmaktadır (OECD, 1998). Bu enzimlerle alakalı çalışmalar halen devam etmektedir.

Soğuk aktif enzim sentezi sağlayan funguslar bunların yanında peynir ve yoğurt üretim endüstrisinde kullanılmaktadır. Ayrıca okyanuslardaki petrol sızıntılarının, kirlenmiş yeraltı sularının ve zehirli atıkların biyoremediasyonunda kullanılmaktadır (Sheridan vd., 2000).

Selülaz, ksilanaz, peroksidaz gibi lignoselülozik enzimler *Humicola insolens* (Pocas-Fonseca vd., 1997; Paula vd.,2003), *Chaetomium thermophilum* (Li vd., 2009), *Talaromyces emersonii* (Morrison vd., 1990; Murray vd., 2004), *Thermoascus aurantiacus* (Hong vd.,2003), termofilik funguslari tarafından sentezlenebilmektedir. Sentezlenen bu lignoselülozik enzimler, fiziksel, kimyasal, fiziksel-kimyasal arıtma yöntemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca biyoyakıt üretiminde ve biyolojik tedavilerin geliştirilmesindeki çalışmalarda sürdürülmektedir (Barnard vd.,2010).

Ekstremofilik funguslar bulundukları ekstrem çevreden korunma amaçlı olarak sekonder metabolit üretmektedir. Bu sekonder metabolitler gr(+) ve gr(-) bakteriler için antimikrobiyal etki, bunun yanında antifungal etki de göstermektedir. Bu yüzden ilaç endüstrisinde de kullanılmaktadır (Frisvad vd., 2004; Niu vd., 2014).

Sonuç olarak; ekstremofilik çevrelere hakim olan mikroorganizma gruplarından olan funguslar ekstrem koşullara adaptasyon sağlayarak gelişimlerini sürdürmektedir. Bu adaptasyonlarla funguslar hem bulundukları çevrenin koşullarını hem de kendi yapılarını değiştirebilmektedir. Adaptasyon sırasında gerçekleştirdikleri değişimler, *hücre yapılarındaki farklılaşma ve sentezledikleri metabolitler* sayesinde olmaktadır. Bu sentezlenen metabolitler biyoteknolojik *çalışmalarda kullanılmaktadır*. Geçmiş süreçlerde yapılan ekstrem çevrelerdeki mikroorganizma çalışmaları prokaryotlar üzerineyken son zamanlarda funguslara yönelik olan *çalışmalar artırılmıştır*. Her geçen süre değişen iklim koşulları sebebiyle ekstrem çevrelerdeki artış, ekstremofilik funguslara olan eğilimin artacağını göstermektedir.

KAYNAKÇA

- ANDREWS, S., PİTT, J.I., (1987), Further studies on the water relations of, xerophilic fungi, including some halophiles, *Journal of General Microbiology*, 133, 233-238.
- BANO, A., HUSSAİN, J., AKBAR, A., MEHMOOD, K., ANWAR, M., HASNİ, M.S., ULLAH, S., SAJİD, S., ALİ. I. (2018), Biosorption of heavy metals by obligate halophilic fungi, *Chemosphere*, 199, 218-222.
- BARNARD, D., CASANUEVA, A., TUFFİN, M., COWAN, D., (2010), Extremophiles in biofuel synthesis, *Environmental Technology*, 31, 871-888
- BENNETT, J.W., (1998), Mycotechnology: the role of fungi in biotechnology, *Journal of Biotechnology*, 66, 101-107.
- CAVİCCHİOLİ, R., SİDDİQUİ, K.S., ANDREWS, D., SOWELS, K.R., (2002), *Current Opinion in Biotechnology*, 13, 253-261
- GOSTİNCAR, C., GRUBE, M., HOOG, S., ZALAR P., GUNDE-CİMERMAN, N., (2010), Extremotolerance in fungi: evolution on the edge, *FEMS Microbiol Ecology*, 71, 2-11.
- GROSS, S., ROBBİNS, E.I., (2000), Diversity of microfungi in acid mine drainages, *Hydrobiologia*, 433, 91-109.
- GRUM-GRZHIŁAYLO, A.A., GEORGİEVA, M.L., BONDARENKO, S.A., DEBETS, A.J.M., BİLANENKO E.N., (2016), On the diversity of fungi from soda soils, *Fungal Diversity*, 76, 27-74.
- GUNDE-CİMERMAN, N., RAMOS, J., PLEMENİTAS, A., (2009), Halotolerant and halophilic fungi, *Mycological Research*, 113(Pt11), 1231-1241.
- GUNDE-CİMERMAN, N., SONJAK, S., ZALAR, P., FRİSVAD, J.C., DİDERİCHSEN, B., PLEMENİTAS, A., (2003), Extremophilic fungi in arctic ice: a relationship between adaptation to low temperature and water activity, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 1273-1278
- HOSHİNO T., XİAO N., TKACHENKO O.B. (2009). Cold adaptation in the phytopathogenic fungi causing snow molds, *Mycoscience* 50: 26-38
- HUJSLOVA, M., KUBATOVA, A., KOSTOVČİK, M., BLANCHETTE, A. R., BEER, Z.W., CHUDİCKOVA, M., KOLARİK, M., (2014), Three new genera of fungi from extremely acidic soils, *Mycological Progress*, 13, 819-831.
- LEONG, S.L., PETTERSSON, O.V., RİCE, T. HOCKİNG A.D., SCHNÜRER J., (2011), The extreme xerophilic mould *Xeromyces bisporus*- Growth and competition at various water activities, *International Journal of Food Microbiology*, 145(1), 57-63.

- NİCOLAUS, B., KAMBOUROVA, M., ONER, E.T., (2010), Exopolysaccharides from extremophiles: from fundamentals to biotechnology, *Environmental Technology*, 31(10),1145-1158.
- ONOFRI, S., SELBMANN, L., ZUCCONI, L., PAGONO, S., (2004), Antarctic microfungi as models for exobiology, *Planetary and Space Science*, 52, 229–237
- ROBINSON, C.H., (2001), Cold adaptation in Arctic and Antarctic fungi *New Phytologist*, 151, 341-353.
- SİNGH, B., POÇAS-FONSECA, M.J., JOHRI, B.N., SATYANARAYANA, T., (2016), Thermophilic molds: Biology and applications, *Critical Reviews in Microbiology*, 42, 985-1006
- SİNGH, B., PUJA, G., BHAT, D.J., (2006), Psychrophilic fungi from Schirmacher Oasis, East Antarctica, *Current Science*, 90(10),1388-1392.
- TOPAKAS, E., KALOGERİS, E., KEKOS, D., MACRİS, B.J., CHRİSTAKOPOULOS, P. (2003), Bioconversion of ferulic acid into vanillic acid by the thermophilic fungus *sporotrichum thermophile*, *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 36(6), 561–565.
- WANG, M., JİANG, X., WU, W., HAO, Y., SU, Y., CAI, L., XİANG, M., LİU, X., (2015), *Persoonia*, 34, 100–112.
- YAMAZAKI, A., TOYAMA, K., NAKAGİRİ, A., (2010), A new acidophilic fungus *Teratosphaeria acidotherma* (Capnodiales, Ascomycota) from a hot spring, *Mycoscience*, 51(6), 443–455.