

BİYOLOJİ ALANINDA YENİ BİLİMSEL ÇALIŞMALAR



Editör: ALİ BİLGİLİ

BİDGE Yayınları

Biyoloji Alanında Yeni Bilimsel Çalışmalar

Editör: Prof. Dr. Ali BİLGİLİ

ISBN: 978-625-8995-72-5

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2026-03-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

İklim değışimlerinin etkilerinin ekosistemlerde nasıl yansıdığı ve bu süreçlerin tatlı su ile denizlerdeki istilacı türlerin yayılımı üzerindeki olası etkileri, günümüzde yoğun biçimde değerdendirilmektedir. Bu kapsamda Ilgın gölündeki *Gambusia holbrooki* popölasyonunun biyolojik özellikleri ve türün Türkiye’deki istilacı durumunun değerdendirilmesi kapsamlı şekilde ele alındı.

Bitkiler, insanlık tarihi boyunca hastalıkları önlemek ve tedavi etmek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Günümüzde tıbbi bitkilere olan yönelimin artmasında geleneksel ilaçlara erişim imkanlarının kısıtlılığı, sentetik ilaçlara karşı duyulan güvenin azalması ve doğal ürünlerin her koşulda güvenli olduğu yönündeki yanlış kanı etkili olmaktadır. Kullanımı giderek yaygınlaşan bitkisel ürünlerin potansiyel riskleri ve konvansiyonel ilaçlarla olan etkileşimleri bilimsel bir perspektifle kapsamlı şekilde incelenen ayrı bir bölüm olarak yer aldı.

Algler deniz, göl, akarsu yüzeyinde, toprağın üst kısımlarında, nemli ağaç gövdelerinde, su sızdıran kaya benzeri alanlarda hayatta kalabilmektedirler. Bu bölümde, algler ve alglerden elde edilen özütlerin antibakteriyel, antiviral, antifungal etkileri ile metabolitlerinin etki mekanizmaları ile ilgili çalışmalar derlendi.

Yine su ürünleri yetiştiriciliğinin ekonomik olarak sürdürülebilir olması, döllenmiş yumurta ve yavru balıkların düzenli ve güvenilir şekilde sağlanmasına bağlıdır. Bu gereksinim ise kültür ortamında oluşturulan ve uygun şekilde yönetilen anaç stokları sayesinde karşılanabilmektedir. Bu bölümde hermafrodit balıklarda anaç yönetimi detaylı olarak ele alındı.

Mikoriza; bitki türlerinin büyük çoğunluğu ile simbiyotik ortaklık oluşturan mantarlarındanr. Bu duruma bağlı olarak belirtilen iklim değişikliğinin, mikorizal mantarlar ve bitkiler üzerindeki etkileri açıklandı.

Briyofitler, yapraklı karayosunları (Bryophyta), ciğerotları (Marchantiophyta) ve boynuzlu ciğerotlarını (Anthocerotophyta) kapsayan ve bitki biyoçeşitliliğinin ikinci büyük grubunu oluşturan en eski kara bitkileridir. Bu alışmada Artvin ili, Karçal Dağlar'ından toplanan *Thuidium assimile* ve *Philonotis fontana* karayosunu türlerinin biyoaktif bileşikleri ve antioksidan potansiyelleri bilimsel gerçekler ışığında araştırıldı.

Yaban mersininin içindeki fenolik bileşiklerden özellikle antosiyaninler dikkat çeker. Hem laboratuvar ortamında hem de canlı organizmalarda güçlü antioksidan ve iltihap önleyici özellikler gösterirler. Serbest radikalleri temizleyerek DNA, yağ ve proteinlerdeki oksidatif hasarı azalttıkları bilinmektedir. Bu kapsamda yaban mersininin besin bileşimi, antioksidan özellikleri ve kardiyometabolik sağlık üzerindeki etkileri son yıllara ait bilimsel kaynaklara bağlı şekilde incelendi.

Prof. Dr. ALİ BİLGİLİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

İlgın Gölü (Konya)'ndaki Gambusia holbrooki Popülasyonunun Biyolojik Özellikleri ve Türün Türkiye'deki İstilacı Durumunun Değerlendirilmesi	1
<i>FİLİZ KUTLUYER KOCABAŞ, GÜLŞEN MÜGE KAHRAMAN, MEHMET KOCABAŞ</i>	
İlaç Bitki Etkileşimleri	29
<i>LEYLA GÜVEN, ASLI POLAT</i>	
Algler ve Biyopestisitler	66
<i>MERAL ÖDEMİŞ, ÇİĞDEM KÜÇÜK</i>	
Hermafrodit Balıklarda Anaç Yönetimi	92
<i>FİLİZ KUTLUYER KOCABAŞ, MEHMET KOCABAŞ</i>	
İklim Değişikliğine Karşı Mikorizal Birliktelik	108
<i>MERAL ÖDEMİŞ, ÇİĞDEM KÜÇÜK, BÜLENT TOPRAK</i>	
Thuidium Assimile ve Philonotis Fontana (Bryophyta) Türlerinin Biyoaktif Bileşikleri ve Antioksidan Kapasiteleri ...	122
<i>MEVLÜT ALATAŞ, YELİZ ÇAKIR SAHİLLİ</i>	
Yaban Mersininin (Vaccinium spp.) Besin Bileşimi, Antioksidan Özellikleri ve Kardiyometabolik Sağlık Üzerindeki Etkileri	137
<i>MUHAMMET DOĞAN</i>	

BÖLÜM 1

ILGIN GÖLÜ (KONYA)'NDAKİ *Gambusia holbrooki* POPÜLASYONUNUN BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE TÜRÜN TÜRKİYE'DEKİ İSTİLACI DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

FİLİZ KUTLUYER KOCABAŞ¹
GÜLŞEN MÜGE KAHRAMAN²
MEHMET KOCABAŞ³

Giriş

Ekoloji ve biyocoğrafya, canlıların biçimsel özelliklerinin çevresel koşullara göre nasıl farklılık gösterdiğini araştıran bilim dallarıdır. Yapılan araştırmalar, tür çeşitliliğinin Ekvator'a doğru arttığını, yüksek enlemlerde ise organizmaların beden büyüklüklerinin iklim koşullarına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. İklim değişimlerinin etkilerinin ekosistemlerde nasıl yansıdığı ve bu süreçlerin tatlı su ile denizlerdeki istilacı türlerin

¹ Prof. Dr., Munzur University, Fisheries Faculty, 62000, Tunceli, Turkey, Orcid: 0000-0001-8334-5802.

² Yüksek Lisans Öğrencisi, Munzur University, Fisheries Faculty, 62000, Tunceli, Turkey, Orcid: 0009-0005-8212-2398.

³ Prof. Dr., Karadeniz Technical University Faculty of Forestry, Department of Wildlife Ecology and Management 61080, Trabzon, Turkey, Orcid: 0000-0002-7934-6500.

yayılımı üzerindeki olası etkileri, günümüzde yoğun biçimde değerlendirilmektedir.

Dünya genelinde istilacı türler, biyoçeşitlilik üzerinde giderek artan bir baskı yaratmakta ve hem ekonomik hem de ekolojik boyutlarda önemli etkiler göstermektedir; bu durum, küresel değişim sürecinin bir parçası olarak değerlendirilmektedir. İnsan kaynaklı faaliyetlerin tetiklediği bu türler, doğal ortamlar için ciddi bir sorun teşkil etmekte ve habitat kaybının ardından yerel türler için en büyük tehdit haline gelmektedir. İstilacılar, yerli türlerle rekabet ederek yaşam alanlarını değiştirebilir ve bazı durumlarda yerel türlerin tamamen yok olmasına yol açabilir. Bu süreçler, ekonomik açıdan da ciddi kayıplara neden olmaktadır. Tarihsel olarak, sanayi devrimi sonrası ekonomik faaliyetlerle paralel olarak istilacı türlerin sayısında sürekli bir artış gözlenmiştir. Küreselleşme ve uluslararası ticaretin genişlemesiyle birlikte, farklı ekosistemlerdeki tür toplulukları giderek daha fazla benzerlik göstermektedir. Bu çerçevede, Ilgın Gölü'ndeki kolonileşmiş istilacı *G. holbrooki*'nin biyolojik özellikleri, bu çalışma ile ilk kez belirlenmiş olacaktır.

Ekosistemlerde sivrisinek balıkları, üst düzey avcı olarak besin ağını etkileyerek zincirleme değişimlere yol açar. Zooplanktonlar üzerindeki avcılık baskısı, fitoplankton miktarının artmasına ve ötrofikasyonun yükselmesine sebep olabilir (Margaritora ve ark., 2001, s.189). Araştırmalar, bu balıkların yayılımının birçok yerli amfibi popülasyonunu ciddi şekilde azalttığını ve bazı türlerde yok oluşa kadar ilerleyebildiğini göstermektedir. Özellikle amfibi yumurtaları ve larvaları, yoğun predasyon nedeniyle topluluk yapısında ve tür çeşitliliğinde belirleyici bir etki altındadır. Yayılım aynı zamanda yerli ve endemik balık türlerinin sayısında azalmaya ve tükenmeye neden olmakta olup, bu durum literatürde çok sayıda örnekle belgelenmiştir (Hamer ve ark., 2002, s.445; Kats ve Ferrer, 2003, s.99; Pyke, 2008, s.171).

Türkiye’deki doğal tatlı su ekosistemlerinin neredeyse tamamında baskın olarak bulunan *G. holbrooki* popülasyonları, halen yeterince araştırılmamıştır (Ekmekçi ve ark., 2013, s.28; Özuluğ ve ark., 2013, s.1). Popülasyon yapısına dair kapsamlı çalışmalar bugüne kadar yürütülmemiştir. Tatlısu ortamlarına girişinin üzerinden bir yüzyılı aşkın süre geçmiş olmasına rağmen, Türkiye’de bu türün popülasyonları hakkında ayrıntılı bilimsel veriler bulunmamaktadır. Mevcut biyolojik bilgi eksikliği, *G. holbrooki*’nin Türkiye’deki tatlısu kaynaklarındaki durumunu anlamada önemli bir boşluk oluşturmaktadır. Diğer göllerdeki popülasyonların incelenmesi, gelecekte yapılacak araştırmalar açısından öncelikli bir alan olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, istilacı türlerin popülasyonlarının düzenli olarak izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Tüm bu nedenlerle, bu çalışmada *G. holbrooki* popülasyonunun Ilgın Gölü’ndeki durumunun ortaya konması hedeflenmiştir.

İstilacı türlerin çoğalması, tatlı su ekosistemlerinde yerli türlerin kaybolmasına ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açmaktadır. İnsan faaliyetleri, doğal dağılım engellerini aşarak türlerin hem kasıtlı hem de istem dışı şekilde farklı bölgelere taşınmasını kolaylaştırmıştır. *G. holbrooki* ve *G. affinis* türleri, yalnızca Amerika Birleşik Devletleri ve Meksika’da doğal olarak bulunur. Sivrisinek balıkları, sivrisinek kontrolü amacıyla 50’den fazla ülkeye tanıtılmış ve istilacı oldukları alanlarda en yaygın tatlı su türleri hâline gelmiştir. Küresel ölçekte, bu balıklar dünyanın en riskli 100 yabancı türünden biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, *G. holbrooki*’nin popülasyon dinamikleri ve biyolojik özelliklerinin detaylı şekilde araştırılması, etkili kontrol stratejilerinin geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir.

Türkiye’de *G. holbrooki*’nin çeşitli sulak alanlardaki dağılımı ve biyolojik özellikleri (boy-ağırlık ilişkisi, kondisyon durumu, cinsiyet oranları ve üreme özellikleri) ile yaşam alanı

koşulları üzerine araştırmalar yapılmıştır. Popülasyon yapısının incelenmesi, istilacı türün kontrol yöntemlerinin planlanması ve uygulanması açısından kritik bir gerekliliktir. Bu çalışma ise, Ilgın Gölü'ndeki sulak alanlarda yaşamını sürdüren *G. holbrooki* popülasyonunun biyolojik karakteristiklerini ilk defa ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı ve Balık Örneklemesi

Ilgın Gölü'nden (Ilgın, Konya) Mayıs 2024–Nisan 2025 döneminde, balık örnekleri ($n = 360$) aylık olarak üç ayrı istasyondan elektroşok yöntemiyle toplanmıştır (SAMUS 725 MP portatif elektroşok cihazı; 650W, 12V DC, frekans 50–55 Hz) (Şekil 2). Toplanan bireyler, önce fotoğraflanmış ve ağırlıkları ölçüldükten sonra %4'lük formaldehit çözeltisinde sabitlenerek laboratuvara taşınmıştır. Su ortamına ilişkin sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenlik değerleri ise her ay YSI-Proplus marka taşınabilir çok parametrelili cihaz kullanılarak belirlenmiştir.

Morfometrik ölçümler

Balıkların toplam boyları (TB), $\pm 0,01$ mm hassasiyetli dijital kumpas ile ölçülmüştür. Toplam ağırlıkları (A) ise $\pm 0,001$ g doğruluğunda hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir. Balıklarda uzunluk-ağırlık ilişkisini (LWR) incelemek için allometrik büyüme modeli ($W = aTB^b$) uygulanmıştır (Le Cren, 1951; Pajuelo ve Lorenzo, 1998). Fulton Kondisyon Faktörü (K) ise $KF = (W/L^3) \times 100$ formülüyle hesaplanmıştır; burada W balığın ağırlığını (gram), L ise toplam boyunu (cm) temsil etmektedir (Ricker, 1975, s.1).

Cinsiyet belirleme

Sivrisinek balıklarında anal yüzgecin yapısı, cinsiyet belirlemede önemli bir kriter olarak kullanılır ve böylece seksüel

dimorfizmin tespit edilmesine olanak sağlar (Turner, 1941, s.161). Erkek bireyler, gonopodyumları tamamen gelişmiş olduğunda olgun olarak sınıflandırılır (Strange, 1996, s.433; Norazmi-Lokman ve ark., 2016, s.1). Her bireyin toplam uzunluğu (cm) ve ağırlığı (g) kaydedilmiş, cinsiyet belirlenemeyenler ise olgunlaşmamış olarak değerlendirilmiştir. Tüm popülasyonun cinsiyet oranları, aylık dönemler bazında hesaplanmıştır (Zar, 1999, s.1).

Veri analizi

Araştırmada, popülasyon parametrelerinin ortalama, standart sapma, regresyon ve korelasyon analizleri Microsoft Excel 2016 kullanılarak yapılmıştır.

Bulgular

Örnekleme Alanı ile İlgili Bulgular

Mayıs 2024–Nisan 2025 döneminde yapılan örneklemeleler, Ilgın Gölü’nün mevsimsel değişimleri, tarımsal sulamada kullanımı, buharlaşma oranı ve düşük su girişi nedeniyle flora ve fauna dengesinin bozulduğunu ve su kalitesinin belirgin şekilde azaldığını göstermiştir. Besleyici tuzların gölde birikmesi alg üretimini artırmış ve bu alglerin dibe çökerek ayrışması sonucu çözünmüş oksijen miktarında düşüş gözlemlenmiştir. Ayrışma süreci bentikte hidrojen sülfür (H_2S) birikimine yol açmış; bu zehirli gaz suyla karıştığında zaman zaman yüzeye çıkarak kötü kokulara ve balık ölümlerine neden olmuştur. Seston yoğunluğu göl suyunun bulanık olmasına ve dip kısmının silt ile kaplanmasına sebep olurken, pembe-kırmızı gövde ve yeşil yapraklarıyla dikkat çeken *Myriophyllum spicatum* sucul bitkisi aşırı çoğalmış ve gölün büyük bir bölümünü kaplamıştır. Bitki örtüsündeki yoğunluk, avcılığı olumsuz etkileyerek teknelerin giriş-çıkışını zorlaştırmış ve balıkçı ağlarının kullanılamaz hâle gelmesine neden olarak ekonomik kayıplar yaratmıştır. Çözünmüş oksijen düzeyindeki düşüş, suyun kirlenme

derecesi, organik madde konsantrasyonu ve ekosistemin kendi kendini temizleme kapasitesi hakkında önemli göstergeler sunmakta olup, sucul canlılar için yaşam koşullarının kritik seviyeye ulaştığını ortaya koymaktadır.

Su kalitesi

Aylık olarak ölçülen su kalite parametrelerinin değerleri, Mayıs 2024–Nisan 2025 dönemine ait olarak Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1 Fiziko-kimyasal parametrelerin aylık ölçüm sonuçları.

Tarih	Çözülmüş Oksijen (mg/L)	Su sıcaklığı (°C)	pH	Elektriksel iletkenlik (µS/cm)
Mayıs 2024	9,7	20,5	8,35	179
Haziran 2024	8,8	27,0	8,86	160
Temmuz 2024	8,5	29,0	9,24	165
Ağustos 2024	8,6	27,5	9,31	170
Eylül 2024	8,1	25,5	8,56	155
Ekim 2024	9,0	16,5	8,29	247
Kasım 2024	9,9	10,1	8,50	256
Aralık 2024	10,2	9,8	8,25	270
Ocak 2025	10,3	9,5	8,35	268
Şubat 2025	9,8	10,1	8,15	260
Mart 2025	10,1	13,5	8,65	235
Nisan 2025	9,8	14,5	8,45	230

Morfometrik ölçümler

Aylık morfometrik ölçümler, Ilgın Gölü (Ilgın, Konya)'nden yakalanan *G. holbrooki* bireylerine ait veriler Tablo 2'de gösterilmiştir. Örnekleme sırasında toplam 318 birey toplanmış; bunların 103'ü erkek, 215'i ise dişi olarak belirlenmiştir. Avlanan balıkların ortalama total boyu $5,44 \pm 0,87$ cm, ağırlığı $1,66 \pm 0,86$ g ve kondisyon faktörü $1,00 \pm 0,35$ olarak hesaplanmıştır.

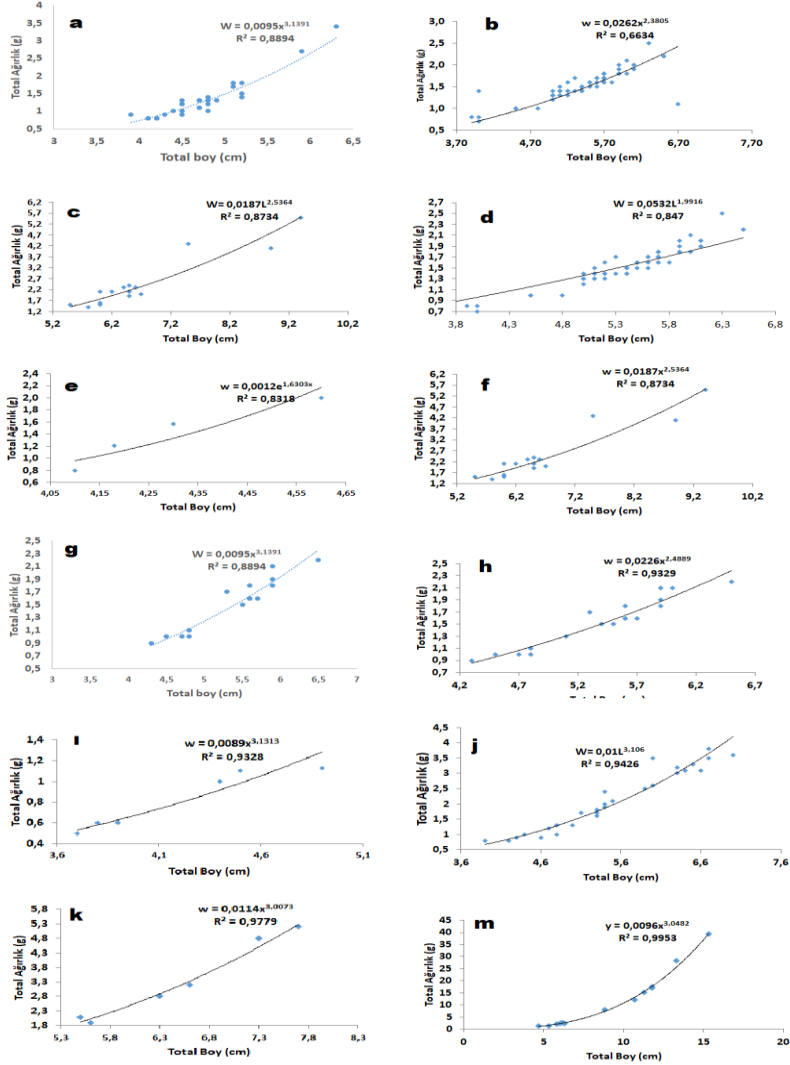
Tablo 2. Ilgın Gölü (Ilgın, Konya)'nden yakalanan G. holbrooki'ye ait morfometrik ölçümler.

	Örnek sayısı		Total boy (cm)			Ağırlık (g)			Kondisyon faktörü			Erkek: Dişi
	Erkek	Dişi	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	
Mayıs 2024	10	52	3,90	6,60	5,34±0,67	0,44	2,50	1,47±0,44	0,35	2,19	0,96±0,22	1:5,2
Haziran 2024	7	15	4,10	6,70	5,83±1,21	0,80	2,80	1,90±1,00	0,58	1,34	0,93±0,22	1:2.14
Temmuz 2024	6	51	3,10	6,50	5,38±0,63	0,70	2,50	1,55±0,35	0,80	1,14	1,04±0,51	1:8,5
Ağustos 2024	2	4	4,10	4,60	4,30±0,22	0,80	2,00	1,40±0,51	1,16	2,05	1,71±0,41	1:2
Eylül 2024	6	15	5,50	6,65	5,73±0,87	1,40	2,75	2,02±1,03	0,66	1,85	1,05±0,35	1:2,66
Ekim 2024	6	10	4,30	6,50	5,34±0,62	0,91	2,25	1,49±0,42	0,85	1,19	0,97±0,10	1:1.66
Kasım 2024	11	28	4,30	6,50	5,39±0,55	0,90	2,20	1,53±0,39	0,80	1,14	0,96±0,08	1:0.39
Aralık 2024	13	3	3,50	6,67	5,50±0,96	0,16	2,04	1,03±0,55	0,14	1,33	0,71±0,48	1:0,23
Ocak 2025	6	20	3,90	6,65	5,49±0,86	0,80	3,80	2,13±0,99	0,90	1,62	1,19±0,15	1:2,5
Şubat 2025	6	5	3,90	6,70	5,25±1,14	0,70	2,70	2,22±1,54	0,90	2,19	1,36±0,40	1:1,2
Mart 2025	6	3	4,70	6,30	5,54±0,67	1,00	2,60	1,84±0,65	0,87	1,16	1,04±0,10	1:2
Nisan 2025	24	9	3,90	6,30	4,68±0,51	0,55	2,66	1,27±0,8	0,90	1,52	1,19±0,14	1:0.38

Mayıs 2024–Nisan 2025 döneminde Ilgın Gölü’nden yakalanan *G. holbrooki* bireylerinin morфометrik ölçümleri, cinsiyet bazında farklılıklar göstermiştir. Dişi bireylerin ortalama total boyu 4,60–6,50 cm, ağırlığı 1,03–3,28 g ve kondisyon faktörü 0,59–2,05 arasında değişirken; erkek bireylerde boy 4,14–4,73 cm, ağırlık 0,81–1,19 g ve kondisyon faktörü 1,01–1,69 aralığında ölçülmüştür. En yüksek dişi ağırlığı ve kondisyon faktörü Şubat ayında (3,28 g ve 1,35), erkeklerde ise en yüksek kondisyon Ağustos ayında (1,60) gözlemlenmiştir. Ölçümler, dişi bireylerin erkeklere göre daha büyük boy ve ağırlık değerlerine sahip olduğunu ve yıllık dönem içerisinde kondisyon faktörlerinde belirgin değişimler olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, popülasyonun büyüme, üreme ve sağlık durumuna dair önemli bilgiler sağlamaktadır.

G. holbrooki popülasyonuna ait aylık boy-ağırlık ilişkileri lineer regresyon analizi ile incelenmiş ve Şekil 1’de özetlenmiştir. Mayıs ayında elde edilen bireylerde negatif allometrik büyüme ($W = 0,0187 \times L^{2,3805}$, $r = 0,6634$) gözlenirken, Haziran ve Temmuz aylarında sırasıyla $W = 0,0262 \times L^{2,5364}$ ($r = 0,8734$) ve $W = 0,0532 \times L^{1,9916}$ ($r = 0,847$) ile benzer negatif allometrik büyüme saptanmıştır. Ağustos ve Eylül aylarında da negatif allometrik büyüme devam etmiş ve korelasyon katsayıları 0,8318 ile 0,8734 arasında değişmiştir. Ekim ayında $W = 0,0095 \times L^{3,1391}$ ($r = 0,8894$) ile pozitif allometrik büyüme belirlenmiş, Kasım ayında negatif allometrik büyüme ($W = 0,0226 \times L^{2,4889}$, $r = 0,9329$), Aralık ayında ise hem negatif hem pozitif allometrik büyüme ($W = 0,0089 \times L^{3,1313}$, $r = 0,9328$) gözlemlenmiştir. Ocak–Nisan döneminde tüm aylarda pozitif allometrik büyüme hâkim olmuş, W değerleri 0,0095–0,0114 $\times L^3$ aralığında ve korelasyon katsayıları 0,8894–0,9953 arasında bulunmuştur. Bu sonuçlar, *G. holbrooki* popülasyonunun yıl boyunca büyüme oranlarının değiştiğini ve özellikle yılın ikinci

yarısında pozitif allometrik büyümenin baskın olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Ilgın Gölü (Ilgın, Konya)'nden yakalanan *G. holbrooki*'ye ait aylık total boy ile ağırlık arasındaki lineer regresyon.

Tartışma ve Sonuç

Türkiye’de istilacı yabancı balık türleri, ülkenin zengin biyolojik çeşitliliği ve coğrafi yapısı nedeniyle giderek artan bir tehdit oluşturmaktadır. İnsan faaliyetleriyle farklı bölgelere taşınan bu türler, doğal balık popülasyonlarının yaşamını ve genetik yapısını olumsuz etkileyerek ekosistem dengelerini bozmakta, biyoçeşitlilik kaybına ve ekonomik zararlara yol açmaktadır (Villéger ve ark., 2014, s.1450; Toussaint ve ark., 2016, s.1295; Vitousek ve ark., 1997, s.1). *G. holbrooki* ve Batı sivrisinek balığı *G. affinis*, sivrisinekleri kontrol etmek ve sıtma ile sarı humma gibi hastalıkların yayılmasını önlemek amacıyla 1900’lü yılların başında tropikal ve ılıman bölgelere biyolojik kontrol ajanı olarak taşınmış, günümüzde ise Antarktika hariç tüm kıtalarda görülmektedir (Lloyd, 1986, s.156; Watton ve ark., 2011, s.261; Cheng ve ark., 2018, s.309). Bilimsel bulgular, doğal türlerin bu amaç için eşit veya daha etkili olduğunu ve yapay olarak getirilen balıkların olumsuz etkilerinin baskın olduğunu göstermesine rağmen (Lloyd, 1986, s.156; Azevedo-Santos ve ark., 2016, s.84; Das ve ark., 2018, s.34; Ranathunge ve ark., 2021, s. 104638), güncel çalışmalar Türkiye’de bazı yerel otoritelerin hâlâ bu türlerin sivrisinek kontrolünde kullanılmasını desteklediğini ortaya koymaktadır (Innal ve ark., 2020, s.553; Saç ve ark., 2025, s.51).

Biyolojik türlerin dağılımı açısından Türkiye, doğal bir geçiş koridoru özelliği taşımaktadır (Tarkan ve ark., 2015, s.28). Ülkenin eşsiz jeomorfolojik yapısı, dünyadaki 34 noktadan yalnızca üçüne (Kafkasya, İran-Anadolu ve Akdeniz) ev sahipliği yapabilen tek ülke olmasını sağlamaktadır (Şekercioğlu ve ark., 2011, s.2752). Bununla birlikte, istilacı türler, biyolojik çeşitliliğin korunması açısından giderek büyüyen bir tehdit oluşturmakta (Copp ve ark., 2005, s.241) ve Anadolu’daki tüm tatlısu balık popülasyonlarını etkileme

potansiyeline sahiptir (Freyhof ve ark., 2014, s.1; Tarkan ve ark., 2015, s.28; Kurtul ve Sarı, 2021, s.175).

G. holbrooki, istilacı bir tür olarak genellikle sığ ve durgun ya da yavaş akan sularda, özellikle zengin bitki örtüsüne sahip kıyı bölgelerinde yaşamayı tercih eder ve bu habitatlardaki diğer balıklar, amfibiler ve çeşitli omurgasızlar dahil olmak üzere çok sayıda türle potansiyel olarak etkileşime girebilir (Pyke, 2008, s.171). Tür, avladığı canlıların yoğunluğuna bağlı olarak besin tercihlerini değiştirebilme yeteneğine sahip olduğundan, farklı türlerle hem yiyecek hem de yaşam alanı için rekabet edebilir (Kumar ve ark., 2015, s.55). Deneysel ve saha çalışmaları, *G. holbrooki*'nin sivrisinek larvalarını her zaman etkili biçimde kontrol edemediğini; bunun yerine zooplankton ve çeşitli omurgasızları tüketmede daha başarılı olduğunu göstermektedir (Hurlbert ve ark., 1972, s.639; Margaritora ve ark., 2001, s.189; Angeler ve ark., 2007, s.9). Ayrıca, bu balık türü, sivrisinekleri avlayan yerli omurgasızlarla doğrudan rekabet ederek veya onları avlayarak dolaylı şekilde sivrisinek artışına katkıda bulunabilir; oysa yerli türler çoğu durumda sivrisineklerle mücadelede daha etkilidir (Saç ve ark., 2025, s.51). Tüm bu olumsuz etkilerine rağmen istilacı türler, ekolojik ve evrimsel süreçlerin geniş zaman ve mekân ölçeklerinde incelenmesine olanak sağlayan nadir fırsatlar sunmaktadır (Rice ve Sax, 2005, s.291; Vidal ve ark., 2010, s.841). Bu nedenle, istilacı türler hakkındaki bilgimizi artırmak ve istila edilen ortamlardaki fenotipik yapıları ile popülasyon durumlarındaki değişiklikleri değerlendirmek büyük önem taşımaktadır.

Geniş bir aralıktaki su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, pH ve elektrik iletkenliği koşullarına uyum sağlayabilen *G. holbrooki*, farklı habitatlarda hayatta kalabilir (Alcaraz ve ark., 2007, s.83; Atici ve ark., 2018, 2022, s.29-594). Ölçülen ortalama değerler—17,8 °C su sıcaklığı, 9,4 mg L⁻¹ çözünmüş oksijen, 8,6 pH ve 216,3 µS cm⁻¹ elektrik iletkenliği—bu habitatın türün yaşamını sürdürmesi ve

popülasyon başarısını desteklemek için elverişli olduğunu göstermektedir.

Mevcut çalışmada elde edilen maksimum boy (6,70 cm) ve ağırlık (2,80 g) değerleri, önceki araştırmalarla uyum göstermektedir; örneğin Seyhan Baraj Gölü'nde 5,7 cm ve 1,90 g (Ergüden, 2013, s.204), Acıgöl'de dişilerde 6,14 cm (Yoğurtçuoğlu ve Ekmekçi, 2017, s.117) rapor edilmiştir. Diğer bölgelerde Segura Nehri Havzası 5,7 cm (Andreu-Soler ve ark., 2006, s.295), Murray-Darling Nehir Sistemi 5,8 cm ve 2,62 g (Llewellyn, 2011, s.435), Tajan Nehri 5,0 cm ve 1,59 g (Patimar ve ark., 2011, s.167), Pamvotis Gölü 4,31 cm (Gkenas ve ark., 2012, s.121) ve Kaşmar 5,6 cm ve 2,67 g (Eagderi ve Radkhah, 2015, s.39) olarak bildirilmiştir. Bu farklılıkların bölgeler arası ekolojik koşullar, su sıcaklığı ve beslenme durumu gibi faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Tesch, 1971, s.99; Wootton, 1998, s.1). Ayrıca, dişi bireyler uzunluk ve ağırlık açısından erkeklerden daha büyük olup, bu durum erkeklerde gonopodyum gelişimi sonrası büyümenin sınırlı olmasıyla ilişkilidir (Krumholz, 1948, s.1; Vondracek ve ark., 1988, s.45). Poeciliidlerdeki eşeysel boyut dimorfizminin, erkeklerin fark edilmeden dişiye yaklaşmasını sağlayan bir evrimsel taktığın sonucu olabileceği de bildirilmektedir (Bisazza ve Marin, 1995, s.169).

Aralık-Nisan döneminde *G. holbrooki*'de elde edilen b değerleri 3'ün üzerinde olup pozitif allometrik büyümeyi gösterirken, Mayıs-Kasım ayları arasında gözlenen b değerleri negatif allometrik büyümeye işaret etmiştir. Bu durum, türün cinsiyetler arası morfolojik farklılıkları ve ekolojik etkileri üzerine yapılan önceki çalışmalarla uyumludur (Tesch, 1971, s.99). b değerleri, farklı bölgeler, cinsiyetler ve yaşam evrelerinde değişkenlik gösterebilmekte olup, tüm türler için beklenen aralık genellikle 2–4 arasındadır. Erkek bireylerin çoğunlukla dişilere kıyasla daha ince ve akıcı bir vücut formuna sahip olduğu ve bu

özelliğın incelik oranıyla değeriendirildiğı bildirilmiştir (Rubio-Gracia ve ark., 2020, s.230). Wootton (1998), pozitif allometrik değerielerin ($b > 3$) balığın uzunluğı arttıkça daha tıknaz veya gövdesi daha derin hâle geldiğini, negatif allometrik değerielerin ($b < 3$) ise daha ince ve hafif gövde yapısına işaret ettiğini belirtmiştir. Mevcut tür için Froese (2006, s.241), b değerielerini ideal aralık olan 2,5–3,5 arasında rapor etmiştir, bu da çalışmada elde edilen değerielerle uyumludur.

Mayıs ayında elde edilen en düşük kondisyon faktörü, dışı bireylerin yumurta bırakma dönemiyle ilişkili olabilir. Yıl boyunca gözlenen kondisyon değerielerindeki değışim, Zarev (2012, s.263) ve Atici ve ark. (2022, s.594) tarafından bildirilen çalışmalara paralellik göstermektedir. Wootton (1992, s.1) koşul katsayısının yüksek olmasının, balıkları düşük değerielere sahip bireylere göre fizyolojik olarak daha avantajlı hâle getirdiğini belirtmiştir. Mevcut çalışmada K değerieleri 0,35 ile 1,71 arasında değışmiş olup, ortalama $1,00 \pm 0,35$ değeri, sulak alandaki balıkların genel olarak iyi durumda olduğunu göstermektedir. Daha önce yapılan çalışmalara, *G. holbrooki* popülasyonlarında ortalama kondisyon faktörünün Seyhan Baraj Gölü'nde 1,36 (Ergüden, 2013, s.204), Pamvotis Gölü'nde 1,93 (Gkenas ve ark., 2012, s.121), Gamasiab'da 0,99, Sirzar'da 1,13 ve Kaşmar'da 0,78 (Eagderi ve Radkhah, 2015, s.39) olduğunu ortaya koymuştur. Balıkların sağık durumu; besin kaynakları, çevresel stres faktörleri, mevsimsel değışimler, cinsiyet farklılıkları ve su kalite parametreleri gibi çok sayıda etkene bağılıdır (Khallaf ve ark., 2003, s.405). Bu nedenle, çalışmada elde edilen sonuçların diğeri popülasyonlardan farklılık göstermesi, söz konusu çevresel koşulların etkisiyle açıklanabilir.

Aylık gözlemler, *G. holbrooki* popülasyonunda cinsiyetler arası belirgin farklılıklar olduğunu göstermiştir. Kasım, Aralık ve Nisan aylarında erkek bireyler sayıca daha fazla bulunurken, yılın diğeri dönemlerinde dişiler baskın durumdadır. Türün farklı

bölgelerdeki dişi:erkek oranları değişkenlik göstermekte olup, Mondego Nehri Vadisi'nde 4:1, Pamvotis Gölü'nde 2,31:1, Rupite Termal Kaynakları'nda 1,11:1 ve Türkiye'deki 23 nehir havzasında 1,00:0,39 olarak bildirilmiştir (Cabral ve Marques, 1999, s.607; Gkenas ve ark., 2012, s.121; Zarev, 2012, s.263; Kurtul ve Sarı, 2021, s.175). Bu farklılıklar, örneklem büyüklüğü, balıkçılık metodolojisi, cinsiyetler arasındaki ölüm oranları ve üreme döneminin tamamlanmasından sonra daha büyük bireylerin (çoğunlukla dişiler) kaybıyla ilişkilendirilebilir (Krumholz, 1948, s.1; Garcia-Berthou, 1999, s.135; Patimar ve ark., 2011, s.167). Dişiler, erkeklere kıyasla genellikle daha uzun yaşam süresine sahip olup hayatta kalma oranları yüksektir (Pérez-Bote ve López, 2005, s.241; Patimar ve ark., 2011, s.167; Ruiz-Navarro ve ark., 2011, s.149). Bununla birlikte, bazı ekosistemlerde erkeklerin sayıca fazla olduğu gözlemlenmiştir (Fernández-Delgado ve Rossomano, 1997, s.80). Düşük erkek sayısı, popülasyon düzeyinde üreme ve doğal katılımı olumsuz etkileyebilir; ancak dişilerin uzun süre yeterli spermi depolayabilmesi, popülasyonun üreme döngüsünü sürdürmesini sağlamaktadır (Constantz, 1984, s.1; Nguyen ve ark., 2021, s.2261). *G. holbrooki*'nin üreme dönemi yaz aylarında gerçekleşmesine rağmen, sulak alanda en yüksek birey sayısı Mayıs ayında kaydedilmiştir (Keane ve Neira, 2004, s.857; Pyke, 2005, s.339). Bu nedenle sulak alanlarda etkili kontrol stratejileri geliştirirken, erkek ve dişi bireylerin aylık yakalama oranlarının düzenli olarak izlenmesi önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, Ilgın Gölü'ndeki çevresel koşullar, *G. holbrooki*'nin yaşamını sürdürmesi ve çoğalması için uygun bir ortam sunmakta olup, türün çevresel değişikliklere karşı dayanıklılığı ve yeni habitatlara uyum sağlama yeteneği, yerli tatlısu türleri üzerinde ciddi bir tehdit oluşturduğunu göstermektedir. İstilacı türler, ekosistem bileşenleri üzerinde geniş kapsamlı etkiler yaratabilmekte; besin döngüleri, kimyasal süreçler ve

organizmaların hareketliliği gibi doğal akışları değiştirebilmektedir. Ormanlar ve göller, çayırlar ve nehirler veya mercan resifleri ile okyanuslar arasındaki ekosistem bağlantıları, bu etkilerin karmaşıklığını artırmakta, ancak istilacı türlerin bu bağlantılara olan etkileri hâlâ tam olarak anlaşılamamaktadır. Küresel ölçekte, istilacı türler hem biyolojik çeşitlilik hem de ekonomik yapılar için ciddi riskler oluşturmakta olup, bu zorlukların üstesinden gelmek için güçlü politikalar, etkin düzenlemeler ve uluslararası iş birlikleri gerekmektedir. Literatür, istilacı türlerin kontrolünde sınır ötesi iş birlikleri, kolektif eylem ve çok düzeyli koordinasyonun önemini vurgulamaktadır.

Teşekkürler

Bu çalışmanın araştırma giderleri Munzur Üniversitesi MUNİBAP tarafından desteklenen YLMUB024-06 nolu “Türkiye’de İstilacı Bir Balık Türü Olan *Gambusia holbrooki*’nin Ilgın Gölü (Ilgın, Konya) Populasyonunun Bazı Biyolojik Özelliklerinin Araştırılması” adlı projeden karşılanmıştır.

Kaynaklar

- Alcaraz, C., & Garcia-Berthou, E. (2007). Life history variation of invasive mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) along a salinity gradient. *Biological Conservation*, 139, 83–92.
- Anderson, L. G., White, P. C. L., Stebbing, P., Stentiford, G. D., & Dunn, A. M. (2014). Biosecurity and vector behaviour: Evaluating the potential threat posed by anglers and canoeists as pathways for the spread of invasive non-native species and pathogens. *PLOS ONE*, 9(4), e92788. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092788>
- Andreu-Soler, A., Oliva-Paterna, F. J., & Torralva, M. (2006). A review of length–weight relationships of fish from the Segura

- River basin (SE Iberian Peninsula). *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 295–296.
- Angeler, D. G., Sanchez-Carrillo, S., Rodrigo, M. A., Alvarez-Cobelas, M., & Rojo, C. (2007). Does seston size structure reflect fish-mediated effects on water quality in a degraded semiarid wetland? *Environmental Monitoring and Assessment*, 125, 9–17.
- Atici, A. A., Sen, F., & Elp, M. (2018). Van sazlıklarındaki doğu sivrisinek balığı (*Gambusia holbrooki* Girard, 1859)’nin ekolojik riskleri. *Menba Journal of Fisheries Faculty*, 4(2), 29–37.
- Atici, A. A., Sepil, A., & Sen, F. (2022). Biological characteristics of the invasive *Gambusia holbrooki* in the wetland, the Lake Van Basin, Turkey. *Journal of Ichthyology*, 62(4), 594–604.
- Azevedo-Santos, V. M., Vitule, J. R. S., Pelicice, F. M., García-Berthou, E., & Simberloff, D. (2016). Nonnative fish to control *Aedes* mosquitoes: A controversial, harmful tool. *BioScience*, 67, 84–90.
- Bampfylde, C. J., Peters, J. A., & Bobeldyk, A. M. (2010). A literature analysis of freshwater invasive species research: Are empiricists, theoreticians, and economists working together? *Biological Invasions*, 12(5), 1207–1219. <https://doi.org/10.1007/s10530-009-9540-2>
- Barney, J. N., Tekiela, D. R., Dollete, E. S., & Tomasek, B. J. (2013). What is the “real” impact of invasive plant species? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(6), 322–329.
- Bisazza, A., & Marin, G. (1995). Sexual selection and sexual size dimorphism in the eastern mosquitofish *Gambusia holbrooki*

- (Pisces: Poeciliidae). *Ethology Ecology & Evolution*, 7(2), 169–183.
- Bode, M., Baker, C. M., & Plein, M. (2015). Eradicating down the food chain: Optimal multispecies eradication schedules for a commonly encountered invaded island ecosystem. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 571–579.
- Boher, F., Trefault, N., Estay, S. A., & Bozinovic, F. (2016). Ectotherms in variable thermal landscapes: A physiological evaluation of the invasive potential of fruit flies species. *Frontiers in Physiology*, 7.
- Bradley, B. A., et al. (2019). Disentangling the abundance–impact relationship for invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116, 9919–9924.
- Cabral, J. A., & Marques, J. C. (1999). Life history, population dynamics and production of eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki* (Pisces, Poeciliidae), in rice fields of the lower Mondego River Valley, western Portugal. *Acta Oecologica*, 20(6), 607–620.
- Cameron, E. K., Vilà, M., & Cabeza, M. (2016). Global meta-analysis of the impacts of terrestrial invertebrate invaders on species, communities and ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 25, 596–606.
- Cetinkaya, O. (2006). Su kaynaklarında balıklandırmanın yol açtığı biyoçeşitlilik azalması ve biyoistila problemleri. In *The 1st Fisheries and Reservoir Management Symposium* (pp. 11–24). Antalya, Türkiye.
- Cheng, Y., Xiong, W., Tao, J., He, D., Chen, K., & Chen, Y. (2018). Life-history traits of the invasive mosquitofish (*Gambusia*

- affinis* Baird & Girard, 1853) in the central Yangtze River, China. *BioInvasions Records*, 7, 309–318.
- Constantz, G. D. (1984). Sperm competition in poeciliid fishes. In R. L. Smith (Ed.), *Sperm competition and the evolution of animal mating systems*. Academic Press.
- Copp, G. H., Kováč, V., Ojaveer, H., & Rosenthal, H. (2005). The introduction, establishment, dispersal and impact of introduced nonnative fishes. *Journal of Applied Ichthyology*, 21, 241.
- Crowley, S. L., Hinchliffe, S., & McDonald, R. A. (2016). Invasive species management will benefit from social impact assessment. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 351–357. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12817>
- Cuthbert, R. N., Diagne, C., Haubrock, P. J., Turbelin, A. J., & Courchamp, F. (2022). Are the “100 of the world’s worst” invasive species also the costliest? *Biological Invasions*, 24(7), 1895–1904.
- Das, M. K., Rao, M. R. K., & Kulsreshtha, A. K. (2018). Native larvivorous fish diversity as a biological control agent against mosquito larvae in an endemic malarious region of Ranchi district in Jharkhand, India. *Journal of Vector Borne Diseases*, 55, 34–41.
- Dawson, J., Oppel, S., Cuthbert, R. J., Holmes, N., Bird, J. P., Butchart, S. H., Spatz, D. R., & Tershy, B. (2015). Prioritizing islands for the eradication of invasive vertebrates in the United Kingdom overseas territories. *Conservation Biology*, 29(1), 143–153.
- DeGolia, A. H., Hiroyasu, E. H. T., & Anderson, S. E. (2019). Economic losses or environmental gains? Framing effects on

public support for environmental management. *PLOS ONE*, 14(7), e0220320.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220320>

- Dickey, J. W., Cuthbert, R. N., South, J., Britton, J. R., Caffrey, J., Chang, X., Crane, K., Coughlan, N. E., Fadaei, E., & Farnsworth, K. D. (2020). On the RIP: Using relative impact potential to assess the ecological impacts of invasive alien species. *NeoBiota*, 55, 27–60.
- Eagderi, S., & Radkhah, A. (2015). Length–weight relationship and condition factor of mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) in three inland basins of Iran. *Poeciliid Research*, 5(1), 39–43.
- Ekmekci, F. G., Serife, G., & Kirankaya, S. G. (2013). Türkiye içsularındaki istilacı balıkların güncel durumu ve istilanın etkilerinin değerlendirilmesi. *Istanbul University Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 28, 105–140.
- Elp, M., Atici, A. A., Sen, F., & Duyar, H. A. (2016). Van Gölü havzası balıkları ve yayılım bölgeleri. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 26, 563–568.
- Erguden, S. A. (2013). Age, growth, sex ratio and diet of eastern mosquitofish *Gambusia holbrooki* Girard, 1859 in Seyhan Dam Lake (Adana/Turkey). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(1), 204–218.
- Fenesi, A., Botta-Dukát, Z., Miholcsa, Z., Szigeti, V., Molnár, C., Sándor, D., Szabó, A., Kuhn, T., & Kovács-Hostyánszki, A. (2023). No consistencies in abundance–impact relationships across herbaceous invasive species and ecological impact metrics. *Journal of Ecology*, 111(5), 1120–1138.
- Fernández-Delgado, C., & Rossomano, S. (1997). Reproductive biology of the mosquitofish in a permanent natural lagoon in

- southwest Spain: Two tactics for one species. *Journal of Fish Biology*, 51(1), 80–92.
- Freyhof, J., Ekmekçi, F. G., Ali, A., Khamees, N. R., Özuluğ, M., Hamidan, N., Küçük, F., & Smith, K. G. (2014). Freshwater fishes. In K. G. Smith, V. Barrios, W. R. T. Darwall, & C. Numa (Eds.), *The status and distribution of freshwater biodiversity in the Eastern Mediterranean*. IUCN.
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241–253.
- Gallardo, B., Clavero, M., Sánchez, M. I., & Vilà, M. (2016). Global ecological impacts of invasive species in aquatic ecosystems. *Global Change Biology*, 22, 151–163.
- Garcia-Berthou, E. (1999). Food of introduced mosquitofish: Ontogenetic diet shift and prey selection. *Journal of Fish Biology*, 55(1), 135–147.
- Gkenas, C., Oikonomou, A., Economou, A., et al. (2012). Life history pattern and feeding habits of the invasive mosquitofish, *Gambusia holbrooki*, in Lake Pamvotis (NW Greece). *Journal of Biological Research*, 17, 121–136.
- IPBES Secretariat. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Hamer, A., Lane, S., & Mahony, M. (2002). The role of introduced mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) in excluding the native green and golden bell frog (*Litoria aurea*) from original habitats in south-eastern Australia. *Oecologia*, 132, 445–452.

- Hejda, M., Pyšek, P., & Jarošík, V. (2009). Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of Ecology*, 97, 393–403.
- Hurlbert, S. H., Zedler, J., & Fairbanks, D. (1972). Ecosystem alteration by mosquitofish (*Gambusia affinis*) predation. *Science*, 175, 639–641.
- Innal, D., & Giannetto, D. (2020). Occurrence of *Gambusia holbrooki* Girard, 1859 (Poeciliidae) in four Mediterranean river estuaries of Turkey, nursery habitats of several native and threatened species. *Acta Zoologica Bulgarica*, 72, 553–560.
- Kats, L. B., & Ferrer, R. P. (2003). Alien predators and amphibian declines: Review of two decades of science and the transition to conservation. *Diversity and Distributions*, 9, 99–110.
- Keane, J. P., & Neira, F. J. (2004). First record of mosquitofish, *Gambusia holbrooki*, in Tasmania, Australia: Stock structure and reproductive biology. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 38(5), 857–867.
- Khallaf, E., Galal, M., & Athuman, M. (2003). The biology of *Oreochromis niloticus* in a polluted canal. *Ecotoxicology*, 12, 405–416.
- Krumholz, L. A. (1948). Reproduction of the western mosquitofish, *Gambusia affinis* (Baird and Girard), and its use in mosquito control. *Ecological Monographs*, 18(1), 1–41.
- Krupp, F. (1992). The establishment of the North-American mosquitofish, *Gambusia holbrooki*, in Syrian inland waters. *Zoology in the Middle East*, 6, 45–50.
- Kumar, R., Muhid, P., Dahms, H. U., Sharma, J., & Hwang, J. S. (2015). Biological mosquito control is affected by alternative prey. *Zoological Studies*, 54, 55.

- Kurtul, I., & Sari, H. M. (2021). Is *Gambusia holbrooki* known as an invasive fish species in Küçük Menderes River Basin lakes (Turkey)? *Aquatic Sciences and Engineering*, 36(4), 175–180.
- Laverty, C., Green, K. D., Dick, J. T. A., Barrios-O'Neill, D., Mensink, P. J., Médoc, V., Spataro, T., Caffrey, J. M., Lucy, F. E., & Boets, P. (2017). Assessing the ecological impacts of invasive species based on their functional responses and abundances. *Biological Invasions*, 19, 1653–1665.
- Lazzaro, L., Bolpagni, R., Buffa, G., Gentili, R., Lonati, M., Stinca, A., Acosta, A. T. R., Adorni, M., Aleffi, M., & Allegrezza, M. (2020). Impact of invasive alien plants on native plant communities and Natura 2000 habitats: State of the art, gap analysis and perspectives in Italy. *Journal of Environmental Management*, 274, 111140.
- Le Cren, E. D. (1951). The length–weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 20(2), 201–219.
- Lee, S., Woo, S., & Kim, E. (2020). Differential effect of inter- and intraspecific competition on the performance of invasive and native *Taraxacum* species. *Plant Species Biology*, 36(2), 187–197. <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12301>
- Leffler, A. J., James, J. J., Monaco, T. A., & Sheley, R. L. (2014). A new perspective on trait differences between native and invasive exotic plants. *Ecology*, 95(2), 298–305.
- Linders, T. E. W., et al. (2019). Direct and indirect effects of invasive species: Biodiversity loss is a major mechanism by which an invasive tree affects ecosystem functioning. *Journal of Ecology*, 107, 2660–2672.

- Liu, L., Guo, Y., Wu, Y., Yin, M., Guo, X., Eller, F., Richards, C. L., Brix, H., Ju, R. T., & Guo, W. (2023). Revealing biogeographic patterns in genetic diversity of native and invasive plants and their association with soil community diversity in the Chinese coast. *Oikos*, e10116. <https://doi.org/10.1111/oik.10116>
- Llewellyn, L. C. (2011). Length–weight relationships of freshwater fish from the Murray–Darling River system in inland New South Wales, with particular reference to the golden perch *Macquaria ambigua*. *Australian Zoologist*, 35(3), 435–457.
- Lloyd, L. (1986). An alternative to insect control by “mosquitofish”, *Gambusia affinis*. In *Arbovirus research in Australia* (pp. 156–163).
- Lodge, D. M., Williams, S., MacIsaac, H. J., Hayes, K. R., Leung, B., Reichard, S., Mack, R. N., Moyle, P. B., Smith, M., Andow, D. A., Carlton, J. T., & McMichael, A. (2006). Biological invasions: Recommendations for U.S. policy and management. *Ecological Applications*, 16(6), 2035–2054. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2035:BIRFUP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2035:BIRFUP]2.0.CO;2)
- Margaritora, F. G., Ferrara, O., & Vagaggini, D. (2001). Predatory impact of the mosquitofish (*Gambusia holbrooki* Girard) on zooplanktonic populations in a pond at Tenuta di Castelporziano (Rome, Central Italy). *Journal of Limnology*, 60, 189–193.
- Moutopoulos, D. K., & Stergiou, K. I. (2002). Length–weight and length–length relationships of fish species from the Aegean Sea (Greece). *Journal of Applied Ichthyology*, 18(3), 200–203.
- Nguyen, H., Bell, J. D., & Patil, J. G. (2021). Daily ageing to delineate population dynamics of the invasive fish *Gambusia*

holbrooki: Implications for management and control. *Biological Invasions*, 23, 2261–2270.

Norazmi-Lokman, N. H., Purser, G. J., & Patil, J. G. (2016). Gravid spot predicts developmental progress and reproductive output in a livebearing fish, *Gambusia holbrooki*. *PLOS ONE*, 11(1), 1–18.

Özuluğ, M., Saç, G., & Gaygusuz, Ö. (2013). İstilacı özellikteki *Gambusia holbrooki*, *Carassius gibelio* ve *Pseudorasbora parva* (Teleostei) türleri için Türkiye'den yeni yayılım alanları. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 28(1), 1–22.

Patimar, R., Ghorbani, M., Gol-Mohammadi, A., & Azimi-Glugahi, H. (2011). Life history pattern of mosquitofish *Gambusia holbrooki* (Girard, 1859) in the Tajan River (Southern Caspian Sea to Iran). *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 29, 167–173.

Peller, T., & Altermatt, F. (2024). Invasive species drive cross-ecosystem effects worldwide. *Nature Ecology & Evolution*, 8(6), 1087–1097.

Pérez-Bote, J. L., & López, M. T. (2005). Life-history pattern of the introduced eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki* (Baird & Girard, 1854), in a Mediterranean-type river: The River Guadiana (SW Iberian Peninsula). *Italian Journal of Zoology*, 72(3), 241–248.

Pyke, G. H. (2005). A review of the biology of *Gambusia affinis* and *Gambusia holbrooki*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15, 339–365.

Pyke, G. H. (2008). Plague minnow or mosquito fish? A review of the biology and impacts of introduced *Gambusia* species.

Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 39, 171–191.

- Ranathunge, T., Kusumawathie, P. H. D., Abeyewickreme, W., Udayanga, L., Fernando, T., & Hapugoda, M. (2021). Biocontrol potential of six locally available fish species as predators of *Aedes aegypti* in Sri Lanka. *Biological Control*, 160, 104638.
- Rice, J. A., & Sax, D. F. (2005). Testing fundamental evolutionary questions at large spatial and demographic scales: species invasions as an underappreciated tool. In: Sax, D. F., Stachowicz, J. J., & Gaines, S. D. (Eds.), *Species Invasions: Insights into Ecology, Evolution, and Biogeography*. Sinauer Associates, Sunderland, pp. 291–308.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 191, 1–382.
- Rubio-Gracia, F., Garcia-Berthou, E., Latorre, D., et al. (2020). Differences in swimming performance and energetic costs between an endangered native toothcarp (*Aphanius iberus*) and an invasive mosquitofish (*Gambusia holbrooki*). *Ecology of Freshwater Fish*, 29, 230–240.
- Ruiz-Navarro, A., Moreno-Valcárcel, R., Torralva, M., & Oliva-Paterna, F. J. (2011). Life-history traits of the invasive fish *Gambusia holbrooki* in saline streams (SE Iberian Peninsula): Does salinity limit its invasive success? *Aquatic Biology*, 13, 149–161.
- Saç, G., Ağdamar, S., Acar, Ü., & Giannetto, D. (2025). Seasonal and spatial variation in the diet of *Gambusia holbrooki* in different water bodies of Karaburun Peninsula (Western Türkiye). *Diversity*, 17, 51.

- Strange, R. J. (1996). Field examination of fishes. In: Murphy, B. R., Willis, D. W. (Eds.), *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society, Bethesda, pp. 433–446.
- Şekercioğlu, Ç. H., Anderson, S., Akçay, E., Bilgin, R., Can, Ö. E., Semiz, G., & Dalfes, H. N. (2011). Turkey's globally important biodiversity in crisis. *Biological Conservation*, 144, 2752–2769.
- Tarkan, A. S., Marr, S. M., & Ekmekçi, F. G. (2015). Non-native and translocated freshwater fish species in Turkey. *Fishes in Mediterranean Environments*, 3, 28.
- Tesch, F. W. (1971). Age and growth. In: Ricker, W. E. (Ed.), *Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters*. Blackwell Scientific Publications, Edinburgh, pp. 99–130.
- Toussaint, A., Beauchard, O., Oberdorff, T., Brosse, S., & Villéger, S. (2016). Worldwide freshwater fish homogenization is driven by a few widespread non-native species. *Biological Invasions*, 18, 1295–1304.
- Turner, C. L. (1941). Morphogenesis in the gonopodium in *Gambusia affinis affinis*. *Journal of Morphology*, 69(1), 161–185.
- Vidal, O., García-Berthou, E., Tedesco, P. A., & García-Marín, J. L. (2010). Origin and genetic diversity of mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) introduced to Europe. *Biological Invasions*, 12, 841–851.
- Villéger, S., Grenouillet, G., & Brosse, S. (2014). Functional homogenization exceeds taxonomic homogenization among European fish assemblages. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 1450–1460.

- Vitousek, P. M., D'Antonio, C. M., Loope, L. L., Rejmánek, M., & Westbrooks, R. (1997). Introduced species: A significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology*, 21, 1–16.
- Vondracek, B., Wurtsbaugh, W. A., & Cech, J. J. (1988). Growth and reproduction of the mosquitofish, *Gambusia affinis*, in relation to temperature and ration level: Consequences for life history. *Environmental Biology of Fishes*, 21(1), 45–57.
- Walton, W. E., Henke, J. A., Why, A. M. (2011). *Gambusia affinis* (Baird and Girard) and *Gambusia holbrooki* Girard (Mosquitofish). In: Francis, R. (Ed.), *A Handbook of Global Freshwater Invasive Species*. Earthscan, London, UK, Chapter 22, pp. 261–273.
- Wootton, R. J. (1998). *Ecology of Teleost Fishes*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Yogurtcuoglu, B., & Ekmekci, F. G. (2017). Variation in life history and feeding ecology of the invasive eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki* Girard, 1859 (Poeciliidae), in a groundwater-dependent wetland in Turkey. *Acta Zoologica Bulgarica*, 69, 117–130.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Zarev, V. Y. (2012). Some life-history traits of *Gambusia holbrooki* (Pisces: Poeciliidae) from Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, 64, 263–272.

BÖLÜM 2

İLAÇ BİTKİ ETKİLEŞİMLERİ

LEYLA GÜVEN¹, ASLI POLAT^{2*}

Giriş

Bitkiler, insanlık tarihi boyunca hastalıkları önlemek ve tedavi etmek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Günümüzde tıbbi bitkilere olan yönelimin artmasında geleneksel ilaçlara erişim imkanlarının kısıtlılığı, sentetik ilaçlara karşı duyulan güvenin azalması ve doğal ürünlerin her koşulda güvenli olduğu yönündeki yanlış kanı etkili olmaktadır. Ayrıca medyanın bu ürünlerin kullanımını teşvik edici etkisi de bitkisel kökenli tedavi yöntemlerinin popülerliğini artıran temel unsurlardandır. (Gökkaya & ark., 2021: 179) Bitkisel ürünler başta diyabet, hipertansiyon, hiperlipidemi, kanser ve immün sistem bozuklukları gibi kronik hastalıkların yönetiminde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bunun yanı sıra anksiyete ve depresyon gibi psikolojik durumlar, gastrointestinal sistem şikayetleri ve üst solunum yolu enfeksiyonlarının hafifletilmesinde de sıklıkla tercih edilmektedir. Ayrıca, bireylerin fiziksel ve bilişsel kapasitelerini artırma

¹ Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Botanik AD., ORCID: 0000-0002-3189-6415

² Öğrenci, Atatürk Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, ORCID: 0009-0001-0589-4686

beklentisiyle bu ürünlere başvurduğu görülmektedir. (Kalkan, 2017: 41) Tıbbi bitki ve ilaç etkileşimleri emilim, dağılım, metabolizma ve atılım süreçlerini kapsayan farmakokinetik etkileşimler ile farmakodinamik etkileşimler olmak üzere iki temel kategoride ele alınmaktadır. Farmakokinetik düzeydeki etkileşimler çoğunlukla enzim inhibisyonu veya indüksiyonu mekanizmalarıyla şekillenirken bu durum ilacın vücuttaki biyoyararlanımını doğrudan etkilemektedir. Söz konusu etkileşimler, özellikle terapötik penceresi dar olan ve doz hassasiyeti yüksek ilaçları kullanan hastalarda klinik açıdan kritik ve ciddi komplikasyonlara yol açabilmektedir. (Gökkaya & ark., 2021: 179)

Bu derleme çalışması ise günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan bitkisel ürünlerin potansiyel risklerini ve konvansiyonel ilaçlarla olan etkileşimlerini bilimsel bir perspektifle ele almayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda bitki ve bitkisel ürünlerin kullanım alanları ile gıda, baharat ve tıbbi amaçlı tüketim eğilimleri incelenmiştir. Araştırmanın odak noktasını oluşturan ilaç-bitki etkileşimleri *Hypericum perforatum*, *Panax ginseng* C.A.Mey, *Ginkgo biloba* L., *Allium sativum* L., *Valeriana officinalis* L., *Glycyrrhiza glabra* L., *Echinacea purpurea* L. Moench, *Silybum marianum* L. Gaertn., *Passiflora incarnata* L. (Çarkıfelek), *Humulus lupulus* L., *Lavandula angustifolia* Mill., *Camellia sinensis* L. Kuntze, *Urtica dioica* L., *Achillea millefolium* L., *Matricaria chamomilla* L. olmak üzere literatürde etkileşim sıklığı en yüksek olan 15 farklı bitki türü üzerinden detaylandırılmıştır.

Bitki ve Bitkisel Ürün Kullanımı

Bitkilerin çeşitli kısımlarından elde edilen ilaçlar, tarih boyunca gıda, baharat ve tıbbi amaçlarla kullanılmıştır. Günümüzde, teknoloji geliştikçe bu bitkilerin kullanım alanları genişlemiştir ve çok çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır).

Tıbbi bitkilerin tam tanımı mümkün değildir. "Tıbbi" ve "aromatik" bitkiler sözcükleri günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. Hastalıkları önlemek, sağlığı sürdürmek veya hastalıkları iyileştirmek için tıbbi ve aromatik bitkiler kullanılır. Tıbbi bitkiler, beslenme, kozmetik, vücut bakımı, tütsü veya dini törenlerde kullanılırken, aromatik bitkiler ise tat ve kokuları için kullanılır. Aromatik bitkiler gıda, kozmetik ve parfümeri sektöründe de kullanılır. Bitkisel ilaçlar, işlenmemiş veya işlenerek bir veya daha fazla bitkiden elde edilen bileşim maddeleri içeren tedavi edici özelliklere sahip veya insan sağlığına faydalı olan bitkilerden elde edilen maddeler veya ürünlerdir. Bitkisel ilaçların üç türü vardır: işlenmemiş bitkisel materyal, işlenmiş bitkisel materyal ve tıbbi şifalı ot ürünleri. Tıbbi ve aromatik bitkiler; bitkiler, etken maddeler ve tüketim alanları açısından çok geniş bir alan içerir. Bu nedenle, şu anda yaygın olarak kullanılan bir sınıflandırma olmamasına rağmen, genellikle ailelerine, içerdikleri etken maddelere, tüketim ve kullanımına, yararlanılan organlarına ve farmakolojik etkilerine göre gruplanabilirler. Bununla birlikte en yaygın yöntem etken maddelerine göre gruplandırmadır. Bir bitkinin terapötik olarak kullanılabilmesi için farmakolojik kodekslere kayıtlı olması gerekir. (Faydaoğlu & Sürücüoğlu, 2011: 52)

Bitkilerin kullanım alanları

Gıda ve baharat olarak kullanımı

Beslenme amacıyla bitki toplamacılığının ülkemizde önemli bir geçmişi vardır. Halk ihtiyaçlarını karşılamak için yakındaki dağ ve ormanlardan yararlanır. Kırsal bölgelerde hala bu gelenek sürmektedir. Çok sayıda yabani bitkinin toprak üstü kısımları veya kökleri sebze olarak kullanılır. Çiğ veya pişmiş olarak yenebileceği gibi kurutularak, salamura olarak veya turşu olarak da tüketilebilir. Ege ve Karadeniz bölgelerindeki zengin bitki örtüsüne ek olarak ülkemizde bir "ot kültürü" de vardır, ancak bu kültürün yeterince

araştırıldığı söylenemez. Bununla birlikte, belirli coğrafi bölgelerde (özellikle Batı ve Güney Anadolu), sebze olarak kullanılan çeşitli bitkiler, ilgili mevsim geldiğinde ticarete sunulur ve daha sonra bölgesel pazarlara taşınır. Yerli bitki türlerinin koku ve lezzet geliştirme amacıyla kullanılması da benzer şekilde yaygındır. Çok sayıda bitki türü (özellikle *Allium*, *Origanum*, *Mentha* ve *Thymus* cinsleri içinde kategorize edilenler), mutfak preparatlarına farklı tatlar ve aromalar vermek için kullanılır. Bazı türlerin (özellikle *Salvia* ve *Sideritis* cinslerinin) yaprakları veya çiçek yapıları yaygın olarak “adaçayı”, “dağcı”, “yayla” gibi adlandırmalarla tanınır ve bunlardan elde edilen infüzyon sıcak bir içecek olarak alınır. Bu kullanım şekli, kent merkezlerinin yanı sıra Batı ve Güney Anadolu'nun dağlık köylerinde de oldukça yaygındır. (Faydaoğlu & Sürücüoğlu, 2011: 52)

Tıbbi amaçlı kullanımı

Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, dünya nüfusunun %80'i temel sağlık gereksinimleri için geleneksel tıpa bağlı durumdadır. Yerel ilaçların yaratılmasında ve çeşitli hastalıkların tedavisinde bitkisel ürünlerin kullanımı önemli ekonomik kazançlar sağlamaktadır. İletişim araçlarının sınırlı olması, yoksulluk, cehalet ve modern sağlık hizmetlerinin eksikliği nedeniyle, özellikle kırsal alanlarda bulunan pek çok insan, günlük rahatsızlıklarını gidermek için hâlâ geleneksel ilaçlara başvurmaktadır. Tıbbi bitkilerin bireyler ve toplumlar için sağlık açısından büyük bir önemi vardır. Bitkilerin tıbbi değeri, insan vücudunda belirgin fizyolojik etkiler oluşturan bazı kimyasal aktif bileşenlerde gizlidir. Bitkiler, biyoaktif kimyasallar için zengin bir kaynak olarak görülmekte ve sivrisinek kontrolünde alternatif bir çözüm sunabilirler. Bitkilerden elde edilen ikincil metabolitler veya fitokimyasallar, önemli farmakolojik aktiviteler göstermekte olup, antioksidan, antialerjik, antibiyotik, hipoglisemik ve anti-kanserojen gibi özelliklere sahiptir. Bu ikincil metabolitler, hücreleri, serbest radikaller denilen kararsız

moleküllerin neden olduğu hasarlardan koruma işlevini görmektedir (Bamola & ark., 2018: 1550).

Bitkilerin hastalıklardaki kullanımları: Bitkisel droglar, çeşitli sağlık sorunlarının destekleyici tedavisinde uzun süredir kullanılmakta olup halk tıbbında önemli bir yer tutmaktadır. Aşağıda farklı rahatsızlıklara yönelik geleneksel kullanım alanları sistematik olarak sınıflandırılmıştır.

Böbrek fonksiyon bozukluklarında kullanılan bitkiler: Ölmezçiçek, ayrikotu, atkuyruğu.

Kabızlık şikâyetlerinde kullanılan bitkiler: Sinirliot tohumu, sinemaki, rezene, keten tohumu.

Kalp ve damar sağlığında olarak kullanılan bitkiler: Ökseotu, alıç.

Kanserden korunma amaçlı kullanılan bitkiler: Isırganotu, kırmızı biber, ökseotu.

Karaciğer sağlığını destekleyici bitkiler: Enginar, hindiba, kurtpençesi, meryemana diken, zerdeçal.

Menopoz dönemi semptomlarında kullanılan bitkiler: Papatya, civanperçemi, adaçayı, tarçın, anason.

Gastrointestinal sistem rahatsızlıklarından mide kanamalarında kullanım: Civanperçemi, kuşburnu, sumak.

Mide bulantısı ve ağrılarında kullanılan bitkiler: Eğir kökü, nane, zencefil

Prostat büyümesinin destekleyici tedavisinde kullanılan bitkiler: Eğirkökü, yeşil çay, zerdeçal, ısırganotu kökü.

Cinsel isteksizlikte kullanılan bitkiler: Demirdiken, kakule, meyan kökü, safran, zencefil.

Hazımsızlık şikâyetlerinde kullanılan bitkiler: Anason, dereotu, havlıcan, kakule, kimyon, papatya, rezene, yenibahar, zencefil.

Hemoroit tedavisinde kullanılan bitkiler: Civanperçemi, kuşburnu, mazı, sultanotu, zencefil.

Romatizmal ağrılarda kullanılan bitkiler: Anason, atkuyruğu, biberiye, karanfil, kekik, lavanta, melisa, papatya.

Safra kesesi rahatsızlıklarında kullanılan bitkiler: Altın otu, civanperçemi, kara hindiba, pelinotu, zerdeçal.

Soğuk algınlığı, üşütme ve öksürükte kullanılan bitkiler: Ardiç, ebegümeci, ekinezya, ıhlamur, karanfil, meyan kökü, nane, okaliptüs, papatya, zencefil.

Stres, depresyon ve anksiyete durumlarında kullanılan bitkiler: Anason, kantaron, lavanta, melisa, papatya, rezene, şerbetçi otu.

Hafıza zayıflığı ve unutkanlıkta kullanılan bitkiler: Adaçayı, biberiye, kakule, yeşil çay, zencefil.

Uyku bozukluklarında tercih edilen bitkiler: Anason, çuha çiçeği, kediotu, melisa, papatya, rezene, şerbetçi otu.

Yorgunluk ve enerji eksikliğinde kullanılan bitkiler: Adaçayı, biberiye, meyan kökü, kakule, kekik, kuşburnu, zencefil.

Yüksek kolesterolde kullanılan bitkiler: Biberiye, kekik, kuşburnu, üzüm çekirdeği, yeşil çay, zencefil.

Yüksek kan şekere karşı kullanılan bitkiler: Kudretnarı, mahlep, tarçın, mersin yaprağı.

Zayıflamaya yönelik bitkisel karışımlar: Biberiye, kiraz sapı, mısır püskülü, rezene, sinemaki, zencefil, zerdeçal, yeşil çay. (Faydaoğlu & Sürücüoğlu, 2011: 52)

İlaç Bitki Etkileşiminin Önemi

Bitkisel ürünler, birden fazla aktif bileşene sahip olmaları nedeniyle etkileşim olasılığını artırmaktadır. Teorik olarak, ilaç-bitki etkileşimlerinin meydana gelme ihtimali, ilaç-ilâç etkileşimlerine kıyasla daha yüksek olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, kullanıcılar bitkisel ürün kullanımı sonucu ortaya çıkan yan etkileri genellikle hekime bildirmemekte ya da bu yan etkilerin, masum olarak görülen bitkisel üründen kaynaklanmadığını düşünerek farklı bir hastalık ile ilişkilendirmektedir. Bitkisel ürünlerin bilinçsiz şekilde ve tıbbi gözetim olmaksızın kullanılmaları, çok sayıda yan etkinin ve etkileşimlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Özellikle yaşlı bireylerde fizyolojik fonksiyonların yaşa bağlı olarak bozulması, bitkisel ürünlerin neden olduğu morbidite ve mortalite riskini artırmaktadır. Bitkilerle en sık etkileşime giren ilaç varfarin olurken, bitkilerden ise sarı kantaron en yaygın olarak ilaçlarla etkileşim göstermektedir.(Taneri, 2017)

İlaç Bitki Etkileşim Sıklığı

Olası ilaç-bitki etkileşimlerinin sıklığını belirlemek amacıyla birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde gerçekleştirilen bir çalışmada, yetişkin popülasyonda bitkisel ürün kullanım oranının %14 olduğu tespit edilmiş, bu oranın yaşın ilerlemesiyle arttığı gözlenmiştir. Aynı zamanda, düzenli ilaç kullanan bireylerin %16'sının 37 farklı bitkisel ürün veya besin desteği kullandığı ve bu durumun kişilerde etkileşim riski oluşturduğu belirlenmiştir. Başka bir çalışmada ise yaşlı kadınlar üzerinde yapılan inceleme sonucunda katılımcıların %74'ünde en az bir ilaç-ilâç veya ilaç-bitki etkileşimi tespit edilmiş, toplam etkileşimlerin %52'sinin ilaç-bitki etkileşimlerinden oluştuğu rapor edilmiştir.(Taneri, 2017)

İlaç Bitki Etkileşimine En Sık Neden Olan Bitkiler

Hypericum perforatum (Sarı Kantaron)

Sarı kantaron bitkisi, (Latince ismi *Hypericum perforatum* L.), Hypericaceae ailesine mensup bir bitkidir. Bu çok yıllık otsu bitki, ılıman ve tropik iklimlerde doğal olarak yetişir. Özellikle Avrupa, Asya, Kuzey Afrika ve Kuzey Amerika'da yaygındır. Dünya genelinde 500'den fazla türü bulunan bu bitkinin, Türkiye'de 108 çeşiti bulunmaktadır. *H. perforatum* L., uzun zaman boyunca tedavi edici özellikleriyle bilinen önemli bir tıbbi bitkidir. St. John's wort, mayasıl otu, yara otu, kılıç otu, binbirdelik otu, koyunkıran, kan otu ve kuzukıran gibi farklı isimleri de bulunur.(Şengül & ark., 2021: 1)

Sarı kantaron, karmaşık ve zengin bir kimyasal içeriğe sahiptir. İçeriğinde yer alan maddeler arasında uçucu yağlar (%0,05 ila %0,3 arasında, α -pinen ve sineol da dahil), antrakinonlar, karotenoidler, kumarin, flavonoidler (%0,5-1,0, hiperozid, kuersetin ve rutin gibi), naftodianthronlar (%0,1-0,3'ün %80-90'ı hiperisin ve psödohiperisindir), karbolik asitler, floroglusinler (%3'e kadar hiperforin), ksantonlar ve proantosiyanidinler bulunmaktadır. Daha önce yapılan farmakolojik araştırmalarda en çok ilgi çeken bileşenleri hiperisin, psödohiperisin ve naftodianthronlardır. Bu durum, bitkinin antiviral özelliklerine katkı sağlamaya ek olarak (erken in vitro verilere dayanarak) bitkinin antidepresan etkilerine de katkı sağladığına dair düşünceleri desteklemektedir. Ancak güncel çalışmalar, hiperforin ve potansiyel olarak flavonoid bileşenlerin de bitkinin antidepresan etkilerine katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.(Mullaicharam & Halligudi, 2018: 5)

Sarı kantaron geçmişten beri, kaygı, uykusuzluk, migren, heyecan, yorgunluk gibi nörolojik ve psikiyatrik bozuklukların tedavisinde kullanılmıştır. Ayrıca, bu bitkinin hafif ve orta düzey depresyonun kısa dönem tedavisinde faydalı olduğu da kanıtlanmıştır. Bu bitkinin ilaç etkisi, içinde bulunan hiperisin ve hiperforin maddelerinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra, gastrit, gut, kanama, akciğer hastalıkları ve romatizma gibi rahatsızlıkların tedavisinde ve idrar söktürücü olarak da

kullanılmaktadır. Bitkiden yapılan farklı ilaçlar, yanıklar, hemoroidler, iltihaplar, böcek ısırıkları, kaşıntı, güneş yanığı ve yaraların tedavisinde yerel olarak uygulanmıştır.(İstanbuluoğlu & Çeliker, 2018: 291)

***Hypericum perforatum* İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları:**

Sarı kantaron ile en fazla etkileşime giren ilaçların siklosporin, loperamid, nefazodon, oral kontraseptifler, paroksetin, sertralin, teofilin, venlafaksin ve varfarin olduğu çeşitli çalışmalarda yayınlanmıştır. Sarı kantaron bu ilaçları metabolize eden enzimlerin aktivitesini artırarak bu etkileşimlere sebep olmaktadır. Sarı kantaron ile kullanıldığında etkileri azalan ilaçlar arasında ise Siklosporin, etinilöstradiol, desogestrel, oral kontraseptifler, HMG-CoA redüktaz inhibitörleri, midazolam, nifedipin, proteaz inhibitörleri, non-nükleozit revers transkriptaz inhibitörleri, varfarin ve trisiklik antidepresanlar yer almaktadır. Sarı kantaron özetlenen ilaçlar dışında birçok ilaç ile etkileşim potansiyeline sahiptir. Örneğin, sarı kantaronun imatinib'in yarı ömrünü kısaltarak ilacın maksimum konsantrasyon düzeyini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda irinotekanın aktif metabolitinin plazmadaki seviyesini %42 oranında azaltmıştır. Bu nedenle, topoizomeraaz inhibitörü kemoterapi alan kanser hastalarının sarı kantaron ürünlerinden uzak durmaları önerilmektedir. Konvansiyonel antidepresanlarla birlikte alındığında, serotonin seviyelerinde aşırı yükselmeye yol açtığı ve bazı durumlarda serotonin sendromu görüldüğü bildirilmiştir. Epilepsili hasta popülasyonunda bitkisel ürün kullanım eğilimleri üzerine yapılan araştırmalar, sarı kantaronun kullanım prevalansının %7 civarında seyrettiğini ortaya koymaktadır. Araştırmalar, sarı kantaronun karbamazepin metabolizmasını ve klirensini indüklediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, sarı kantaronun CYP2C19 üzerinde bir indükleyici olduğu ve fenitoin klirensini önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir.

Sarı kantaron ile fenitoin gibi CYP2C19 substratlarını bir arada kullanmaktan kaçınılmalıdır. Tek bir sarı kantaron dozu digoksinin farmakokinetiği üzerinde bir değişiklik yaratmazken, çoklu doz uygulamasından sonra digoksin farmakokinetiğindeki değişikliklerin bağırsak P-glikoproteininin indüklenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum, digoksin emilimini azaltarak etkisinin de azalmasına sebep olmaktadır. Ek olarak, sarı kantarondaki tanninlerin demir emilimini olumsuz etkileyebileceği de göz ardı edilmemelidir. Sarı kantaron, ilaç etkileşimleri nedeniyle kullanılan ilaçların plazma konsantrasyonlarını düşürerek istenen etkilerin oluşumunu engelleyebilir. Bu nedenle, başka ilaçlarla birlikte kullanılacağı zaman bazı hususlar dikkate alınmalıdır:

Oral kontraseptif (OKS) kullanan genç kadınlarda kısa süreli sarı kantaron kullanımında ara kanamalar yaşandığı bildirilmiştir. Ayrıca, OKS ve sarı kantaronu birlikte kullanan bazı kadınların hamile kaldığı da rapor edilmiştir. Bu durumun östrojen ile etkileşiminden ötürü olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple OKS kullanan kadınlar sarı kantaron kullanımı konusunda dikkatli olmalıdır.

Siklosporin ve takrolimus gibi immünsüpresan ilaçlar kullanan hastaların, organ reddi riskinden kaçınmak amacıyla sarı kantaron almaması gerekir. Varfarin ile birlikte sarı kantaron kullanımı durdurulduğunda veya varfarin dozu artırıldığında antikoagülan etki düzelmektedir.

H. perforatum, ilaçların eliminasyonunda önemli rol oynayan adenosin trifosfata bağımlı bir taşıyıcı olarak P-glikoproteinini aktivitesini artırmaktadır. Ayrıca, yüksek dozlarda ilaç metabolizmasından sorumlu sitokrom P450 enzimlerini de aktive etmektedir. Bu nedenlerle *H. perforatum*'un farklı ilaçlarla bir arada kullanımında dikkatli olunmalıdır.(Şengül & ark., 2021: 1)

Panax ginseng C.A.Mey.

Panax ginseng, Araliaceae familyasına ait bir bitkidir ve kökleri ile diğer preparatları, yüzyıllardır özellikle Doğu Asya toplumlarında geleneksel tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır. Bu bitki, ülkemizde Çin ginsengi olarak tanınmaktadır. Geleneksel olarak yorgunluk, bitkinlik ve mental ile fiziksel performansın düşmesi durumlarında tonik olarak görev yapar. Ayrıca, dikkat eksikliğini düzeltmek ve hastalık sırasında genel sağlık durumunu iyileştirmek için de kullanılır. *P. ginseng*, polisakkaritler, ginsenositler, peptitler ve ligandlar gibi çeşitli bileşenleri içermektedir. Bu bitkinin en önemli aktif maddeleri ginsenositlerdir. (Apaydın & Aydın, 2018: 11)

Panax ginsengi, esas olarak vücudun denge durumunu sürdürebilmesi için kullanılmaktadır. Modern bilimle belirlenen ginsengin farmakolojik etkileri arasında daha iyi beyin işlevi, ağrı azaltma özellikleri, tümörlere karşı koruma etkileri ve tümör önleyici faaliyetler bulunmaktadır. Ayrıca bağışıklık sistemi işlevinin güçlenmesi, diyabetle mücadelede faydaları, karaciğer fonksiyonunun geliştirilmesi, kan basıncının dengelenmesi, yorgunluğu ve stresi azaltıcı etkilere sahip olduğu gibi menopoza sorunlarını ve cinsel işlev bozukluklarını iyileştirme ile antioksidan özellikleri ve yaşlanmaya karşı etkileri de söz konusudur. (Choi, 2008: 1109)

Panax ginseng İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları: *P. ginseng* MAO inhibitörleri ile birleştğinde ek etkiler oluşturabilir. Tranilsipromin ve izokarboksazid ile alındığında, *P. ginseng*'in merkezi sinir sistemi üzerinde etkileri, manik durumlar, baş ağrısı, uykusuzluk ve tremor gibi belirtilerle daha fazla görünme riski taşıdığı bildirilmektedir. Varfarin ile kullanımı sırasında, varfarinin etkisini azaltarak antikoagülan etkinin düşmesine yol açabilir. Bu durum, aşırı kanama ve tromboz riskinin artmasına neden olabilir. Ayrıca, ginseng ile fenelzin ya da varfarinin etkileşimlerinin de mümkün olabileceği belirtilmektedir. Furosemid, torsemid, bumetanid ve etakrinik asit gibi ilaçlarla bir arada kullanıldığında,

bitkinin diüretik etkisinin azalabileceği duyurulmuştur. *P. ginseng*'in CYP3A4 enzimine etkisi sebebiyle nifedipinle kullanılması, nifedipin'in plazma seviyelerinde artışa ve bu nedenle yan etkilerinde yükselmeye yol açabileceği bildirilmiştir. Ginseng ile digoksin kullanımının, digoksinin serum veya plazma düzeylerinde artış gösteren farmakokinetik etkileşimler yaratabileceği de belirtilmektedir. Ayrıca, bitkinin kan şekerini azaltma özellikleri nedeniyle antidiyabetik ilaçlarla birlikte kullanılması, bu ilaçların etkilerini artırabilir. İnsülin gibi hipoglisemik ilaçlarla beraber alındığında ise insülin etkisinin güçlenmesine neden olabileceği bildirilmektedir. (Apaydın & Aydın, 2018: 11)

Ginkgo biloba L. (Japon Eriği)

Ginkgo biloba L. (Ginkgoaceae), Çin'e özgü olan ve yaygın olarak ginkgo ya da kız saçı ağacı olarak adlandırılan iki evcikli ağaç türlerinden biridir. (Cziple & ark., 2023: e16149)

G. biloba yapraklarında iki ana aktif bileşen bulunmaktadır: terpen laktonları ve Ginkgo flavon glikozitleri bu bileşenler farklı konsantrasyonlarda bulunur. *G. biloba* yaprak özütü, zihinsel dikkat üzerinde sağladığı etkiler nedeniyle dünya genelinde en çok tercih edilen sağlık takviyelerinden biri olarak kabul edilmektedir. (Mai & ark., 2025: e0321804) Nörodejeneratif hastalıkların, tinnitusun, vertigonun, glokomun, periferik vasküler hastalıkların, kognitif hastalıkların ve Alzheimer'in tedavisinde yer aldıkları görülmektedir. (Gezmen Karadağ & ark., 2013: 164)

Ginkgo biloba İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları: *Ginkgo biloba* enzim CYP4A3'ün etkinliğini inhibe eder. CYP4A, CYP2C9, CYP2C19 ve CYP1A2'nin aktivitelerini artırabilir. Ayrıca, P-glikoproteinini engelleyerek ilaçların etkilerinin azalmasına sebep olabilir. Ratlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda ginkgo ve soğan kullanıldığında siklosporin'in serum seviyelerinin azaldığı gözlenmiştir. Başka bir çalışmada ise, iki vakada ginkgo alımının

valproik asit düzeylerinde bir değişiklik yaratmadığını, ancak iki hafta içinde nöbetlerin meydana geldiği bildirilmiştir.(Doğan & Avcı, 2018: 49) Glukoz düşürücü ilaç olan tolbutamidin etkisi, ginkgo kullananlarda artış göstermektedir. Ginkgolidler, CYP1A2, CYP2C9, CYP2C19, CYP2D6, CYP2E1, CYP3A4 ve P-gp enzimlerini inhibe eden bileşenlerdir. Bu bileşenler, ilaç emilimini azaltarak ve vücuttan atılımını artırarak etkilerini gösterir. Ayrıca, ginkgolidler, trombosit aktive edici faktörün (PAF) engelleyicileridir. Ginkgo flavonoidleri kan akışını düzenler ve vazopressin seviyesini etkiler. GABA A antagonisti olarak görev yaparak nörolojik koruma sağlar. Biflavonlar (ginkgetin, izoginkgetin, bilobetin ve amentoflavon) ile bazı flavonoidler (apigenin, kuersetin, izoramnetin, luteolin ve kaempferol) trombin aktivitesini azaltır. (Cziple & ark., 2023: e16149)

Etkileşimler hem farmakokinetik hem de farmakodinamik düzeyde gelişebilir. *Ginkgo biloba*, kumarin türevleri gibi kan sulandırıcıların etkisini artırabilir. Aynı anda antikoagülan (örneğin varfarin ve fenprokumon) ve antiplatelet tedavisi (örneğin, klopidoğrel, asetilsalisilik asit ve diğer nonsteroidal anti-inflamatuar ilaçlar) alan kişiler, *Ginkgo* ürünlerini kullanmadan önce mutlaka bir doktora danışmalıdır. *Ginkgo biloba* ürünleri ile efavirenz (nükleozid olmayan bir ters transkriptaz inhibitörü) birlikte kullanılması tavsiye edilmez, çünkü efavirenz'in plazmadaki seviyeleri CYP3A4'ün etkisiyle düşebilir. Talinolol (seçici bir beta bloker) ile yapılan bir etkileşim incelemesi, *Ginkgo biloba*'nın P-gp enzimini inhibe edebileceğini göstermektedir. Bu durum, bağırsakta P-gp enzimi tarafından etkilenen ilaçların, örneğin dabigatran eteksilat (doğrudan trombin inhibitörü), daha yüksek seviyelerde bulunmasına yol açabilir; bu nedenle *Ginkgo biloba* ve dabigatran birlikte kullanılırken dikkatli olunması önerilir. Nifedipinin (kalsiyum kanal blokeri) Cmax değerinin bazı bireylerde %100 artabileceğini ve bunun sonucunda baş dönmesi ve sıcak basması

şikayetlerinin şiddetinin arttığını gösteren bir etkileşim araştırması gerçekleştirilmiştir.(Cziple & ark., 2023: e16149)

Allium sativum L. (Sarımsak)

Sarımsak (*Allium sativum*), hem baharat hem de bitkisel destek olarak bilinen, elde edilen ve kan basıncının korunmasına yardımcı olan yaygın bir maddedir. Antihipertansif, antikoagülan, antimikrobiyal, immün sistem modulatorü, antilipidemik, hipoglisemik ve fibrinolitik gibi amaçlarla kullanılır.(Doğan & Avcı, 2018: 49) Sarımsak, farklı biyoaktif bileşiklere sahiptir; bunlar arasında organosülfür bileşenleri, saponinler, fenolik bileşikler ve polisakkaritler yer alır. Sarımsağın en önemli aktif bileşenleri arasında dialil tiyosülfonat (allisin), dialil sülfür (DAS), dialil disülfid (DADS), dialil trisülfid (DATS), E/Z-ajoen, S-alil-sistein (SAC) ve S-alil-sistein sülfoksit (alliin) gibi organosülfür bileşikleri bulunmaktadır.(Shang & ark., 2019: 246)

Allium sativum L. (Sarımsak) İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları: Sarımsak PAF, adenozin, prostaglandin ve tromboksan üretimi ve salınımını inhibe eder. Aynı zamanda aspirin, varfarin ve düşük ağırlıklı heparin gibi ilaçların aktivitelerini arttırılabilir. Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarda, CYP450 enzimlerinden CYP2C9, CYP2C19, CYP3A4 ve CYP2E1 üzerinde azaltıcı bir etki oluşturduğu rapor edilmiştir. Sarımsak yağı, CYP2E1 enziminin etkisini azaltarak klorzoksazonun metabolizmasını da inhibe ediyor.(Kalkan, 2017: 41) Yapılan bir araştırmada, yirmi bir gün süren sarımsak tedavisinin insanlarda bağırsak veya karaciğer enzimi olan CYP3A4 üzerinde bir etkisi olmadan, P-glikoprotein bağırsaktaki ifadesini artırdığı tespit edilmiştir. *A. sativum* bitkisinin kan sulandırıcılar ve trombositleri etkileyen ilaçlarla birlikte kullanımı, kanama olasılığını yükseltebilir. Sarımsak, trombosit birikimini azaltma etkisini tromboksan A2 seviyesini düşürerek, nitrik oksit miktarını artırarak ve glikoprotein IIb/IIIa reseptörlerini bloke ederek gösterir. *A. sativum*'un içindeki organosülfür

bileşenleri, pıhtılaşma süreçlerine katkıda bulunarak kan sulandırıcı etkilerde, Uluslararası Normalleştirilmiş Oran (INR) ve pıhtılaşma süresinde artışa neden olmaktadır. Bu antiplatelet etkisi, kardiyovasküler sistem için faydalı olsa da aspirin, klopidoğrel, varfarin ve heparin gibi kan sulandırıcı ilaçlarla bir arada kullanıldığında dikkatli olunması önerilmektedir. Steroid olmayan antiinflamatuvar ilaçlarla (NSAİİ'ler), birlikte kullanıldıklarında ek bir antikoagülan etki gösterebilir. İstenmeyen kanamalara yol açabildikleri için, herhangi bir ameliyattan en az 7 ila 10 gün önce yüksek miktarda sarımsak tüketimini bırakmak önemlidir. Sarımsak, indinavir, ritonavir ve sakonavir gibi HIV proteaz inhibitörlerinin plazma seviyelerini düşürebilir. Sarımsak ve sakonavir arasındaki etkileşim, sarımsağın bağırsak mukozasında p- glikoproteinleri uyarmasıyla meydana gelir ve bu da sakonavirin (P-gp substratı olarak bilinir.) biyoyararlanımını azaltır. Sarımsak ayrıca antihiperglisemik ilaçlarla etkileşime girerek etkilerini artırır. Bu nedenle, sülfonilüre grubu antidiyabetik ilaçlar (klorpropamid, glimepirid, glibenklamid vb.) kullanırken yüksek alımlarda dikkatli olunmalıdır çünkü bu hipoglisemik krizlere yol açabilir.(İstanbuluoğlu & Çeliker, 2018: 291)

Valeriana officinalis L. (Kedi Otu)

Türkiye'de kedi otu ve çoban kamışı gibi isimlerle bilinmekte olan *V. officinalis*, Valeriana cinsine ait olup Valerianaceae familyasında yer alan, Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya'ya yayılmış olan çok yıllık bir bitkidir. Yaklaşık 1,5 metreye kadar uzayabilen ya tüysüz ya da hafif tüylü bir bitki türüdür. Yaklaşık 150-200 kimyasal bileşen ile merkezi sinir sistemi üzerinde etkili olan flavonoidler ve lignanlardan oluşmaktadır. Ana bileşen olarak valerenik asit kabul edilmektedir. *V. officinalis*'in kökleri ve rizomları iki ana bileşen grubuna ayrılmaktadır: Uçucu yağdaki seskiterpenler (valerenik asit ve onun türevleri, valeranon, valeranal ve kessil esterleri) ile valepotriatlar (valtrat, didrovaltrat, asevaltrat ve izovaleroksi

hidroksivaltrat) ve ayrıca flavonoidler, triterpenler, lignanlar ve alkaloidler gibi diğer bileşenler de bulunmaktadır. Geleneksel bitkisel tedavilerde, *V. officinalis* kökleri yüzyıllardır sakinleştirici ve antispazmodik amaçlarla kullanılmaktadır. Ayrıca kalp ritim bozukluklarının tedavisi için de kullanılmaktadır. Kedi otu kökü, geçmişten günümüze uzun bir süre boyunca rahatlama ve uyku desteği sağlamak amacıyla tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra, histeri, hipokondriyazis, sinirsel huzursuzluk gibi duygusal rahatsızlıkların tedavisinde de kullanılmıştır. Taze bitkiden elde edilen su, uykusuzluk problemi ve epilepsi gibi durumlarda, narkotik etkili ve antikonvülsan olarak kullanılmaktadır. Kökü ise, uykusuzluğun yanı sıra kan, dolaşım ve zihinsel bozuklukların tedavisinde de değerlendirilmiştir. Sindirim meseleleri ve idrar yolu enfeksiyonlarının tedavisinde de geçmişten beri uygulanmaktadır. Sakinleştirici, anksiyolitik, antidepresan, antispazmodik ve anti-HIV biyoaktif özellikleri sayesinde kullanılmaktadır.(Nandhini & ark., 2018: 36)

***Valeriana officinalis* L. (Kedi Otu) İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları:** Kavalakton kavapironları (kavain, dihidrokavain, metisitisin ve dihidrometisitisin) bitkinin etken maddeleridir. Bu bileşikler, sitP450 enzim sistemini (CYP1A2, CYP2C19, CYP2C9, CYP2D6, CYP2A4 ve CYP4A9/11) engelleyerek, belirli ilaçların kan düzeylerinin yükselmesine sebep olur. Çeşitli beyin işlevlerinde rol oynar. GABA (Gama aminobütirik asit) reseptörüne bağlanır, noradrenalin ve dopaminin etkisini artırır, MAO (Monoamin oksidaz) inhibisyonu sağlar ve Na kanal reseptörüne de bağlanır. Depresyon tedavisinde kullanılan ana ilaçlarla olan etkileşimleri arasında antidepresanlar, benzodiazepinler, alkol ve barbitüratlar vardır. Anksiyete azaltıcı, sakinleştirici etkileriyle birlikte, baş ağrısı, epilepsi, solunum yolu enfeksiyonları ve idrar yolları enfeksiyonlarının tedavisinde de kullanılır. Kava kullanımının yoğunlaşması, GGT (Gama-glutamil transferaz) seviyelerinin artışı

ile ilişkilendirilerek karaciğer toksisitesini düşündürmektedir.(Doğan & Avcı, 2018: 49)

Glycyrrhiza glabra L. (Meyan Kökü)

Fabaceae familyası bitkilerinden olan *Glycyrrhiza glabra* dünyada ‘licorice’, Türkiye’de ise Meyan kökü olarak bilinir. Birçok kaynakta iltihap önleyici, balgam söktürücü, öksürüğü hafifleten ve hormonlar üzerinde etkisi olan biyolojik özellikleriyle tanımlanmaktadır. Tıbbi amaçlarla, Addison hastalığı, astım, bronşit, peptik ülser, artrit, alerjik rahatsızlıklar ve steroid tedavisi için dahili olarak kullanılır. Ayrıca karaciğeri temizler ve korur. Harici olarak ise meyan kökü, egzama, herpes ve zona tedavisinde yararlıdır. Kadınlarda bu bitki, testosteron seviyelerini düşürür ve aplastik anemiye yardımcı olur. Bunlara ilaveten, meyan kökü özü otoimmün hastalıklarda tedavi edici etkiler sunar ve AIDS (Kazanılmış Bağışıklık Yetersizliği Sendromu) gibi bağışıklık yetmezliği durumlarında faydalı olabilir. Meyan kökünden elde edilen bileşenler hem östrojenik hem de anti-östrojenik etki gösterir. Bu nedenle, kadınlara özgü hormonlarla ilgili sorunların tedavisinde önemli bir bitkidir. Özellikle dalak ve mideye enerji veren bir tonik olarak kullanılır, kökü birçok formülün içinde yer alır. *Glycyrrhiza glabra*'nın kökleri, genitoüriner hastalıklarda tonik, yumuşatıcı ve müshil olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, antikanser, antiviral, antiülser, antidiyabetik, antioksidan, antitrombotik, antimalaryal, antifungal, antibakteriyel, bağışıklık sistemini güçlendirici, antikonvülsan, antialerjik ve balgam söktürücü özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir. Bunlara ek olarak antidepresan, hipotansif, hepatoprotektif, spazmolitik ve hafızayı geliştiren etkileri olduğu da gösterilmiştir. (Kaur & ark., 2013: 2470) *G. glabra* 'nın kök bölümlerinden çok sayıda bileşik izole edilmiştir. Suda çözünen biyolojik olarak aktif kompleks, kuru ağırlığının %40-50'sini oluşturur. Bu kompleks nişastaları (%30), triterpenoidleri (glisirizik asit gibi), kumarinleri (glükumarin, glizerin ve glizirol gibi),

flavonları (liquiritin ve liquiritigenin gibi), kalkanları (isoliquiritigenin ve likokalkon A gibi), izoflavonları (örneğin, glabridin), stilbenoidleri, pektinleri, polisakkaritleri, basit şekerleri, sakızları, müsilaj (ksap), amino asitleri, mineral tuzları, asparajinleri, östrojen, tanenler, glikozitleri, proteinleri, reçineleri, steroller, uçucu yağları ve diğer çeşitli maddeleri içerir. Glisirizik asit genellikle birincil biyolojik olarak aktif bileşen olarak kabul edilir.(Kaur & ark., 2013: 2470)

***Glycyrrhiza glabra* (Meyan Kökü) İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları:** Araştırmalar, kortikosteroidlerin (deksametazon, hidrokortizon, prednizolon vb.) ve laksatiflerin meyan kökü ile alındığında hipokalemi riskini artırabileceğini göstermiştir. Prednizolon, betametazon, deksametazon gibi glukokortikoidlerin uzun süreli kullanımı, osteoporoz, hiperglisemi ve Cushing sendromu gibi ciddi yan etkilere yol açabilir. Meyan kökünün kortizol seviyelerini artırma potansiyeli bulunduğundan, bu bitkinin düzenli ve yüksek miktarlarda tüketilmesi durumunda yan etkilerin görülme olasılığı artmaktadır.(İstanbulluoğlu & Çeliker, 2018: 291-305) Çalışmalarda, *G. glabra* ekstresinin, sitokrom P450 alt grubu olan CYP3A4 ve CYP2C9 enzimlerinin üretimini artıran pregnan X reseptörü (PXR) aktive edilerek varfarin metabolizmasını hızlandırdığı bildirilmektedir. *Glycyrrhiza glabra*, antihipertansif ilaçların etkisini zayıflatma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, *G. glabra*'nın aspirin ve ibuprofen gibi non-steroid anti-inflamatuar ilaçlarla (NSAİİ) birlikte alınmasının, mide mukozasını koruyarak mide tahrişini azalttığı öne sürülmektedir. Bitki özündeki flavonoidlerin sindirim sistemi irritasyonunu azaltabileceği ve ülserin iyileşmesine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.(Bacanli & ark., 2012: 83)

***Echinacea purpurea* L. Moench**

Asteraceae familyası bitkilerinden olan *Echinacea purpurea* Orta veya Doğu Amerika'da yetişir, farklı türlerine bağlı olarak, kök,

yaprak veya bitkinin tamamı tıbbi amaçlarla kullanılabilir. En yaygın kullanılan türleri *Echinacea purpurea*, *E. pallida* ve *E. angustifolia*'dır. Echinacea türlerinin temel bileşenleri suda çözünebilen polisakkaritler, yağ, flavonoidler, alkamid ve polienlerdir. Genel olarak, bağışıklık sistemini destekleme (immünomodülatör) özellikleri sebebiyle soğuk algınlığı, grip ve solunum yolu enfeksiyonlarına karşı korunma ve tedavi amaçlı olarak kullanılır. Ayrıca akne ve çıban gibi cilt sorunları ile iyi huylu septisemiye karşı da etkilidir. Ekinezya içeren ürünler kullanıldığında kaşıntı, yüz bölgesinde şişlik, nefeste zorluk, baş dönmesi ve kan basıncında düşüş gibi belirtiler görülebilir. Parenteral kullanıldıklarında, doz miktarına bağlı olarak kısa süreli ateş, bulantı ve kusma gibi yan etkilerle de karşılaşılabilir.(Gruenwald, 2000: 16)

Echinacea purpurea İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları:

Ekinezya bitkisi, kafeik asit türevleri, klorojenik asit, flavonoidler ve fenolik asitler gibi bileşenler barındırmaktadır. Bu bitki, bağışıklık sistemini düzenleyici ve iltihap azaltıcı özellikleri nedeniyle dünya genelinde tercih edilmektedir. Ayrıca ekinezyanın özellikle influenza virüslerine karşı antibakteriyel ve antiviral özellikler gösterdiği belirtilmektedir. Klinik in vivo çalışmalarda, 12 sağlıklı katılımcıya günlük 1600 mg *E. purpurea* ekstresi verilmiş ve bununla birlikte kafein, tolbutamid ve midazolam kullanılarak CYP1A2, CYP2C9 ve CYP3A4 enzim aktiviteleri incelenmiştir. Bulgular, Ekinezya ekstresinin karaciğerin CYP1A2 ve CYP2C9 enzimlerinin aktivitesini inhibe ettiğini, aynı zamanda CYP3A4 enzim aktivitesini artırdığını ortaya koymuştur. Bu etki, kafein CL/F'sinin (klirens/biyoyararlanım) %27, tolbutamid CL/F'sinin %12 düşmesine ve midazolamın AUC'sinin %23 azalmasına ve sistemik klirensinin %42 artmasına sebep olmuştur. Benzer şekilde, başka bir çalışma da *E. purpurea* ekstresinin CYP1A2'yi engellediğini ve CYP3A4'ü artırdığını göstermiştir. Bu nedenle, Ekinezya ekstresi ile

birlikte CYP1A2, CYP2C9 ve CYP3A4 enzimlerinin etkisini gösteren ilaçların kullanılmaması önerilmektedir.(Surana & ark., 2021: 103)

Silybum marianum L. Gaertn. (Devedikeni)

Dünyada Milk thistle adıyla bilinen *Silybum marianum L. Gaertn. (Carduus marianus L.)* Asteraceae familyasına ait bir bitkidir. *Silybum* cinsi, *S. marianum* ve *S. eburneum* olmak üzere iki türü kapsamaktadır.(Karkanis & ark., 2011: 825) *Silybin A* ve *B*, *isosilybin A* ve *B*, *silychristin A*, *silyhermin*, *neosilyhermin A*, *neosilyhermin B*, *mariamidler A* ve *B*, *kuersetin*, *morin*, *klorojenik asit* ve *kafeik asit*, *devedikeni*nde bulunan başlıca kimyasal bileşenlerden bazılarıdır.(Surana & ark., 2021: 103) *Deve dikeni* bitkisinin içerdiği etkin maddeler, bir bitki bileşenleri grubu *silimarin* olarak adlandırılır. *Silimarin*, *karaciğer zehirlenmelerinde* oldukça etkilidir. Özellikle *Amanita phalloides* gibi mantar zehirlenmeleri üzerinde etkisi büyüktür. Bu bileşen, *karaciğer hücrelerinin çekirdeklerinde polimeraz A'nın aktivitesini artırarak karaciğerin yeniden doğma yeteneğini güçlendirir*. Ayrıca, *drogun hem antihepatotoksik özellikleri hem de kolagog etkisi bulunmaktadır*. *Amanita phalloides* gibi mantar zehirlenmeleri, kimyasal madde zehirlenmeleri (kloroform, halotan, karbontetraklorür vb.), *karaciğer sirozu*, *kronik iltihaplanma*, özellikle *viral sarılık ve safra sorunları tedavisinde kullanılmaktadır*.(Süzgeç-Selçuk & Eyisan, 2012: 164) *Devedikeni* sütü ürünleri, *Silybum marianum* bitkisinden elde edilir ve *karaciğer rahatsızlıkları (alkolik karaciğer rahatsızlıkları, akut veya kronik viral hepatit, toksin kaynaklı karaciğer hastalıkları gibi) ve prostat kanserinin tedavisinde kullanılır*. Bu ürünler, aynı zamanda bu hastalıklara karşı önlem almak için de yararlıdır. İçerdiği ana aktif bileşenler *flavolignan*, *silimarin* ve *silibin (%70)* olarak belirtilmektedir. Emziren annelerin süt üretimini arttırdığı için tercih edildiği rapor edilmiştir. Ayrıca, yatıştırıcı ve antidepresan etkileri

olduğu, dispepsi şikayetlerine de yardımcı olduğu ifade edilmektedir.(İstanbulluoğlu & Çeliker, 2018: 291)

Silybum marianum L. (Devedikeni) İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları: Devediken, sarılık ve karaciğer ve safra kesesi taşlarında yaygın olarak kullanılır ve kanamaları kontrol etmede faydalıdır. Metronidazol, CYP3A4 metabolize edici enzimin bir substratıdır. Yapılan bir klinik çalışmada, devedikeninin metranidazolle eş zamanlı kullanımıyla metronidazolün klirensinde (%29,51) artış olduğu saptanmıştır. Ayrıca, P-gp ve CYP3A4'ün indüksiyonu nedeniyle yarılanma ömrü, Cmax ve AUC'yi azaltmıştır. Deve dikenini, losartanın aktif metaboliti olan E-3174'ün AUC'sini azaltmış ve losartanın AUC'sini artırmış. Bu durum yapılan başka bir klinik çalışmada bildirilmiştir. Çalışma, losartan AUC'sindeki azalmanın CYP2C9 inhibisyonuna bağlı olduğunu bildirmiştir. Talinolol maksimum konsantrasyonu, insan çalışmalarında plasebo tedavisine kıyasla deve dikenini ile eş zamanlı uygulama sonrasında potansiyel olarak yükselmiştir. Talinololün AUC'si %36,2 artmış ve talinololün oral klirensi, P-gp inhibisyonu yoluyla deve dikenini-talinolol eş zamanlı uygulaması sırasında %23,1 azalmıştır.(Surana & ark., 2021: 103)

Passiflora incarnata L. (Çarkıfelek)

Passifloraceae ailesine ait bu bitki, Türkiye'de çarkıfelek otu ve fırlıdak çiçeği gibi adlarla bilinmektedir. Bitkinin toprak üstü kısımları drog olarak kullanılır. (Karadağlı, 2019: 243) İçerdiği ana bileşenler alkaloitler, flavonoitler, triterpenik yapıda saponinler ve siyanogenetik glikositlerdir.(Claeson, 2014) Bitki genellikle uykusuzluk ve sinirsel rahatsızlıkların tedavisinde tercih edilir. Bunun yanı sıra, merkezi sinir sistemini etkileyerek anksiyete ve sinir bozukluklarında sakinleştirici olarak da işe yarar.(Süzgeç-Selçuk & Eyisan, 2012: 164) Ayrıca *P. incarnata*, insomnia ve kaygı için yaygın olarak kullanılan bir geleneksel Avrupa tedavisidir ve aynı zamanda homeopatik bir ilaçtır. Farklı ülkelerde birçok farklı

amaçla kullanılmıştır. Türkiye de ise dismenore, epilepsi, uykusuzluk, nevroz ve nevralji gibi hastalık durumlarında kullanılmıştır.(Dhawan & ark., 2004: 1)

***Passiflora incarnata* L. İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları:** *P. incarnata*'nın beyindeki GABA (Gamaaminobütirik asit) düzeylerini artırdığı düşünülmektedir. Etkilerinin anksiyete tedavisinde kullanılan *Valeriana officinalis* veya *Piper methysticum* kadar güçlü olmadığı bildirilmiştir. *P. incarnata* bitkisi, antikonvülzanlar (fenitoin), benzodiazepinler (alprazolam, lorazepam, diazepam), trisiklik antidepresanlar (amitriptilin, nortriptilin), barbitüratlar, trankilizanlar ve uykusuzluk tedavisinde kullanılan zolpidem, eszopiklon ile alındığında sedatif etkilerde artışa yol açabilir. Antikoagülan ilaçların (klopidogrel, varfarin) etkisini artırabilir. Ayrıca MAO inhibitörleri (izokarboksazid, fenelzin, tranilspromin) ile etkileşerek onların etkilerini artırabilir. *Piper methysticum*, zayıf MAO inhibitörü özellikleri taşıdığından *P. incarnata* ile etkileşebilme potansiyeline sahiptir. Bunun yanı sıra, likopen içeriğinden dolayı likopen takviyeleri ile alındığında da etkilerinin artabileceği düşünülebilir. *P. incarnata*'da bulunan krisinin anksiyolitik etkisi incelenmiş ve midazolam ile benzer etkiler sergilediği belirlenmiştir. *P. incarnata*'nın IL-6 sinyalizasyonunu engelleyerek COX-2 ekspresyonunu azaltarak antienflamatuar bir etki sağladığı gösterilmiştir.(Karadağlı, 2019: 243)

***Humulus lupulus* L. (Şerbetçi otu)**

Humulus, Cannabaceae familyasına ait bir cinstir ve genellikle şerbetçiotu olarak adlandırılır. Bu çok yıllık otsu bitkiler ilkbaharda yeni sürgünler üreterek hızla büyür ve soğuğa dayanabilen dayanıklı kök sistemleri nedeniyle sonbaharda yeniden büyüyebilir. Çok yüksek bir büyüme oranlarına sahiptirler ve 20-50 cm yüksekliğe ulaşabilirler. *Humulus*'un en iyi bilinen türü *Humulus lupulus*'tur. Strobili kısımlarının drog olarak çok çeşitli kullanım

alanları bulunmaktadır. Özellikle uyku problemleri, baş ağrıları, huzursuzluk, mide rahatsızlıkları, iştahsızlık, diş ve kulak ağrıları, nevrit, cüzzam, tüberküloz, asbestoz, silikoz, öksürük, spazmlar, ateş, kaygı, delirium tremens, idrar yolu irritasyonu, ağrı ve karaciğer hastalıkları gibi durumlar için kullanıldığı belirtilmiştir.(El-Chaghaby & ark., 2025: 20) Anksiyolitik ve hipnotik etkiler, çeşitli biyolojik olarak aktif bileşiklerin bir araya gelip sinerjistik etki göstermesiyle oluşur. Lupuli flos, floroglusinoller (α -asitler (humulon ve türevleri), β -asitler (lupulon ve türevleri) ve bunların parçalanma ürünü 2-metil-3-buten-2-ol), flavonoidler (ksantohumol) ve terpenler (β -mirsen, β -karyofilen) içeren reçineler bulundurur.(Czigle & ark., 2023: e16149)

Humulus lupulus L. İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları: Şerbetçiotu reçinesinin bazı bileşenleri (bozunma ürünü 2-metil-3-büten-2-ol dahil), GABA reseptörlerini düzenleyerek GABA aktivitesini artırır. Etkileşimler hem farmakokinetik hem de farmakodinamik düzeylerde meydana gelir. Lupuli özütü CYP1A2, CYP2C8, CYP2C9, CYP2C19 enzimlerinin inhibitörüdür. Şerbetçiotunda bulunan prenile edilmiş bir flavonoid olan 8-Prenilnaringenin, çoklu ilaç direnciyle ilişkili taşıyıcılar olan P-glikoprotein ve MRP1'in bir inhibitörüdür.(El-Chaghaby & ark., 2025: 20) Şerbetçiotu bitkisinden elde edilen reçinenin bazı bileşenleri (parçalanma ürünü 2-metil-3-büten-2-ol dahil) GABAA reseptörlerini modüle ederek GABA aktivitesini artırır. Şerbetçiotu çiçeklerinden elde edilen ekstrakt, melatonin reseptörü MT1 için bir agonist görevi görürken, α - ve β -asitler melatonin reseptörlerini etkilemez. Humulus'taki aktif bileşenlerin α 2-agonistik bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (β -mirsen gibi). Ek olarak, şerbetçiotu çiçekleri, östrojenik aktiviteye sahip çeşitli bileşenler içerir (prenillenmiş flavonoid 6-prenilnaringenin gibi). Prenilflavonoidler (ksantohumol, isoxanthohumol ve 8-prenilnaringenin) aromataz aktivitesini etkileyebilir ve östrojen üretimini azaltabilir.

Etkileşimler hem farmakokinetik hem de farmakodinamik düzeylerde meydana gelir. Şerbetçiotu özü CYP1A2, CYP2C8, CYP2C9 ve CYP2C19 için inhibe edici özellik gösterir. Ayrıca, 8-prenilnaringenin, P-glikoprotein ve MRP1 dahil olmak üzere çoklu ilaç direnci ile ilişkili taşıyıcıların bir inhibitörüdür.(Cziple & ark., 2023: e16149)

***Lavandula angustifolia* Mill. (Lavanta)**

Lavantalar, Lamiaceae ailesine ait olan *Lavandula* türleridir ve toplamda 39 farklı tür, birçok melez ve yaklaşık 400 resmi kültürü içermektedir. *Lavandula* türleri, koku, aroma ve ilaç sektörlerinde yüksek miktarda uçucu yağ üreterek büyük bir ekonomik değer taşımaktadır. Lavanta yağları, yaprakların ve çiçeklerin yüzeyinde bulunan glandüler trikomlar aracılığıyla üretilir ve bu yağların kimyasal bileşimleri, farklı kimyasal bileşenlerden dolayı önemli bir ilgi görmektedir. Bu yağların ana bileşenleri arasında monoterpenoidler (linalool, linalil asetat, 1,8-Cineole, β -ocimene, terpinen-4-ol ve kafur), seskiterpenoidler (β -karyofilen ve nerolidol) ile diğer terpenoid bileşenler (örneğin perillil alkol) bulunmaktadır.(Salehi & ark., 2018: 1934578X1801301037) Lavanta (*Lavandula angustifolia* Mill.) tıbbi ve aromatik yanlarıyla dünya çapında yaygın bir şekilde yetiştirilen kıymetli bir bitkidir. İçerisindeki uçucu yağlar, özellikle linalool ve linalil asetat, ilaç, kozmetik ve gıda sektörlerinde çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır.(Dogan, 2025) Lavantanın farmakolojik özellikleri, içindeki kimyasal maddelerin biyolojik etkileri ile yakından bağlantılıdır ve bu durum tıbbi kullanımlarını artırmıştır. Lavanta denilince, genellikle akla gelen ilk etki güçlü bir rahatlatıcı, sakinleştirici ve stres azaltıcı olmasıdır. Antidepresan etkisi ile bilinen lavanta, kaygıyı ve endişeyi azaltmak, zihni dinlendirmek ve ruh halini iyileştirmek için tercih edilmektedir. Fareler üzerinde yapılan bir çalışmada, lavanta ekstresinin antidepresan etkilerinin, sentetik antidepresanlara benzer seviyede olduğunu göstermişlerdir.

Aynı zamanda lavantanın oldukça güçlü bir antibakteriyel özelliğe sahip olduğu bildirilmiştir.(Akyön & Özel, 2024: 17)

***Lavandula angustifolia* Mill. İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları:** *L. angustifolia*'nın yapısındaki etkin bileşenlerden biri olan linalol, glutamata bağlanarak GABA düzeyini artırır ve bu da sedatif bir etki yaratır. Bu nedenle, merkezi sinir sistemi depresanlarıyla ve antikonvülsanlarla birlikte kullanıldığında sinerjik bir etki oluşturur. *L. angustifolia*'nın anksiyolitik ve antidepresan etkileri, N-metil-D-aspartat reseptör antagonizması ve serotonin taşınımının engellenmesi sonucu oluşabileceği belirtilmektedir. Barbitüratlar veya kloral hidrat ile eş zamanlı olarak *L. angustifolia* alındığında, sıçanlarda narkotik etkilerin arttığı görülmüştür ve uyku süresinde uzama meydana gelmiştir. Genellikle *V. officinalis* ve *P. methysticum* ile alındıklarında daha etkili bir sedasyon sağladıkları ifade edilmektedir. *L. angustifolia*, değişik miktarlarda kumarin bulundurur ve bu da teorik olarak antikoagülanlar, antiplatelet ilaçlar ve NSAID'lerle birlikte kan sulandırıcı etkisini artırabileceği anlamına gelir. Bunun yanında 1,8-sineol içeriği sebebiyle kolesterol düşürücülerle etkileşime geçerek HMG-CoA enzimi inhibisyonu yoluyla kolesterolü düşürme etkisini artırabileceği bildirilmiştir. Ayrıca, bevacizumab gibi antianjiyogenik ilaçların kardiyovasküler komplikasyonlarını artırabileceği de rapor edilmiştir. Silexan isimli farmasötik amaçlı kullanılan *L. angustifolia*, yüksek ester içeriği ve düşük sineol miktarı ile ağız yoluna uygun bir üründür. Tekrar eden dozlar ile yapılan bir araştırmada, CYP1A2, CYP2C9, CYP2C19, CYP2D6 ve CYP3A4 üzerinde klinik olarak anlamlı bir etkisinin bulunmadığı belirtilmiştir.(Karadağlı, 2019: 243)

***Camellia sinensis* L. Kuntze (Yeşil Çay)**

Yeşil çay, Theaceae familyasına ait *Camellia sinensis* adlı bitkinin yapraklarından elde edilmekte olup asırlardır Doğu tıbbının bir parçası olmuştur. Dünyada sudan sonra en çok tercih edilen

içecek konumundadır. Yeşil ayın ana bileşenleri kateşinler, kafein ve özel bir amino asit olan theanindir.(Wanwimolruk & ark., 2014: 869) Yeşil ay, “fermente edilmemiş” bir çeşit aydır ve siyah çay ya da oolong ayına göre daha yüksek miktarda kateşin barındırır. Kateşinler, in vitro ve in vivo olarak etkili antioksidan özelliklere sahiptir. Bununla birlikte, bu çay türünün antioksidan kapasitesini artıran bazı mineral ve vitaminler de içerir. Günümüzde en az 30 farklı ülkede yetiştirilmektedir. Hindistan ve Çin’de yaygın olarak bilinen bu bitki, Ayurveda, Unani ve Homeopati gibi çeşitli geleneksel tıp sistemlerinde de oldukça popülerdir.(Namita & ark., 2012: 52) Araştırmalar yeşil çayın birçok faydalı etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Bu etkiler arasında antioksidan, antienflamatuar, antimitojenik, antikanserojenik, antianjiyogenik, apoptotik, obeziteyi onleyici, kolesterolü düşürücü (hipolipidemik), damar sertliğini onleyici (antiarteriosklerotik), antidiabetik, antibakteriyel, antiviral ve yaşlanmayı yavaşlatıcı özellikler bulunmaktadır. Yeşil ayın sağlık açısından olumlu etkilerinin, özellikle içeriğindeki kateşinlerden kaynaklandığı vurgulanmaktadır.(şahin & zdemir, 2006: 24)

Camellia sinensis L. Kuntze (Yeşil ay) İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları:

Yeşil ayın bileşenleri, birçok ilaçla benzer yollarla emilir, metabolize edilir veya atılır. Bu durum, yeşil çay bileşenlerinin ilaçlarla etkileşime girmesini olası hale getirir. Örneğin yüksek tansiyon riskine yol açabileceği için yeşil çayın, selektif olmayan monoamin oksidaz inhibitörleri ve katekol-O-metiltransferaz inhibitörleri ile kullanılmaması onerilmektedir. Yeşil ay ile CYP1A2 inhibitörlerinin aynı anda alınması, plazmada kafein seviyesinin yükselmesine yol açarak bulantı, titreme ve kalp çarpıntısı gibi yan etkilerin görülmesine neden olabilir. Yeşil ayın içindeki kafein, merkezi sinir sistemi üzerindeki uyarıcı etkisi dolayısıyla nikotin ve amfetamin gibi sinir sistemi uyarıcıları,

salbutamol ve terbutalin gibi seçici beta-2-adrenerjik reseptör agonistleri, adrenalin ve efedrin gibi sempatomimetik ilaçlarla birlikte kullanılmamalıdır. Ayrıca, demir emiliminde düşüşe neden olabileceği için demir takviyeleriyle birlikte alınmaması gerekmektedir.(Kelleci & ark., 2013: 85)

Ayrıca yeşil çayla yapılan çalışmalar sonucunda aşağıda verilen sonuçların elde edildiği bildirilmiştir. Yeşil çay kateşinin, 4 haftalık ön çalışmanın sonucunda CYP1A2(sitokrom P450 1A2), CYP12D6 ve CYP12C9 aktivitelerinde bir değişim yaratmadığı bildirilmiştir. Ancak, yeşil çay ön işlemi sonucu, yeşil çay kateşinin etkisiyle CYP3A4 aktivitesinde ufak bir inhibisyona işaret eden buspiron AUC' sinde (eğri altında kalan alan) %20'lik önemli bir artışa yol açmıştır. Kurutulmuş yeşil çay yapraklarının yüksek düzeyde K vitamini barındırdığı bilinmesine rağmen, demlenmiş yeşil çay genelde önemli bir vitamin kaynağı olarak değerlendirilmez. Bu duruma ek olarak, demlenmiş yeşil çay büyük miktarlarda tüketildiğinde, varfarinin kan sulandırıcı etkisini azaltma potansiyeline sahiptir. Örneğin mekanik kalp kapağı bulunan varfarin tedavisi alan 44 yaşındaki bir hastanın INR değerinin, fazla miktarda demlenmiş yeşil çay içmeye başladığında belirgin bir şekilde düşmeye başladığı bildirilmiştir.(Wanwimolruk & ark., 2014: 869)

Urtica dioica L. (Isırgan otu)

Urtica dioica L. (ısırgan otu), Urticaceae familyasına ve *Urtica* cinsine ait, Avrasya'ya özgü, otsu, çok yıllık çiçekli bir bitkidir. Isırgan otu, sindirimi kolay, mineraller (özellikle demir), C vitamini ve provitamin A açısından zengin, çok besleyici bir besindir. Isırgan otu, farmakolojik açıdan önemli biyoaktif bileşenler bakımından zengin bir kaynaktır. Etnofarmakolojide tedavi edici yararları olan bir bitki olarak değerlendirilir ve hem hastalıkları önleyebilme hem de tedavi edebilme yeteneğine sahiptir. Bu bitkide bulunan başlıca biyoaktif bileşenler arasında terpenoidler,

spingolipidler, steroidler, lignanlar, flavanoidler ve diğerk alkaloidler yer almaktadır.(Dhouibi & ark., 2020: 67) Isırgan otunun birçok kullanımı mevcuttur. Isırgan otunun kökü, iyi huylu prostat hiperplazisi ile ilişkili miksomatik zorlukları tedavi etmek için kullanılırken, yaprakları artrit, romatizma ve alerjik rinit tedavisinde kullanılır. Yaprakları lif, mineral, vitamin ve polifenoller ve karotenoidler gibi antioksidan bileşiklerin yanı sıra polifenoller ve karotenoidler gibi antioksidan bileşikler açısından da zengindir. Isırgan otu, bitkinin tüm kısımlarında (yapraklar, gövdeler, kökler ve tohumlar) antiproliferatif, antienflamatuar, antioksidan, ağrı kesici, enfeksiyon önleyici, tansiyon düşürücü ve ülser önleyici özelliklerin yanı sıra kardiyovasküler hastalıkları önleme yeteneğine de sahiptir.(Bhusal & ark., 2022)

Geleneksel tıpta ise ısırgan kökü idrar söktürme etkisi için, 'kan temizleme' karışımlarında bir bileşen olarak, su toplamasına karşı erken evre prostatit, romatizmal hastalıklar ve gut hastalığı için kullanılır. Ayrıca ısırgan otu kökü kepeğe karşı haricen kullanılmak üzere saç losyonu veya şampuanlarda da yer alır.(Biró-Sándor, 2012)

Urtica dioica L. (Isırgan otu) İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları: Böbrek rahatsızlıkları olan hastalarda aşırı duyarlılık vakaları bildirilmiştir. Isırgan otunun toprak üstü kısımları idrar akışını hızlandırır. Bu nedenle, hastanın diyabet veya böbrek rahatsızlığı olup olmadığı konusunda hekime bilgi vermesi önerilir. Ayrıca böbrek rahatsızlığı olan hastalarda idrar söktürücü tedaviyi şiddetlendirebilen idrar söktürücü bir etki de yer alır. Bu nedenle diüretiklerle kullanımına dikkat edilmelidir. Isırgan otunun toprak üstü kısımları alımın ardından kan şekerini düşürür ve eş zamanlı antidiyabetiklerin etkisini, yüksek veya düşük kan basıncını artırabilir. *Urtica* türlerinin ayrıca MSS depresan ilaçların etkisini artırdığı da bildirilmiştir. *Urtica*'nın topraküstü kısımlarının lorazepam (Ativan), fenobarbital (Donnatal), klonazepam (Klonopin), zolpidem (Ambien) ve diğerleri dahil olmak üzere

sakinleştiricilerle eş zamanlı kullanımı uyuluşluğa ve sersemliğe yol açabilir.(Taheri & ark., 2022: 4024331)

***Achillea millefolium* L. (Civanperçemi)**

Civanperçemi olarak bilinen *Achillea millefolium*, yaygın olarak yetişen, Asteraceae familyasına ait olan çok yıllık bir bitkidir. Bu bitki, esasen Avrupa ve Batı Asya kökenli olmasına rağmen, Kuzey Amerika gibi birçok ılıman bölgede de yaygın olarak bulunur. Türkiye'de yaklaşık 40 farklı türü bulunmaktadır ve bunlar çeşitli alanlarda geniş bir yayılım gösterir. Civanperçemi, çeşitli cilt hastalıkları ve sindirim sorunlarının tedavisinde kullanılmaktadır. Farmakolojik etkileri, farklı anti-inflamatuvar, hemostatik ve spazmolitik etkilere sahip bileşik gruplarından gelmektedir.(Zöngür, 2023: 906) Bu bitki geleneksel olarak menstrüel düzensizliklerin tedavisinde, ateşi düşürmekte, karaciğer ve safra kesesi rahatsızlıklarında ve kardiyovasküler sorunlarda kullanılmaktadır. *Achillea millefolium* L. 'nin, parazitleri temizleyici, iltihap önleyici, sinirleri sakınleştirici, virüslere karşı etken, gebelik önleyici, diüretik, terletici, kadınlarda adet düzenleyici, ateş düşürücü olarak etkili olduğu bilinmektedir. Ayrıca baş ve boğaz rahatsızlıklarında panik atakta, romatizma ve mide lselerinde faydalı olduğuna dair raporlar bulunmaktadır. *Achillea millefolium* L. bitkisi, birçok diğer bitki türünde olduğu gibi, tam olarak kullanıldığında, içindeki fitokimyasal bileşenlerin bir araya gelerek oluşturduğu sinerjik etkiler sayesinde çeşitli faydalar sağlar. Ancak bu fitokimyasalların her birinin kendine özgü etkileri de vardır. Kanama durdurma yeteneği, hemostatik özelliği bulunan akillein adlı alkaloidden ve kumarinden kaynaklanmaktadır. Antispazmodik zellikleri ise, sinarozit ve cosmosiin adında iki flavonoit bileşikten ve kolin isimli bir aminoasitten gelmektedir. Antienflamatuvar ve antipritik etki, azulen, kamazulen, seskiterpen, tanen ve mentol ile kafur gibi uçucu yağlardan elde edilir. Ayrıca lokal analjezik etkisi salisilik asit, öjenol ve mentolden kaynaklanırken, antipiretik özelliği salisilik asit

ve gayazulenden gelmektedir. Abortif etkisi tüyondan, diüretik etkisi ise resin ve alditolden oluşmaktadır. Karminatif etki uçucu yağlardan gelirken, ekspektoran etki de yine bu yağlardan sağlanır. Antibakteriyel etki, uçucu yağda bulunan kamazulen, sineol, borneol, kafeik asit, kafur ve ökaliptol sayesinde ortaya çıkar. Antifungal etki ise flavonoitlerden kaynaklanmaktadır.(Eker, 2019)

Achillea millefolium L. (civanperçemi) İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim

Mekanizmaları: *A. millefolium*'un kan basıncını azaltabileceği ve hipertansiyon tedavisinde kullanılan ilaçların etkisini artırabileceğine dair bazı kanıtlar bulunmaktadır. *A. millefolium*, antitrombosit ilaçlar, tansiyon düşürücü ilaçlar, ağrı kesiciler, sakinleştiriciler ve barbitürat türü ilaçlar ile aynı anda kullanılmamalıdır. Antikoagülan etkisi bulunsa da immünosüpresanların varfarin ve *A. millefolium* ile kullanımı, bitkinin kan pıhtılaştırıcı özellik göstermesine yol açabilir. *A. millefolium*'un yüksek tüketimi kan pıhtılaşma hızını azaltabilir. Ayrıca, *A. millefolium*'un kan sulandırıcı Aspirin, Klopidoğrel, Diklofenak, İbuprofen, Naproksen, Dalteparin ve Enoksaparin gibi ilaçlarla bir arada alınması morarma ve kanama riskini artırabilir. Bir araştırma, kamazulenin dört belirli insan sitokrom P450 enzimini (CYP1A2, CYP2C9, CYP2D6 ve CYP3A4) nasıl etkilediğini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda, CYP1A2'nin CYP3A4'e karşı etkin olduğu ve diğer izoenzimlere göre daha hassas olduğu bulunmuştur. CYP2C9 ve CYP2D6 üzerindeki inhibisyon daha az etkili saptanmıştır. Bu duruma bağlı olarak, *A. millefolium*'daki kamazülen, insanlardaki ilaç metabolizmasında önemli rol oynayan enzimlerin aktivitelerini azaltır ve östrojenler, östradiol, asetaminofen, kodein, eritromisin, diazepam ve siklosporin gibi bu enzimlerle metabolize olan ilaçlarla etkileşir. Kuersetin, bir bitki pigmenti olan flavonoid türündedir. Kuersetin, ksantin oksidaz ve N-asetiltransferazın aktivitesini artırırken, canlı organizmalardaki CYP3A4 ve CYP1A2 aktivitelerini düşürür. Aynı zamanda,

kuersetin canlı organizmalar üzerindeki P-glikoprotein (Pgp) aktivitesini engellemektedir.(Far & ark., 2023)

Matricaria chamomilla L. (Sarı papatya)

Matricaria chamomilla, genellikle papatya olarak bilinen, Asteraceae familyasına ait tanınmış bir şifalı bitkidir. Tüm tipteki topraklarda büyüeyebilen ve soğuk hava koşullarına dayanıklı olan tek yıllık bir bitkidir. *M. chamomilla*, doğu ve güney Avrupa ile kuzey ve batı Asya'ya özgüdür. Bugün ise dünya genelinde oldukça yaygındır. *M. chamomilla*, çeşitli hastalıkları tedavi etmek için birçok ülkede geleneksel olarak kullanılmaktadır; bu hastalıklar arasında sindirim sorunları, soğuk algınlığı, karaciğer hastalıkları, nöropsikiyatrik sorunlar ve solunum rahatsızlıkları yer alır. Bunun yanı sıra, bu bitki ağrı ve enfeksiyonlarla başa çıkmak için, cilt, göz ve ağız hastalıklarını tedavi etmek amacıyla da sıkça kullanılmaktadır.(El Mihaoui & ark., 2022: 479) *M. chamomilla*'dan elde edilen Flos Chamomillae bitkisi, uzun bir tarih boyunca kullanılmıştır, bu nedenle içinde bulunan bileşenler üzerine pek çok bilimsel çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar farklı yapıda flavonoidlerin, uçucu yağların, monoterpen ve seskiterpen bileşenlerinin yanı sıra kumarin heterozitlerinin, çeşitli asitlerin, öz ve türevlerinin, seskiterpen laktonlarının, bazı vitaminlerin ve fitosterollerin bulunduğunu ortaya koymuştur. Mayıs papatyası çiçeklerindeki en önemli uçucu yağ bileşeni olan kamazulen, eczacılık alanında, gıda, parfüm ve tatlandırıcı (çeşni) sanayisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.(Bayram Emine, 2013: 807)

Matricaria chamomilla L. (Sarı papatya) İlaç Etkileşimleri ve Etkileşim Mekanizmaları: Varfarin ve *M. chamomilla* arasında bitki ve ilaç etkileşimlerine dair kesin bir kanıt bulunmamakla birlikte, kumarin bileşeni nedeniyle teorik bir risk söz konusu olabilir. CYP1A2, papatyadan en fazla etkilenen enzimdir. Sadece çok az antikoagülan etkisi gösteren varfarinin R-enantiyomeri, bu izoenzim sayesinde metabolize edilir ve bu metabolizmanın engellenmesi INR'de

herhangi bir değişiklik yapmaz. Varfarinin antikoagölan etkisi, temelde CYP2C9 tarafından işlenen S-enantiyomerinde görülür. Papatya, bu izoenzimi sadece zayıf bir şekilde etkiler.(Segal & Pilote, 2006: 1281) Bitki, benzodiazepin reseptör bölgesinde hafif bir anksiyolitik etkiye sahip olduğu için, benzodiazepinler veya alkol ile kullanılmamalıdır. Hidroksi kumarinler (umbelliferon, herniarin) içeren bu bitki, varfarin gibi antikoagölan ilaçlarla kullanıldığında ekstra etkiler yaratabilir. Bir vakada varfarin tedavisi görmekte olan ve üst solunum yolu rahatsızlıklarına karşı papatya ürünleri (çay ve vücut losyonu) kullanan yaşlı bir kadın, çok sayıda iç kanama yaşamıştır. Bir araştırmada, papatya uçucu yağının ve önemli bileşenlerinin dört çeşit sitokrom P450 enzimi (CYP1A2, CYP2C9, CYP2D6 ve CYP3A4) üzerindeki inhibe edici etkileri incelenmiştir. CYP1A2, diğer izoformlara göre daha hassas olarak saptanmıştır. Kamazulen cis-spiroeter ve trans-spiroeter CYP1A2 ve CYP3A4'ü güçlü bir şekilde inhibe etmiştir. CYP2C9 ve CYP2D6 ise daha az etkilenmiştir; yalnızca kamazulen ve α -bisabolol CYP2D6 üzerinde inhibe edici etki göstermiştir. Bu nedenle eliminasyon süreci sitokromlar (özellikle CYP1A2) ile ilgili olan ilaçlarla etkileşim yaşanabilir. (Özdemir, 2019)

Kaynakça/References

- Akyön, Y. B., & Özel, Ç. A. (2024). Lavanta bitkisinin tıbbi aromatik özellikleri ve *Lavandula angustifolia*'nın doku kültürü uygulamaları. *Tarla bitkilerinde verimlilik ve sürdürülebilirlik*, 17.
- Apaydın, İ. N., & Aydın, S. (2018). *Panax ginseng* CA Meyer'in Etkinliği ve Güvenliliği Üzerine Derleme. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, 38(1), 11-23.
- Bacanli, M., Başaran, N., & Başaran, A. A. (2012). İlaç-bitkisel ilaç kullanımının toksikolojik sonuçları. *Journal of Literature Pharmacy Sciences*, 1(2), 83-94.

- Bamola, N., Verma, P., & Negi, C. (2018). A review on some traditional medicinal plants. *International Journal of Life-Sciences Scientific Research*, 4(1), 1550-1556.
- Bayram Emine, D. A. (2013). *Mayıs papatyası (Matricaria recutita L.) çeşitlerinde farklı agronomik uygulamaların bazı verim ve kalite özelliklerine etkisi*. Paper presented at the 10. Tarla Bitkileri Kongresi, Konya.
- Bhusal, K. K., Magar, S. K., Thapa, R., Lamsal, A., Bhandari, S., Maharjan, R., . . . Shrestha, J. (2022). Nutritional and pharmacological importance of stinging nettle (*Urtica dioica* L.): A review. *Heliyon*, 8(6).
- Biró-Sándor, Z. (2012). Assessment report on *Urtica dioica* L., *Urtica urens* L., their hybrids or their mixtures, radix. *Report, Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC) Assessment, European Medicines Agency, Amsterdam, Netherlands*.
- Choi, K. T. (2008). Botanical characteristics, pharmacological effects and medicinal components of Korean *Panax ginseng* CA Meyer. *Acta Pharmacologica Sinica*, 29(9), 1109-1118.
- Claeson, R. P. (2014). Assessment report on *Passiflora incarnata* L., herba. *European Medicines Agency Committee for Herbal Medicinal Products (HMPC)*, 669738/2013.
- Czigle, S., Nagy, M., Mladěnka, P., & Tóth, J. (2023). Pharmacokinetic and pharmacodynamic herb-drug interactions—part I. Herbal medicines of the central nervous system. *PeerJ*, 11, e16149.
- Dhawan, K., Dhawan, S., & Sharma, A. (2004). Passiflora: a review update. *Journal of ethnopharmacology*, 94(1), 1-23.
- Dhouibi, R., Affes, H., Salem, M. B., Hammami, S., Sahnoun, Z., Zeghal, K. M., & Ksouda, K. (2020). Screening of pharmacological uses of *Urtica dioica* and others benefits. *Progress in biophysics and molecular biology*, 150, 67-77.
- Dogan, M. (2025). *Tibbi ve Aromatik Bir Bitki Olarak Lavantanın (Lavandula angustifolia Mill.) Doku Kültürü Teknikleriyle Üretimi: Bir Derleme*. Paper presented at the 2nd International Conference on Recent and Innovative Results in Engineering and Technology, Konya

- Doğan, Ö., & Avcı, A. (2018). Bitkilerle tedavi ve ilaç etkileşimleri. *Türkiye Klinikleri Journal of Public Health-Special Topic*, 4(1), 49-54.
- Eker, A. (2019). *İzole sıçan uterus kasılmaları üzerinde civanperçemi ekstresinin etkisi*. (Yüksek lisans), Necmettin Erbakan University (Turkey), Konya.
- El-Chaghaby, G. A., Sevindik, E., Sevindik, M., Koçer, O., & Uysal, I. (2025). *Humulus* species: a traditional medicinal plant and its modern pharmacological importance. *Prospects in Pharmaceutical Sciences*, 23(4), 20-28.
- El Mihyaoui, A., Esteves da Silva, J. C., Charfi, S., Candela Castillo, M. E., Lamarti, A., & Arnao, M. B. (2022). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): a review of ethnomedicinal use, phytochemistry and pharmacological uses. *Life*, 12(4), 479.
- Far, B. F., Behzad, G., & Khalili, H. (2023). *Achillea millefolium*: Mechanism of action, pharmacokinetic, clinical drug-drug interactions and tolerability. *Heliyon*, 9(12).
- Faydaoğlu, E., & Sürücüoğlu, M. S. (2011). Geçmişten günümüze tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanılması ve ekonomik önemi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 11(1), 52-67.
- Gezmen Karadağ, M., Türközü, D., & Topağaç Kapucu, D. (2013). Bitkiler ve ilaç etkileşimleri. *Medeniyet Medical Journal*, 28(4), 164-170.
- Gökkaya, İ., Subaş, T., Renda, G., & Özgen, U. (2021). Varfarin ve Bitkisel Ürünlerle Etkileşimi: Vaka raporları, Preklinik ve Klinik Çalışmalar. *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*, 46(2), 179-202.
- Göktaş, Ö., & Gıdık, B. (2019). Tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım alanları. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 145-151.
- Gruenwald, J. (2000). PDR for Herbal Medicines (Aloe, Echinacea, Flax, Garlic, Ginkgo, Ginseng, Licorice, Senna, St John's Wort). *Montvale, New Jersey: Medical Economics Company*, 16-18.
- İstanbuluoğlu, S., & Çeliker, A. (2018). İlaç-bitkisel ürün etkileşimlerinin önlenmesinde eczacının rolü. *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*, 43(3), 291-305.

- Kalkan, Ş. (2017). Bitkisel Ürünlerle Tedavilerde İlaç Etkileşimleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 31(1), 41-50.
- Karadağlı, S. S. (2019). Yaygın olarak kullanılan sedatif etkili tıbbi bitkiler ve ilaç etkileşimleri. *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*, 44(3), 243-253.
- Karkanis, A., Bilalis, D., & Efthimiadou, A. (2011). Cultivation of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.), a medicinal weed. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 825-830.
- Kaur, R., Kaur, H., & Dhindsa, A. S. (2013). *Glycyrrhiza glabra*: a phytopharmacological review. *International journal of pharmaceutical Sciences and Research*, 4(7), 2470.
- Kelleci, F., Sipahi, H., Charehsaz, M., & Aydın, A. (2013). Yeşil çay ve ilaç etkileşimleri. *Journal of Literature Pharmacy Sciences*, 2(2), 85-92.
- Mai, N. T. Q., Hieu, N. V., Ngan, T. T., Van Anh, T., Van Linh, P., & Thu Phuong, N. T. (2025). Impact of *Ginkgo biloba* drug interactions on bleeding risk and coagulation profiles: A comprehensive analysis. *PLoS One*, 20(4), e0321804.
- Mullaicharam, A., & Halligudi, N. (2018). St John's wort (*Hypericum perforatum* L.): A Review of its Chemistry, Pharmacology and Clinical properties. *International Journal of Research In Phytochemical And Pharmacological Sciences*, 1(1), 5-11.
- Namita, P., Mukesh, R., & Vijay, K. J. (2012). *Camellia sinensis* (green tea): a review. *Global journal of pharmacology*, 6(2), 52-59.
- Nandhini, S., Narayanan, K. B., & Ilango, K. (2018). *Valeriana officinalis*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Asian Journal Pharm Clinical Research*, 11(1), 36-41.
- Özdemir, M. (2019). *Matricaria chamomilla* l. (mayıs papatyası) bitkisi üzerinde farmakope araştırmaları ve antimikrobiyal aktivite çalışmaları. (Yüksek Lisans tezi), İstanbul Üniversitesi İstanbul.
- Salehi, B., Mnayer, D., Özçelik, B., Altin, G., Kasapoğlu, K. N., Daskaya-Dikmen, C., . . . Sen, S. (2018). Plants of the genus *Lavandula*: From farm to pharmacy. *Natural Product Communications*, 13(10), 1934578X1801301037.

- Segal, R., & Pilote, L. (2006). Warfarin interaction with *Matricaria chamomilla*. *Canadian Medical Association Journal*, 174(9), 1281-1282. doi:10.1503/cmaj.051191
- Shang, A., Cao, S.-Y., Xu, X.-Y., Gan, R.-Y., Tang, G.-Y., Corke, H., . . . Li, H.-B. (2019). Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.). *Foods*, 8(7), 246.
- Surana, A. R., Agrawal, S. P., Kumbhare, M. R., & Gaikwad, S. B. (2021). Current perspectives in herbal and conventional drug interactions based on clinical manifestations. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 7(1), 103.
- Süzgeç-Selçuk, S., & Eyisan, S. (2012). Türkiye'deki eczanelerde bulunan bitkisel ilaçlar. *Marmara Pharmaceutical Journal*, 16(3), 164-180.
- Şahin, H., & Özdemir, F. (2006). Yeşil çayın sağlık üzerine etkisi. *Türkiye*, 9, 24-26.
- Şengül, F., Çakır, M., Öztürk, B., Çakmak, A., & Vatansev, H. (2021). Sarı kantaron'a dair (*Hypericum perforatum* L.): Morfoloji, etki mekanizmaları, aktivite, yan etkileri ve ilaç etkileşimlerinin incelenmesi. *Doğal Yaşam Tıbbı Dergisi*, 3(1), 1-37.
- Taheri, Y., Quispe, C., Herrera-Bravo, J., Sharifi-Rad, J., Ezzat, S. M., Merghany, R. M., . . . Sener, B. (2022). *Urtica dioica*-derived phytochemicals for pharmacological and therapeutic applications. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2022(1), 4024331.
- Taneri, P. E. (2017). *Yaşlılarda ilaç ve bitkisel ürün kullanım sıklığı, ilaç-ilaç ve ilaç-bitki etkileşimleri: kentsel ve kırsal mahalle örnekleri*. (Uzmanlık tezi), Bursa Uludağ University (Turkey), Bursa.
- Wanwimolruk, S., Phopin, K., & Prachayasittikul, V. (2014). Cytochrome P450 enzyme mediated herbal drug interactions (Part 2). *EXCLI journal*, 13, 869.
- Zöngür, A. (2023). *Achillea millefolium* (Civanperçemi) Bitkisinin Uçucu Yağlarının Antimikrobiyal ve Antifungal Etkinliğinin Değerlendirilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 906-913.

BÖLÜM 3

ALGLER VE BİYOPESTİSİTLER

Meral ÖDEMiŞ¹
Çiğdem KÜÇÜK²

Giriş

Algler; tıp, kozmetik, eczacılık, gıda, tarım ve endüstri alanlarında önemli role sahiptir (Dural, 1989: 474). Algler nem tutucu, toprağı havalandırıcı, rollerinin yanında azot bakımından zengin olması ve iz elementlerini bünyesinde barındırmasından dolayı birçok ülkede gübre olarak kullanılmaktadır (Gümüş, 2006). Özellikle potasyum bakımından fakir olup patates üretilen topraklarda iyi sonuçlar elde edildiğı için tercih edilmektedirler (Gümüş, 2006).

Yapılarındaki pigmentleri sayesinde algler; karbondioksit ve suyu ışığın etkisiyle karbonhidrata dönüştürerek su ortamında yaşayan canlıların besin kaynağını oluşturmaktadır (Duan, 2013: 64). 200.000'den fazla alg türü olmasına rağmen, sadece 200 tanesi endüstriyel düzeyde kullanılmaktadır. Algler boyutlarına göre makroalgler ve mikroalgler olarak 2 gruba ayrıldığı gibi içerdikleri

¹ Doktora Öğrencisi, Harran Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Orcid:0000-0001-8750-8154

² Prof.Dr., Harran Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Orcid:0000-0001-5688-5440

pigmente göre ise kırmızı, yeşil, mavi ve kahverengi olmak üzere olmak üzere farklı şekilde gruplandırılmaktadır (Ak, 2015: 441; Ünver ve Alçay, 2017: 47). Makroalgler, hızlı büyüeyebilen ve çıplak gözle görülebilen alg türüdür. Ayrıca kendi arasında içerdikleri pigmentlere göre sınıflandırılmaktadır. Ayrıca makroalgler; sucul canlılar için beslenme, barınma ve üretim ortamını da sağlamaktadırlar. Mikroalgler mikroskopla görülebilen hem tek hem de çok hücreli olarak bulunan alg türü olup, hızlı çoğalabilmekte, tek ya da çok hücreli yapıları sayesinde her türlü olumsuz şartlarda yaşayabilmektedirler (Ak, 2015: 441 ; Ünver ve Alçay, 2017: 47; Khan, 2018: 17; Villarruel-Lopez ve ark., 2017: 251; Overland ve ark., 2019: 13; Mata ve ark., 2010: 217; Elçik ve Çakmakçı, 2017: 795).

Algler, suda yaşayan birçok canlı tarafından besin kaynağı olarak kullanılmaktadır, dünyada gereksinim duyulan fotosentetik karbonun üçte ikisini üretmektedirler. Aynı zamanda ekosistemin bütünlüğünün korunmasını sağlarlar (Özdemir ve Erkmen, 2013: 89). Algler, fotosentetik, yapıları ya tek ya da çok hücreli oldukları halde kök, gövde, yaprak benzeri şekillere dönüşen organizmalar ve fotosentetik canlılar olmaları ile su tabakasının daha çok ışık gören üst kısımlarında dağılım gösterirler (Cirik ve Gökpinar, 1993: 131). Algler deniz, göl, akarsu yüzeyinde, toprağın üst kısımlarında, nemli ağaç gövdelerinde, su sızdıran kaya benzeri alanlarda hayatta kalabilmektedirler. Bu bölümde, algler ve alglerden elde edilen özütlerin antibakteriyel, antiviral, antifungal etkileri ile metabolitlerinin etki mekanizmaları ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Algal Özlerinin Veya Bileşiklerinin Biyolojik Roller

Antibakteriyel Etkiler

Alglerden elde edilen alkaloidler, poliketidler, polisakkaritler, florotaninler, diterpenler, steroller, lipitler ve gliseroller gibi farklı kimyasal bileşiklerin antibakteriyel etki gösterdikleri tespit edilmiştir (Hamed ve ark., 2018: 104; Gerasimenko ve ark., 2014: 73). Bununla birlikte, antibakteriyel özelliklere sahip olan bazı özel bileşikler tam olarak belirlenememiştir. Yapılan çeşitli çalışmalarda alg ekstraktlarının insan patojenleri üzerine antibakteriyel etkilerine odaklanıldığından, bitki patojenleri hakkındaki etkileri sınırlı kalmıştır. Antibakteriyel etkiye sahip alg türlerinin ve hedef organizmalara etkisi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Algal bileşiklerin antibakteriyel aktiviteleri

Algal Türler	Bileşik/ Ekstra kt	Hedef Organizm a	Hastalık/Patoje nik Fenotip	Korunan Bitki/ Organiz ma	Kaynak
<i>Sargassum wightii</i>	metanolik ekstrakt	<i>Pseudomonas syringae</i>	yaprak lekesi hastalığı	<i>Gymnema sylvestre</i>	Kumar ve ark., 2008: 1
<i>Gracilaria edulis</i>	Petrol eter/ metanolik özler	<i>Xanthomonas oryzae</i>	Bakteriyel yanık	çeltik	Kumar ve Rengasamy, 2000: 417
<i>Ulva fasciata</i>	metanolik ekstrakt	<i>Xanthomonas campestris</i> , <i>Erwinia carotovora</i>	Bitki patojenleri	Çeşitli bitki türleri	Paulert ve ark., 2007: 123
<i>Lessonia trabeculata</i> , <i>Macrocystis integrifolia</i>	etanolik özler	<i>Erwinia carotovora</i> , <i>Pseudomonas syringae</i>	Bitki patojenleri	Çeşitli bitki türleri (domates, patates bitkileri)	Jimenez ve ark., 2011: 739

Algal Türler	Bileşik/ Ekstra kt	Hedef Organizm a	Hastalık/Patoje nik Fenotip	Korunan Bitki/ Organiz ma	Kaynak
<i>a</i>					

S.wightii'nin metanolik özleri, şifalı bitki olan *Gymnema sylvestre*'de bakterital yaprak lekesi hastalığı etmeni *Pseudomonas syringae*'e karşı yüksek antibakteriyel aktivite göstermiştir (Kumar ve Sarada, 2008: 1). Makroalg *Gracilaria edulis*, *Sargassum wightii* ve *Enteromorpha flexuosa* fitopatojenik bakteri olan *Xanthomonas oryzae*'e karşı in vitro'da antagonistik aktivite göstermiştir (Kumar ve Rengasamy, 2000: 417). *Ulva fasciata*'nın metanolde çözünen ve çözünmeyen ekstraktları in vitro'da bitki patojenleri *Xanthomonas campestris* ve *Erwinia carotovora*'nın gelişimini engellemiştir (Paulert ve ark., 2007: 123).

Antiviral Etki

Bitki virüsleri, ürün kalitesini ve verimini etkileyerek bitkisel üretimde büyük bir risk oluşturur (Zhao ve ark., 2017: 15). Antiviral özellikler gösteren alglerden elde edilen doğal bileşikler, bitki virüslerinin inhibisyonunda etkili olabilir. Bunlardan proteinler, lipidler, tanenler veya terpenoidlerin yanında laminarin, agar, aljinat, karragenan gibi farklı polisakkaritler bulunmaktadır (Mayer ve ark.,2007: 153; Cheung ve ark., 2014: 3475; Zhao ve ark., 2017: 15; Vera ve ark.,2011: 2514; Aziz ve ark., 2020).

Polisakkaritler, bitkilerde antiviral tepkileri indükleyen alg ekstraktlarındaki en bilinen bileşiklerdendir. Örneğin, deniz yosunlarından oluşturulan sodyum aljinat, *Nicotiana tabacum* L. 'nin (tütün) enfekteli yapraklarından izole edilen tütün mozaik

virüsüne (TMV) karşı güçlü inhibitör aktivite göstermiştir. Bitkilerde antiviral etkilere neden olan alg bileşikleri için yapılan çalışmalar, önemli sonuçlar vermiş, yeni biyopestisit ürün olarak umut vermiştir. Alglerin antiviral çalışmalar üzerindeki etkileri çoğunlukla insan patojenleri üzerinde yoğunlaşmıştır (Sano, 1999: 183). Algal özleri, insan papilloma virüsü (HPV), hepatit B virüsü (HBV), herpes simpleks virüsü tip 1 ve 2 (HSV-1, HSV-2) ve farklı Dang virüsü suşları (DENV-2) üzerinde etkili bulunmuştur (Moga ve ark., 2021: 629; Carbone ve ark., 2021: 746).

Antifungal Etki

Doğal alg bileşikleri, kültür bitkilerinde en çok bilinen hastalık türlerinden biri olan fungal enfeksiyonunun önlenmesinde de etkilidir (Hamed ve ark.,2018: 104; Aziz ve ark.,2020). Algal tozları ve sulu, metanolik, etanolik, dietil eter, aseton, etil asetat, benzen ve kloroform gibi farklı özütlerin, bitkilerde hastalık oluşturan fungal türlere karşı etkili oldukları kanıtlanmıştır (Esserti ve ark., 2017: 1081; Ibraheem ve ark., 2017: 157; De Caroto ve ark., 2017: 16; Soliman ve ark., 2018: 727; Ben Salah ve ark., 2018: 248).

Sprey olarak uygulanan üç kahverengi alg *Cystoseria myriophylloides*, *Laminaria digitata* ve *Fucus spiralis*'in, serada domates fidelerinde *Verticillium dahliae*'nin neden solgunluğu önemli ölçüde azaltmıştır (Esserti ve ark., 2017: 1081).

Nematosit Etki

Mikro ve makroalglerden elde edilen ekstraktlar ve bileşikler, dünya genelinde bitkisel üretimin yaklaşık %10-25'lik kaybına neden olan bitki parazitik nematodlara karşı etkili bulunmuştur (Veronico ve Melilo, 2021: 369). Bazı alg türlerinden hazırlanan ekstraktların etkileri Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Bazı alg türlerinin toprak nematodlarına karşı etkileri

Alg Türleri	Bileşik/ Ekstrakt tipi/ Ürün	Hedef Organizma	Korunan bitki/ Organizma	Etki Şekli	Kaynak
<i>Nostoc</i> sp.	Metanolik ekstraktlar	<i>Caenorhab ditis elegans</i>	İn vitro	Bitki savunmasının indüksiyonu	Biondi ve ark.,2004: 3313
<i>Spatoglossum variabile</i> , <i>Melanothamn us afaqhusainii</i> , <i>Stokeyia indica</i>	Kuru tozlar	<i>Meloidogyn e incognita</i>	Patlıcan, karpuz	Doğrudan sitotoksik etkisi, bitki metabolizmasına etkisi/direnci	Baloch ve ark., 2013: 138
<i>Spatoglossum variabile</i> , <i>Melanothamn us afaqhusainii</i> , <i>Stokeyia indica</i> , <i>Halimeda tuna</i>	Sulu ve etanolik ekstraktlar	<i>Meloidogyn e javanica</i>	Ayçiçeği ve domates	Bitkinin indüksiyon u savunmalar	Sultana ve ark., 2012: 162

Üç makroalg türünden *Spatoglossum variabile*, *Stokeyia indicative* ve *Melanothamnus afaqhusainii*' den elde edilen kuru tozlar, patlıcan ve karpuz köklerinde gal oluşumunu azaltarak, nematod penetrasyonunu engelleyerek kök-ur nematodu *Meloidogyne incognita* üzerinde baskılayıcı bir etki göstermiştir (Baloch ve ark.,2013: 138). Nematod *Meloidogyne javanica*' ya karşı aynı etkiler, deniz makroalgleri *Sargassum tenerrimum*, *S.swartzii*, *S.wightii*, *Spatoglossum variabile*, *Melanotamnus*

afqhusainii'nin sıvı ve metanolik özleri ile muamele edildikten sonra bamyâ, ayçiçeği ve domates fidelerinde de incelenmiştir (Sultana ve ark., 2012: 162; Ara ve ark., 1997: 125).

Böcek Öldürücü Alglerin Akarisit Etkileri

Deniz makroalg özleri, insektisidal/akarisit aktivite göstermiş ve eklem bacaklı nüfus yoğunluğunun denetimi için çevre dostu yaklaşımlar olarak kullanılabilir. Bu biyopestisitler, güvenli olup farklı etki biçimleri ile kimyasallara göre daha etkili bulunmuştur (Schrader ve ark., 2002: 171). Ekstraktlarda bilinen biyoaktif bileşikler, polisakkaritler, fenolikler, proteinler, terpenler, lipitler ve halojenli bileşikler olmak üzere çok farklı kimyasal yapıları içermektedir (Yu ve ark., 2014: 3121).

Alg özleri, böcek türüne ve hedef böceğın gelişim seviyelerine bağılı olarak farklı böcek öldürücü etki sergilemiştir. Örneğın, *Ulva lactuca*'nın aseton özütü, *Culex pipiens*'e karşı en güçlü ekstrakt olarak belirlenmiştir. Tarımsal zararlılar üzerine alg ekstraktlarının etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar daha çok pamukta yaygın olarak görülen pamuk böceğı *Dysdercus* ve *Spodoptera*'nın inhibisyonuna yöneliktir (Abbassy ve ark., 2014: 2252).

Herbisit Aktivitesi

Doğal biyoherbisitler, bitkilerin gelişimlerini ve ürün verimini önemli ölçüde azaltan kimyasal ilaçlara alternatif olarak kullanılmaktadır (Dayan ve ark., 2009: 4022). Sitotoksikite gösteren siyanotoksinlerin; makrofitleri ve mikroorganizmaları engelleyerek allelokimyasallar olarak ekolojik rolleri bulunmaktadır (Smith ve Thanh Doan, 1999: 337; Zak ve Kosakowska, 2016: 131). Siyanobakteri *Synechococcus elongatus*'tan izole edilmiş olan yedi karbonlu bir şeker olan sedoheptüloz (7dSh), siyanobakterilerin dışında kalan mayalar ve bitkilerde

dahil olmak üzere farklı fototrofik organizmaların gelişmelerini engellemiştir (Brilisauer ve ark., 2019: 545). *Nostoc*’nın metanolik ekstraktı, tohumların ilk çimlenmesini etkilememiş, kök büyümesini engelleyerek fide gelişimini engellemiştir (Biondi ve ark., 2004: 3313). Ne kadar faydalı olursa olsun, siyanobakteriyel toksinlerinin; insan, hayvan ve bitkilerdeki hedef olmayan organizmalara karşı potansiyel toksik etkileri ve besin zincirindeki birikimleri göz önünde bulundurulmalıdır (Berry ve ark., 2008: 117).

Bitki Gelişim Uyarıcısı Olarak Algler

Alg özleri ve bileşikleri, bitkiler üzerinde çok farklı ve yararlı etkiler sergileyen değerli kaynaklardır. Bu etkiler arasında tohum çimlenmesi, bitki büyümesi, ürün verimi, hasat sonrası raf ömürleri, biyotik ve abiyotik faktörlere karşı koruma gösterirler (Lee ve ark., 2021: 599). Büyümeyi uyarıcı aktivitelere sahip olan bileşikler arasında polisakkaritler, mineraller, eser elementler, büyüme hormonları, betainler ve steroller bulunmaktadır (Khan ve ark., 2009: 386). *Ascophyllum nodosum*’un alkali özleri, mikorizal mantar *Rhizophagus*’un spor çimlenmesini ve hifsel büyümesini arttırmıştır. Ekstraktların uygulanmasıyla mikorizal beraberliklerinin oluşumu dolayısıyla kök kolonizasyonu artmış, serada yetiştirilen *Medicago truncatula* gelişimi artmıştır (Hines ve ark., 2021: 13491). *Ascophyllum nodosum* özütü, biber ve domates rizosferindeki yararlı bakteri ve fungal popülasyonunu olumlu yönde etkileyerek kök, sürgün ve meyve biyomasını önemli ölçüde artırmıştır (Renaut ve ark., 2019: 1346).

Ekstraktların etkisi, bitki savunmasıyla ilişkili enzimlerin indüksiyonları, fenolik bileşiklerin üretimleri, oksin, gibberellin ve sitokinin biyosenteziyle ilişkili genlerin aktivasyonu ile bağlantılıdır (Ali ve ark., 2019: 14). Oksin, gibberellik asit, sitokin gibi bileşikler bitki büyüme düzenleyicileri. *Ascophyllum nodosum*,

Ecklonia maxima ve *Fucus serratus* dahil olmak üzere çeşitli alg türlerinden izole edilmiştir (Rayorath ve ark., 2008: 370; Stirk ve ark., 2004: 31). *Ascophyllum nodosum* özütünün çim ve yemlik otlara uygulanması, antioksidan bileşiklerin ve antioksidan enzimlerin aktivitesinin artmasıyla sonuçlanmış, böylece bitkiler oksidatif stresin olumsuz etkilerinden korunmuştur (Allen ve ark., 2001: 79).

Farklı *Chlorella* türlerinin farklı bitkilerin gelişimleri üzerinde de yararlı etkileri gözlemlenmiştir. *Chlorella* özleri, soğan, marul, lahana, buğday, mısır olmak üzere çeşitli bitkilerde büyümeyi teşvik etmiştir (Kim ve ark., 2018: 567; Shaaban,2001: 628). *Chlorella vulgaris* ve *Scenedesmus quadricauda*'dan elde edilen ekstraktların uygulanmasıyla şeker pancarında da aynı etki belirlenmiştir (Barone ve ark., 2018: 1061). *Chlorella vulgaris* özleri ile muamele edilen marul, domates ve hıyar tohumlarının çimlenme oranı, sürgün ve kök ağırlıkları artmıştır (Bumandalai ve Tserennadmid, 2019: 95; Faheed ve Fattah, 2008: 165).

Anabaena variabilis ve *A.laxa* ile muamele edilen kompostlar, toprak organik karbonunda, azot fiksasyonunda, bitki gelişimlerinde, veriminde, meyve kalitesinde, azot, fosfor ve çinko içeriklerinde önemli artış sağlamıştır (Prasanna ve ark., 2013: 337). *Anabaena variabilis* ve *Nostoc* sp. çeltik tohumlarına ya da bitkilerine biyogübre şeklinde uygulandığında tohum çimlenmesi, bitki boyu, yaprak uzunluğu ve tane verimlerinin arttığı gözlenmiştir (Innok ve ark., 2009: 737; Singh ve Datta, 2007: 95).

Alg Metabolitlerinin Etki Mekanizması

Alg metabolitlerinin çoğunda tarımsal zararlılara karşı etki mekanizmaları bulunmamış, mekanizma çalışmaları genellikle tıbbi açıdan önemli organizmalara karşı yapılmıştır (Nowruzi ve Porzani,2021: 510).

Fotosentezin İnhibisyonu

Farklı alg türleri/cinsleri arasındaki allelopati üzerine yapılan araştırmalar, çeşitli etki biçimlerine sahip yeni ikincil metabolitlerin keşfedilmesine yol açmıştır (Chaib ve ark.,2021: 102). Bunlar arasında fotosentez inhibitörleri, algler ve bitkiler arasındaki fotosentetik aparatın benzerliğinden dolayı daha yüksek bitkilerde potansiyel olarak kullanılabilir. İlk fotosentez inhibitörlerinden biri siyanobakteri *Scytonema hofmanni* UTEX B 2349'dan izole edilmiştir. Bu siyanobakterinin hücre özleri, diğer siyanobakterilerin ve yeşil alglerin büyümesini engellemiştir (Mason ve ark.,1982: 400). Bundan dolayı siyanobakterin adı verilen halojenli bir ikincil metabolit elde edilmiştir (Mason ve ark.,1982: 400). Siyanobakterinin hedef olmayan organizmalara toksisitesi *Daphnia magna*'da incelenmiştir. *Nostoc linckia*'dan izole edilen siyanobakterin LU-1 adlı ikincil bir metabolit, siyanobakterilerin ve alglerin büyümesini de inhibe etmiştir (Mason ve ark.,1982: 400).

Hindistan'daki bir gölden izole edilen bir *Osillatoria* suşunun hücresiz özü, birkaç siyanobakteri ve algin büyümesini engellemiştir. Bu suşun eter özütü, *Anacystis nidulans*'ta oksijenik fotosentezi ve anjiyosperm bitkilerinin büyümesini, siyanobakterin ve dcmu'nunkinden farklı bir bölgede elektron taşınımının inhibisyonu yoluyla inhibe ettiği düşünülmüştür (Chauhan ve ark.,1992: 251). Hücresiz ekstraktlar fareler için toksik bulunmamıştır. Eter ekstraktındaki aktif metabolitlerin doymuş yağ asitlerinden oluştuğu açıklanmıştır (Chauhan ve ark.,1992: 251).

Nostoc tarafından üretilen Nostokarbolin; kolinesterazı inhibe eden bir β -karbolin alkaloidi olduğu bildirilmiştir (Becher ve ark.,2005: 1793). Nostokarbolin ve türevleri siyanobakterilerin ve yeşil alglerin büyümesini engellemiştir. İnhibitör aktivite,

siyanobakterilerde fotosentezin inhibisyonu ile ilişkili bulunmuştur, bu alkaloid fotosentetik olmayan bakterilere karşı aktif bulunmamıştır (Blom ve ark.,2006: 737). Yapılan çalışmalarda nostokarbolinin, memeli serin proteaz inhibitörü olduğunu kanıtlanmıştır. Bu nedenle, siyanobakterilerde ve alglerde nostokarbolin tarafından fotosentetik inhibisyonun, siyanobakterilerde ve alglerde serin proteazların inhibisyonu ile ilişkili olabileceği belirlenmiştir (Becher ve ark.,2009: 103).

Fischerellin A, siyanobakterilerin ve yeşil alglerin büyümesini engelleyen siyanobakteri *Fischerella muscicola* UTEX 1829'dan izole edilmiştir. Bu metabolitler, bakterilerin büyümesini etkilememiştir. Fischerellin, *Anabaena* sp'de psII'yi içeren fotosentetik elektron taşınımını spesifik olarak inhibe etmiştir (Gross ve ark.,1991: 686; Hagmann ve ark.,1996: 6539). Fischerellin, herbisit etkisinin yanı sıra funginin/oomycetes *Uromyces appendiculatus*, *Erysiphe graminis*, *Phytophthora infestans* ve *Pyricularia oryzae*'nin büyümesini etkili bir şekilde inhibe etmiştir (Hagmann ve ark.,1996: 6539).

Bitki Savunma Tepkilerinin İndüksiyonu

Patojenlere maruz kalma, bitkilerde savunma ile ilgili çeşitli yolları tetikler. Bu, bitki hücre zarı üzerindeki reseptörler tarafından tanınan elisitörler adı verilen sinyal molekülleri yoluyla gerçekleşir (Jamiołkowska,2020: 173). Deniz makroalglerinden; ulvan, aljinat, fukan, laminarin ve karragenandan elde edilen hücre duvarı polisakkaritleri, bitkilerde patojenlere karşı savunma mekanizmalarını aktive edebilir. Bu durum esas olarak; salisilik asit (SA), etilen ve jasmonik asit (JA) sinyal yollarının aktivasyonu ile ilişkilidir (Vera ve ark.,2011: 2514). Bu özellikler, alglerin ve bileşiklerinin bitki koruyucu olarak kullanılmalarına olanak verir (Shukla ve ark.,2016: 81). Jasmonik asit, etilen ve salisilik asit yolları bitkilerde patojen tarafından aktive edilmektedir.

Karragenan uygulamasından sonra, patojen tarafından indüklenenlere benzer makroskopik değişiklikler gözlenmiş fakat tam nekroz kaydedilmemiştir. Savunma genleri arasında bitkilerde seskiterpen siklaz, kitinaz ve proteinaz inhibitörü tip II indüklenmiştir. Patojene benzer şekilde, bitkilerde daha uzun sürelerde olsa; Jasmonik asit, etilen ve salisilik asit yolları aktive edilmiştir (Mercier ve ark.,2001: 43). Mercier ve ark. (2001: 43), alg polisakkaritlerinin algılanmasının plazma zarı üzerindeki reseptörler tarafından başlatılabileceğini öne sürmüşlerdir.

Aynı şekilde, Sangha ve ark.(2010: 38), *Arabidopsis thaliana* ekotip Col-0'da phyt-ve λ -karragenanların fitopatojenik fungus *Sclerotinia sclerotiorum*'a karşı savunma tepkilerinin indüklenmesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir (Sangha ve ark., 2010: 38). λ -Karragenan ile muamele edilen bitkiler enfeksiyona karşı dirençliyken, λ -karragenan ile muamele edilenlere duyarlı bulunmuştur. İlk olarak Jasmonik asit yoluyla ilişkili genler indüklenmiştir.

Doğrusal olan β -1,3 glukan olan laminarin, kahverengi alglerde uzun süreli depolama bileşiğidir (Graiff ve ark., 2016: 533). Laminarin asmada (*Vitis vinifera* L.), Ca alımı, kültür ortamlarının alkalileştirilmesi, mitojen bulunduran ve aktif olan protein kinazların savunma tepkilerini indüklemiştir. Asmadaki savunmaya karşı tepkisi ayrıca 9-lipoksijenaz (*Lox*) ve glutatyon-S-transferaz (*Gst*), fenilalanin amonyak liyaz (*Pal*), stilben sentaz 1 (*Sts1*), poligalakturonaz, temel sınıf I, asidik sınıf III ve asidik sınıf IV kitinaz genleri, sınıf I β -1,3-glukanaz geni *Glu1* ve serin proteaz (*Pin*) genleri engelleyici protein (Pgip) benzeri savunmaya bağlı genlerin yukarı regülasyonunu da kapsamaktadır. Laminarin asmada antimikrobiyal fitoaleksin üretimine de neden olur, savunmadaki reaksiyonları, asmayı *Botrytis cinerea* ve *Plasmopara viticola* enfeksiyonlarına karşı da korumuştur (Aziz ve ark., 2003: 1118).

Kitin doğal olarak kabukluların dış iskeletlerinde ve funginin hücre duvarlarında bulunur. Kitinin endüstriyel üretiminde yengeç ve karides gibi kabuklular kullanır. Kitinin bu kaynaklardan izolasyonu sırasıyla, HCl ve NaOH ile muamelesi olmak üzere üretim maliyetini artıran uzun bir süreçtir (Elieh-Ali-Komi ve ark., 2016: 411). Çok az bilinen, yeşil algler ve diyatomlar gibi bazı alg gruplarında kitin varlığı görülmektedir (Bastiaens ve ark., 2019: 1). Özellikle *Cyclotella* ve *Thalassiosira* cinslerinden bazı diyatom türleri, kitini nanofiber olarak sentezler ve kabuk üzerindeki gözeneklerden dışarı bırakır. Ekstrüde kitin nanofiber, α -kitine karşılaştırılması çözülmesi ve değiştirilmesi daha kolay olan β -kitin formundadır (Chiriboga ve ark., 2020: 1083). Ayrıca, ekstrüde kitin kültür ortamından kolayca izole edilebilirler.

Nörotoksisite

Alg metabolitlerinin tarımsal zararlı böceklerle karşı etki mekanizması konusunda bilgi eksikliği olmasına rağmen, diğer böceklerle yapılan sınırlı çalışma bazı ipuçları sağlayabilir. Watanabe ve ark. (1990: 275) kırmızı alg *Plocamium telfairiae*'den iki halojenli monoterpenin, aplysiaterpenoid A ve telfairinin böcek öldürücü aktivitelerini bildirmiştir. Makroalg *Prasiola crista* ekstraktlarının meyve sineği (*Drosophila melanogaster*) ve hamamböceğinde (*Nauphoeta cinerea*) böcek öldürücü özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir (Zemolin ve ark., 2014: 115). Araştırmacılar, ekstraktların ve izole edilmiş bileşiklerin etki mekanizmasını anlamak için asetilkolinesteraz aktivite analizleri, gibi çeşitli analizler yapmışlardır. Sonuçlar, Antarktika makroalginin insektisidal aktivitesine oktopaminerjik-kolinerjik yolların dahil olduğunu göstermiştir (Holken ve ark., 2019: 573).

Antimetabolit Üretimi

Bir antimetabolit, doğal substratın yaptığı gibi bir enzime

bağlanabilir; fakat işlevsel bir ürüne dönüştürülemez. Bu nedenle antimetabolitler, doğal substratlarla rekabet halinde olabilir ve bir enzimin katalitik aktivitesini engelleyebilirler. Hücre dışı inhibitör bileşiklerin izolasyonu ve kimyasal karakterizasyonu, 7-deoksisedoheptulozun (7dSh) varlığını kanıtlamıştır (Brilisauer ve ark., 2019: 545; Rapp ve ark., 2021: 692). 7dSh; *Saccharomyces cerevisiae* ve *Arabidopsis thaliana*'nın büyümesini engellemiştir. Memeli hücrelerinde sitotoksosite tespit edilmemiş, bu durum potansiyel olarak 7dsh'yi ideal bir antibakteriyel, antifungal veya herbisit bileşik haline getirmiştir (Brilisauer ve ark., 2019: 545; Rapp ve ark., 2021: 692).

Bitkiye Virüs Girişini Engelleme

Sodyum aljinat, kahverengi yosunlardan elde edilen ticari bir üründür (Guiry, 2012: 1057). Sano ve ark. (1999: 183) aljinatın tütün yapraklarının tütün mozaik virüsü (TMV) ile enfeksiyonu üzerindeki inhibitör aktivitesini araştırmıştır. Bu polisakkarit, TMV'yi etkisiz hale getirmemiş; yapraklara uygulanması, polisakkaritin alginat konsantrasyonu ve sertliği ile orantılı olarak azalma ile TMV enfektivitesini azaltmıştır. Sodyum aljinat ilavesiyle, TMV'nün hücre yüzeyinde büyük agregatlar oluşturmaya ve TMV RNA'nın bitki hücrelerine girişini engellemesine neden olmuştur. Araştırmacılar ayrıca, polisakkarit anyonlarının, TMV'nin katyonik amino gruplarıyla etkileşime girerek hücre zarının anyonik fosfat gruplarıyla etkileşimi engellemiş olabileceğini öne sürmüşlerdir (Sano ve ark., 1999: 183).

Biyopestisit

Biyopestisid üretiminin en etkili yolu; antipestisid özelliklere sahip alglerden elde edilen bileşiklerin üretim yolları, etki mekanizmalarının belirlenmesidir (Bhattacharjee, 2022: 029). Örneğin; herbisit bileşikleri ürettiği belirlenen siyanobakteri

Scytonema hofmannii henüz ticarileştirilememiştir. Alg biyoteknolojisinde daha çok biyoyakıt üretimi, ilaç ve besin takviyeleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Biyopestisid üretimi, karakterizasyonu üzerinde yapılan çalışmalar sınırlı kalmıştır (Soltys, 2013: 87). Biyopestisid üretiminde alglerden yararlanmak için; biyopestisid bileşikler üreten alg türlerinin yanı sıra alglerden elde edilen diğer faydalı kimyasalların üretimine yönelik çalışmalar gereklidir (Costa ve ark., 2019: 366).

Belediye atık suyunda geliştirilen *Chlorella* türleri çeşitli patojenlere karşı etkili bulunmuş, tarımsal uygulamalar için etkili bir biyopestisid olarak kullanılabileceği önerilmiştir (Chen ve ark., 2017: 311). Siyanobakteriler üzerinde çalışmalar oldukça fazla olmasına karşın, bileşiklerin çevresel rolüyle ilgili çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Özellikle siyanobakteriyel pestisidlerin özelliklerini inceleyen analizlerin çoğu laboratuvarında yapılmaktadır. Bu nedenle tarımdaki potansiyellerinin ve çevresel etkilerinin daha fazla değerlendirilmesi için saha araştırmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. İnsanlar da dahil olmak üzere hedef olmayan canlılar üzerindeki etkilerinin bilinmesi, potansiyel biyopestisid için oldukça önemlidir (Hickman ve ark., 2020: 1121). Bu bileşiklerin ekolojik rollerinin incelenmesi, tarımda uygulamaları açısından önemli olacaktır.

Sonuç

Algler, fotosentetik olup, tek ya da çok hücreli organizmalardır. Algler antiviral özellikleriyle oluşturdukları doğal bileşikler açısından değerli kaynaklar olarak görülebilir. Bunlardan biri olan proteinler, lipidler, tanenler veya terpenoidlerin yanında savunma mekanizmalarının başrolü olarak işlev gösterebilen laminarinler, agaranlar, aljinat, karragenanlar ve sülfatlı fukanlar gibi farklı polisakkaritler bulunur. Algler antiviral etkilerinin yanında antifungal, antibakteriyel, nematosit, akarisit, herbisid ve

bitki gelişim uyarıcısı olarak etki göstermektedir. Alg metabolitlerinin çoğunda tarımsal zararlılara karşı etki mekanizmaları bulunmamış ve mekanizma çalışmaları genellikle tıbbi açıdan önemli organizmalara karşı yapıldığı bilinmektedir. Algler, biyopestisit olarak kullanılıp zararlılarla mücadelede kullanılmaktadırlar. Tarımda kimyasalların kullanımıyla ilişkili artan sağlık ve çevre sorunları, daha güvenli ve çevre dostu alternatif çözümlerin araştırılmasına yol açmıştır. Algler, zararlı kontrolü için potansiyele sahip biyolojik aktif bileşikler sentezleme yetenekleri nedeniyle sürdürülebilir tarımda umut vadetmektedirler. Ayrıca alglerin çeşitli etki mekanizmaları ve etkili ürün formüle etme olasılığı, onları zararlı yönetimi stratejileri için cazip bir aday haline getirmektedir. Alglerin biyopestisid olarak potansiyellerinden tam olarak yararlanmak ve sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla uyumluluklarını sağlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Kaynakça

Abbassy, A., Marzouk, M. A., Rabea, E. I., & Abd Elnabi, A. D. (2014). Insecticidal and fungicidal activity of *Ulva lactuca* Linnaeus (Chlorophyta) extracts and their fractions. *Annual Research & Review in Biology*, 4(13), 2252-2262. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/9511>

Ak, İ. (2015). Sucul ortamın ekonomik bitkileri: Makro algler. *Dünya Gıda*, 12, 88-97.

Allen, V. G., Pond, K. R., Saker, K. E., Fontenot, J. P., Bagley, C. P., Ivy, R. L., Evans, R. R., Schmidt, R. E., Fike, J. H., Zhang, X., et al. (2001). Tasco: Influence of a brown seaweed on antioxidants in forages and livestock: A review. *Journal of Animal Science*, 79, E21-E31.

Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2019). Biostimulatory activities of *Ascomyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. *PLoS ONE*, 14, e0216710.

Ara, J., Ehteshamul-Haque, S., Sultana, V., Ghaffar, A., & Qasim, R. (1997). Use of *Sargassum* species for the control of *Meloidogyne javanica* in okra. *Nematologia Mediterranea*, 25, 125-128.

Arun Kumar, K., Selvapalam, N., & Rengasamy, R. (2005). The antibacterial compound sulphoglycerolipid 1-O palmitoyl-3-O(6'-sulpho- α -

quinovopyranosyl)-glycerol from *Sargassum wightii* Greville (Phaeophyceae). *Botanica Marina*, 48, 441-445. <https://doi.org/10.1515/BOT.2005.058>

Aziz, A., Poinssot, B., Daire, X., Adrian, M., Bezier, A., Lambert, B., Joubert, J.-M., & Pugin, A. (2003). Laminarin elicits defense responses in grapevine and induces protection against *Botrytis cinerea* and *Plasmopara viticola*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 16, 1118-1128. <https://doi.org/10.1094/MPMI.2003.16.12.1118>

Aziz, E., Batool, R., Khan, M. U., Rauf, A., Akhtar, W., Heydari, M., Rehman, S., Shahzad, T., Malik, A., Mosavat, S. H., et al. (2020). An overview on red algae bioactive compounds and their pharmaceutical applications. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 17, 20190203. <https://doi.org/10.1515/jcim-2019-0203>

Baloch, G. N., Tariq, S., Ehteshamul-Haque, S., Athar, M., Sultana, V., & Ara, J. (2013). Management of root diseases of eggplant and watermelon with the application of asafetida and seaweeds. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 86, 138-142.

Barone, V., Baglieri, A., Stevanato, P., Broccanello, C., Bertoldo, G., Bertaggia, M., Cagnin, M., Pizzeghello, D., Moliterni, V. M. C., Mandolino, G., et al. (2018). Root morphological and molecular responses induced by microalgae extracts in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Applied Phycology*, 30, 1061-1071.

Bastiaens, L., Soetemans, L., D'Hondt, E., & Elst, K. (2019). Sources of chitin and chitosan and their isolation. In L. A. M. Broek & C. G. Boeriu (Eds.), *Chitin and chitosan* (pp. 1-34). Hoboken, NJ: Wiley.

Becher, P. G., Beuchat, J., Gademann, K., & Jüttner, F. (2005). Nostocarboline: Isolation and synthesis of a new cholinesterase inhibitor from *Nostoc* 78-12A. *Journal of Natural Products*, 68, 1793-1795.

Becher, P. G., Baumann, H. I., Gademann, K., & Jüttner, F. (2009). The cyanobacterial alkaloid nostocarboline: An inhibitor of acetylcholinesterase and trypsin. *Journal of Applied Phycology*, 21, 103-110.

Ben Salah, I., Aghrouss, S., Douira, A., Aissam, S., El Alaoui-Talibi, Z., Filali-Maltouf, A., & El Modafar, C. (2018). Seaweed polysaccharides as bio-elicitors of natural defenses in olive trees against *Verticillium* wilt of olive. *Journal of Plant Interactions*, 13, 248-255. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1471528>

Berry, J. P., Gantar, M., Perez, M. H., Berry, G., & Noriega, F. G. (2008). Cyanobacterial toxins as allelochemicals with potential applications as algacides, herbicides and insecticides. *Marine Drugs*, 6, 117-146.

<https://doi.org/10.3390/md6020117>

Bhattacharjee, B. M. (2022). Biopesticides from algae and their potential for sustainable agriculture and environmental protection. *Open Access Research Journal of Biology and Pharmacy*, 6(2), 29-34.

Biondi, N., Piccardi, R., Margheri, M. C., Rodolfi, L., Smith, G. D., & Tredici, M. R. (2004). Evaluation of *Nostoc* strain ATCC 53789 as a potential source of natural pesticides. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 3313-3320.

Blom, J. F., Brütsch, T., Barbaras, D., Bethuel, Y., Locher, H. H., Hubschwerlen, C., & Gademann, K. (2006). Potent algicides based on the cyanobacterial alkaloid nostocarboline. *Organic Letters*, 8, 737-740. <https://doi.org/10.1021/ol052968b>

Brilisauer, K., Rapp, J., Rath, P., Schöllhorn, A., Bleul, L., Weiß, E., Stahl, M., Grond, S., & Forchhammer, K. (2019). Cyanobacterial antimetabolite 7-deoxy-sedoheptulose blocks the shikimate pathway to inhibit the growth of prototrophic organisms. *Nature Communications*, 10, 545. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08476-8>

Bumandalai, O., & Tserennadmid, R. (2019). Effect of *Chlorella vulgaris* as a biofertilizer on germination of tomato and cucumber seeds. *International Journal of Aquatic Biology*, 7, 95-99.

Carbone, D. A., Pellone, P., Lubritto, C., & Ciniglia, C. (2021). Evaluation of microalgae antiviral activity and their bioactive compounds. *Antibiotics*, 10, 746. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10060746>

Chaïb, S., Pistevos, J. C. A., Bertrand, C., & Bonnard, I. (2021). Allelopathy and allelochemicals from microalgae: An innovative source for bio-herbicidal compounds and biocontrol research. *Algal Research*, 54, 102213.

Chauhan, V. S., Marwah, J. B., & Bagchi, S. N. (1992). Effect of an antibiotic from *Oscillatoria* sp. on phytoplankters, higher plants and mice. *New Phytologist*, 120, 251-257.

Chen, L., Zhu, T., Fernandez, J. S., Chen, S., & Li, D. (2017). Recycling nutrients from a sequential hydrothermal liquefaction process for microalgae culture. *Algal Research*, 27, 311-317.

Cheung, R. C. F., Wong, J. H., Pan, W. L., Chan, Y. S., Yin, C. M., Dan, X. L., Wang, H. X., Fang, E. F., Lam, S. K., Ngai, P. H. K., et al. (2014). Antifungal and antiviral products of marine organisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98, 3475-3494. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5575-0>

Chiriboga, O. G., Le Duff, P., & Rorrer, G. L. (2020). Extracellular

chitin nanofibers from marine diatoms. In S. Kim (Ed.), Encyclopedia of marine biotechnology (pp. 1083-1092). Hoboken, NJ: Wiley.

Cirik, S., & Gökpinar, Ş. (1993). Plankton bilgisi ve kültürü. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları (Yayın No. 47), 131-133.

Costa, J. A., Freitas, B. C., Cruz, C. G., Silveira, J., & Morais, M. G. (2019). Potential of microalgae as biopesticides to contribute to sustainable agriculture and environmental development. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 54(5), 366-375.

Dayan, F. E., Cantrell, C. L., & Duke, S. O. (2009). Natural products in crop protection. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 17, 4022-4034. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.01.046>

De Corato, U., Salimbeni, R., De Pretis, A., Avella, N., & Patruno, G. (2017). Antifungal activity of crude extracts from brown and red seaweeds by a supercritical carbon dioxide technique against fruit postharvest fungal diseases. Postharvest Biology and Technology, 131, 16-30. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.04.011>

Duan, E. (2013). Bazı deniz makroalglerinden (*Ulva* sp., *Cytoseria* sp.) fermente sıvı organik gübre üretimi ve taze fasulye (*Phaseolus vulgaris*) verimine etkisinin belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun, Türkiye.

Dural, B. (1989). Taxonomic investigation of the order Ulvales in Çandarlı Bay II: Ulvaceae: *Ulva* L. species. Doğa Turkish Journal of Botany, 13, 474-486.

Elçik, H., & Çakmakçı, M. (2017). Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, 32(3), 795-820.

Elieh-Ali-Komi, D., & Hamblin, M. R. (2016). Chitin and chitosan: Production and application of versatile biomedical nanomaterials. International Journal of Advanced Research, 4, 411-427.

Esserti, S., Smaïli, A., Rifai, L. A., Koussa, T., Makroum, K., Belfaiza, M., Kabil, E. M., Faize, L., Burgos, L., Alburquerque, N., et al. (2017). Protective effect of three brown seaweed extracts against fungal and bacterial diseases of tomato. Journal of Applied Phycology, 29, 1081-1093. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0996-z>

Faheed, F. A., & Fattah, Z. A. (2008). Effect of *Chlorella vulgaris* as bio-fertilizer on growth parameters and metabolic aspects of lettuce plant. Journal of Agricultural and Social Sciences, 4, 165-169.

Gerasimenko, N. I., Martyyas, E. A., Logvinov, S. V., Busarova, N. G., et al. (2014). Biological activity of lipids and photosynthetic pigments of

Sargassum pallidum C. Agardh. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 50, 73-81. <https://doi.org/10.1134/S0003683814010037>

Graiff, A., Ruth, W., Kragl, U., & Karsten, U. (2016). Chemical characterization and quantification of the brown algal storage compound laminarin: A new methodological approach. *Journal of Applied Phycology*, 28, 533-543.

Gross, E. M., Wolk, C. P., & Jüttner, F. (1991). Fischerellin, a new allelochemical from the freshwater cyanobacterium *Fischerella muscicola*. *Journal of Phycology*, 27, 686-692.

Guiry, M. D. (2012). How many species of algae are there? *Journal of Phycology*, 48, 1057-1063.

Gümüş, G. (2006). Deniz marulunun kimyasal kompozisyonunun araştırılması (Yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

Hagmann, L., & Jüttner, F. (1996). Fischerellin A, a novel photosystem-II-inhibiting allelochemical of the cyanobacterium *Fischerella muscicola* with antifungal and herbicidal activity. *Tetrahedron Letters*, 37, 6539-6542.

Hamed, S. M., Abd El-Rhman, A. A., Abdel-Raouf, N., & Ibraheem, I. B. M. (2018). Role of marine macroalgae in plant protection and improvement for sustainable agriculture technology. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7, 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2017.08.002>

Hickman, D. T., Rasmussen, A., Ritz, K., Birkett, M. A., & Neve, P. (2020). Allelochemicals as multi-kingdom plant defence compounds: Towards an integrated approach. *Pest Management Science*, 77, 1121-1131. <https://doi.org/10.1002/ps.6076>

Hines, S., van der Zwan, T., Shiell, K., Shotton, K., & Prithiviraj, B. (2021). Alkaline extract of the seaweed *Ascophyllum nodosum* stimulates arbuscular mycorrhizal fungi and their endomycorrhization of plant roots. *Scientific Reports*, 11, 13491.

Holken Lorensi, G., Soares Oliveira, R., Leal, A. P., Zanatta, A. P., Moreira de Almeida, C. G., Barreto, Y. C., Eduarda Rosa, M., de Brum Vieira, P., Brito Ramos, C. J., de Carvalho Victoria, F., et al. (2019). Entomotoxic activity of *Prasiola crispa* (Antarctic algae) in *Nauphoeta cinerea* cockroaches: Identification of main steroidal compounds. *Marine Drugs*, 17, 573.

Ibraheem, B. M. I., Hamed, S. M., Abd El-Rhman, A. A., Farag, M. F., & Abdel-Raouf, N. (2017). Antimicrobial activities of some brown macroalgae against some soil borne plant pathogens and in vivo management of *Solanum melongena* root diseases. *Australian Journal of*

Basic and Applied Sciences, 11, 157-168.

Innok, S., Chunleuchanon, S., Boonkerd, N., & Teaumroong, N. (2009). Cyanobacterial akinete induction and its application as biofertilizer for rice cultivation. *Journal of Applied Phycology*, 21, 737.

Jamiolkowska, A. (2020). Natural compounds as elicitors of plant resistance against diseases and new biocontrol strategies. *Agronomy*, 10, 173.

Jimenez, E., Dorta, F., Medina, C., Ramirez, A., Ramirez, I., & Pena-Cortes, H. (2011). Anti-phytopathogenic activities of macro-algae extracts. *Marine Drugs*, 9, 739-756. <https://doi.org/10.3390/md9050739>

Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 386-399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>

Khan, M. I., Shin, J. H., & Kim, J. D. (2018). The promising future of microalgae: Current status, challenges and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed and other products. *Microbial Cell Factories*, 17, 36. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>

Kim, M.-J., Shim, C.-K., Kim, Y.-K., Ko, B.-G., Park, J.-H., Hwang, S.-G., & Kim, B.-H. (2018). Effect of biostimulator *Chlorella fusca* on improving growth and qualities of Chinese chives and spinach in organic farm. *Plant Pathology Journal*, 34, 567-574.

Kumar, K. A., & Rengasamy, R. (2000). Antibacterial activities of seaweed extracts/fractions obtained through a TLC profile against the phytopathogenic bacterium *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Botanica Marina*, 43, 417-421. <https://doi.org/10.1515/BOT.2000.043>

Kumar, C. S., Sarada, D. V. L., & Rengasamy, R. (2008). Seaweed extracts control the leaf spot disease of the medicinal plant *Gymnema sylvestre*. *Indian Journal of Science and Technology*, 1, 1-5. <https://doi.org/10.17485/ijst/2008/v1i3/8>

Lee, S.-M., & Ryu, C.-M. (2021). Algae as new kids in the beneficial plant microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 12, 599742. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.599742>

Mason, C. P., Edwards, K. R., Carlson, R. E., Pignatello, J., Gleason, F. K., & Wood, J. M. (1982). Isolation of chlorine-containing antibiotic from the freshwater cyanobacterium *Scytonema hofmanni*. *Science*, 215, 400-402.

Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae

for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 217-232.

Mayer, A. M. S., Rodriguez, A. D., Berlinck, R. G. S., & Fusetani, N. (2011). Marine pharmacology in 2007–8: Marine compounds with antibacterial, anticoagulant, antifungal, anti-inflammatory, antimalarial, antiprotozoal, antituberculosis, and antiviral activities; affecting the immune and nervous system, and other miscellaneous mechanisms of action. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 153, 191-222. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2010.08.008>

Mercier, L., Lafitte, C., Borderies, G., Briand, X., Esquerré-Tugayé, M.-T., & Fournier, J. (2001). The algal polysaccharide carrageenans can act as an elicitor of plant defence. *New Phytologist*, 149, 43-51.

Moga, M. A., Dima, L., Balan, A., Blidaru, A., Dimienescu, O. G., Podasca, C., & Toma, S. (2021). Are bioactive molecules from seaweeds a novel and challenging option for the prevention of HPV infection and cervical cancer therapy? A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 629. <https://doi.org/10.3390/ijms22020629>

Nowruzi, B., & Porzani, S. J. (2021). Toxic compounds produced by cyanobacteria belonging to several species of the order Nostocales: A review. *Journal of Applied Toxicology*, 41, 510-548.

Overland, M., Mydland, L. T., & Skrede, A. (2019). Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 13-24.

Özdemir, N., & Erkmen, J. (2013). Yenilenebilir biyoplastik üretiminde alginin kullanımı. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(8), 89-104.

Paulert, R., Smania, A., Stadnik, M. J., & Pizzolatti, M. G. (2007). Antimicrobial properties of extracts from the green seaweed *Ulva fasciata* Delile against pathogenic bacteria and fungi. *Algological Studies*, 123, 123-130. <https://doi.org/10.1127/1864-1318/2007/0123-0123>

Prasanna, R., Chaudhary, V., Gupta, V., Babu, S., Kumar, A., Singh, R., Shivay, Y. S., & Nain, L. (2013). Cyanobacteria mediated plant growth promotion and bioprotection against *Fusarium* wilt in tomato. *European Journal of Plant Pathology*, 136, 337-353. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0167-x>

Rapp, J., Wagner, B., Brilisauer, K., & Forchhammer, K. (2021). In vivo inhibition of the 3-dehydroquinate synthase by 7-deoxysedoheptulose depends on promiscuous uptake by sugar transporters in cyanobacteria.

Frontiers in Microbiology, 12, 692986.

Rayorath, P., Khan, W., Palanisamy, R., MacKinnon, S. L., Stefanova, R., Hankins, S. D., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2008). Extracts of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* induce gibberellic acid (GA3)-independent amylase activity in barley. *Journal of Plant Growth Regulation*, 27, 370-379.

Renaut, S., Masse, J., Norrie, J. P., Blal, B., & Hijri, M. (2019). A commercial seaweed extract structured microbial communities associated with tomato and pepper roots and significantly increased crop yield. *Microbial Biotechnology*, 12, 1346-1358.

Sangha, J. S., Ravichandran, S., Prithiviraj, K., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2010). Sulfated macroalgal polysaccharides λ -carrageenan and ι -carrageenan differentially alter *Arabidopsis thaliana* resistance to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Physiology and Molecular Plant Pathology*, 75, 38-45.

Sano, Y. (1999). Antiviral activity of alginate against infection by tobacco mosaic virus. *Carbohydrate Polymers*, 38, 183-186. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00119-2](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00119-2)

Schrader, K. K., Nagle, D. G., & Wedge, D. E. (2002). Algal and cyanobacterial metabolites as agents for pest management. In R. K. Upadhyay (Ed.), *Advances in microbial toxin research and its biotechnological exploitation* (pp. 171-195). Boston, MA: Springer.

Shaaban, M. M. (2001). Green microalgae water extract as foliar feeding to wheat plants. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4, 628-632.

Shaaban, M. M. (2001). Nutritional status and growth of maize plants as affected by green microalgae as soil additives. *Journal of Biological Sciences*, 1, 475-479.

Shukla, P. S., Borza, T., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2016). Carrageenans from red seaweeds as promoters of growth and elicitors of defense response in plants. *Frontiers in Marine Science*, 3, 81.

Singh, S., & Datta, P. (2007). Outdoor evaluation of herbicide resistant strains of *Anabaena variabilis* as biofertilizer for rice plants. *Plant and Soil*, 296, 95-102.

Smith, G. D., & Thanh Doan, N. (1999). Cyanobacterial metabolites with bioactivity against photosynthesis in cyanobacteria, algae and higher plants. *Journal of Applied Phycology*, 11, 337-344. <https://doi.org/10.1023/A:1008115818348>

Soliman, A. S., Ahmed, A. Y., Abdel-Ghafour, S. E., El-Sheekh, M. M., & Sobhy, H. M. (2018). Antifungal bio-efficacy of the red algae

Gracilaria confervoides extracts against three pathogenic fungi of cucumber plant. Middle East Journal of Applied Sciences, 8, 727-735.

Soltys, D. (2013). Cyanobacteria and their bioactive compounds as potential sources of natural pesticides. In *Algae biotechnology: Products and processes* (pp. 87-106). Springer.

Stirk, W. A., Arthur, G. D., Lourens, A. F., Novak, O., Strnad, M., & Van Staden, J. (2004). Changes in cytokinin and auxin concentrations in seaweed concentrates when stored at an elevated temperature. *Journal of Applied Phycology*, 16, 31.

Sultana, V., Baloch, G. N., Ara, J., Ehteshamul-Haque, S., Tariq, R. M., & Athar, M. (2012). Seaweeds as an alternative to chemical pesticides for the management of root diseases of sunflower and tomato. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 84, 162.

Ünver Alçay, A., Bostan, K., Dinçel, E., & Varlık, C. (2017). Algerin insan gıdası olarak kullanımı. *Aydın Gastronomy*, 1(1), 47-59.

Vera, J., Castro, J., Gonzalez, A., & Moenne, A. (2011). Seaweed polysaccharides and derived oligosaccharides stimulate defense responses and protection against pathogens in plants. *Marine Drugs*, 9, 2514-2525. <https://doi.org/10.3390/md9122514>

Veronico, P., & Melillo, M. T. (2021). Marine organisms for the sustainable management of plant parasitic nematodes. *Plants*, 10, 369. <https://doi.org/10.3390/plants10020369>

Villaruel-Lopez, A., Ascencio, F., & Nuno, K. (2017). Microalgae, a potential natural functional food source: A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(4), 251-263.

Watanabe, K., Umeda, K., Kurita, Y., Takayama, C., & Miyakado, M. (1990). Two insecticidal monoterpenes, telfairine and aplysiaterpenoid A, from the red alga *Plocamium telfairiae*: Structure elucidation, biological activity, and molecular topographical consideration by a semiempirical molecular orbital study. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 37, 275-286.

Yu, K.-X., Jantan, I., Ahmad, R., & Wong, C.-L. (2014). The major bioactive components of seaweeds and their mosquitocidal potential. *Parasitology Research*, 113, 3121-3141. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-4068-5>

Žak, A., & Kosakowska, A. (2016). Cyanobacterial and microalgal bioactive compounds: The role of secondary metabolites in allelopathic interactions. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 45, 131-143. <https://doi.org/10.1515/ohs-2016-0013>

Zemolin, A. P. P., Cruz, L. C., Paula, M. T., Pereira, B. K., Albuquerque, M. P., Victoria, F. C., Pereira, A. B., Posser, T., & Franco, J. L. (2014). Toxicity induced by *Prasiola crispa* to fruit fly *Drosophila melanogaster* and cockroach *Nauphoeta cinerea*: Evidence for bioinsecticide action. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 77, 115-124.

Zhao, L., Feng, C., Wu, K., Chen, W., Chen, Y., Hao, X., & Wu, Y. (2017). Advances and prospects in biogenic substances against plant virus: A review. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 135, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2016.07.00>

BÖLÜM 4

HERMAFRODİT BALIKLARDA ANAÇ YÖNETİMİ

FİLİZ KUTLUYER KOCABAŞ¹
MEHMET KOCABAŞ²

Giriş

Su ürünleri yetiştiriciliğinin ekonomik olarak sürdürülebilir olması, döllenmiş yumurta ve yavru balıkların düzenli ve güvenilir şekilde sağlanmasına bağlıdır. Bu gereksinim ise kültür ortamında oluşturulan ve uygun şekilde yönetilen anaç stokları sayesinde karşılanabilmektedir (Klaoudatos ve Klaoudatos, 2004, s.187).

Anaç yönetimi, yetiştiricinin kapalı ortamda bulunan balıkların üreme olgunluğuna ulaşmasını, yumurtlamasını ve döllenmiş yumurta üretmesini sağlamak amacıyla uyguladığı tüm uygun yöntem ve uygulamaları kapsar. Bu yönetim süreci yalnızca çevresel koşulların düzenlenmesini içerebileceği gibi, gerekli durumlarda dışarıdan hormon uygulanmasını da kapsayabilir. Su sıcaklığı, ışık süresi ve su kalitesi gibi çevresel faktörlerin kontrol edilmesi balıkların üreme sürecini etkileyen önemli unsurlardır. Bunun yanında kullanılan hormonların türü, uygulanma protokolleri

¹ Prof. Dr., Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, 62000, Tunceli, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8334-5802.

² Prof. Dr., Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, 62000, Tunceli, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8334-5802.

ve gametlerin (yumurta ve sperm) elde edilme yöntemleri, yetiştirilen balık türünün üreme biyolojisine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu nedenle bir türün doğru şekilde yönetilebilmesi için gamet oluşumu (gametogenez), son olgunlaşma ve yumurtlama süreçlerinin endokrin kontrolünün iyi anlaşılması büyük önem taşımaktadır (Mylonas ve ark., 2010, s.516).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde üretimi planlanan balık türlerinden yumurta ve yavru elde edilebilmesi için anaç stoğunun oluşturulması en önemli aşamalardan biri olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, hermafrodit türlerde görülebilen cinsiyet değişimi, damızlık stoğunun oluşturulması sürecinde karışıklıklara yol açarak ek zorluklar ortaya çıkarabilmektedir (Klaoudatos ve Klaoudatos, 2004, s.187).

Hermafroditizm, balıklar arasında sıkça rastlanan bir olgudur ve türler arasında farklı şekillerde ortaya çıkabilmektedir (Atz, 1964, s.145). Hermafrodit türlerde etkin ve başarılı bir üreme programının yürütülebilmesi, dikkatle planlanmış bir anaç stoğunun oluşturulmasına dayanır (Purayıl ve ark., 2024, s.103304). Hermafrodit bir türde, türün biyolojik özelliklerinin anlaşılması özellikle önemlidir; bu kapsamda hermafroditlik türü, gonadların olgunlaşma yaşı, başlangıçta gözlemlenen cinsiyet ve cinsiyet değişiminin gerçekleştiği kesin zaman bilinmelidir (Reinboth, 1962, s.405; Atz, 1964, s.145). Bu derlemenin amacı, hermafrodit balık türlerinde anaç yönetiminin üreme başarısı ve sürdürülebilir yetiştiricilik açısından taşıdığı önemi ortaya koymak ve bu alanda gerçekleştirilen bilimsel çalışmaları kapsamlı bir şekilde değerlendirmektir.

Anaç Yönetimi

Su ürünleri yetiştiriciliğinde herhangi bir türden başarılı yavru üretimi sağlamak için anaç stoğunun geliştirilmesi temel bir gerekliliktir (Purayıl ve ark., 2024, s.103304). Balıklarda anaç seçimi genellikle somatik büyüme, yem verimliliği, hastalık direnci,

deformasyonlar, fileto verimi veya fileto yağ asidi bileşimi gibi kriterlere dayanmaktadır (Fernandes ve ark., 2017, s.499; De Verdal ve ark., 2018, s.833; Palaokostas ve ark., 2016, s.3693; Negrín-Báez ve ark., 2015, s.53; García-Celdrán ve ark., 2016; Vandeputte ve ark., 2019; Garcia ve ark., 2017, s.103; Schlicht ve ark., 2019; Horn ve ark., 2018, s.23; Horn ve ark., 2020, s.734767). Yüksek kaliteli damızlıklar, seçici yetiştirme programları, ticari yavru üretimi ve stok artırımı projeleri gibi tüm üreme programlarının başlatılmasında kritik öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, kapalı sistemlerde anaç stoklarının geliştirilmesine yönelik protokoller, her bir yetiştiricilik adayı türe göre farklılık göstermektedir (Purayil ve ark., 2024, s.103304).

Anaç stoklarının mevsimsel bulunabilirliği, herhangi bir türün damızlık geliştirme sürecinde önemli bir kriter olarak değerlendirilmektedir. Olgun balıkların mevsimsel dağılımındaki farklılıklar, ticari estuarin türlerde (Claridge ve ark., 1986, s.229), resif balıklarında (Munro ve ark., 1973, s.69) ve tatlı su balıklarında belgelenmiştir (Pope ve Willis, 1996, s.57). Bazı türlerde ise belirli dönemlerde ay döngüsüne bağlı yoğunluk artışları gözlemlenmektedir. Örneğin, Kuparinen ve ark. (2009, s.2401), Atlantik somonunda (*Salmo salar*) ay döngüsü ve nehre giriş zamanlaması arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Bos ve Gumanao (2012, s.2074), Filipinler’de mercan resif balıklarının mevcudiyetinin ay döngülerinden etkilendiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca, Lowry ve ark. (2007, s.15), karabalina (*Makaira indica*), yunus balığı (*Coryphaena hippurus*) ve sarı yüzgeçli orkinos (*Thunnus albacares*) avlarının ay fazıyla anlamlı bir ilişki gösterdiğini bildirmişlerdir (Purayil ve ark., 2024, s.103304).

Balıklarda hermafroditizm

Hermafroditlik, balıklarda farklı biçimlerde ortaya çıkmaktadır. Fonksiyonel (döllenebilir) hermafroditler, yaşamları boyunca hem erkek hem de dişi gamet üretebilen bireylerdir. Ancak

hermafroditlik, memeliler, kuşlar, sürüngenler ve amfibiler de dahil olmak üzere çoğu omurgalı sınıfında infertiliteye yol açar (Policansky, 1982, s.3693). Mevcut teleost balık türlerinin yaklaşık %6'sı (yaklaşık 1500 tür) fonksiyonel hermafrodit olarak kaydedilmiştir (de Mitcheson ve Liu, 2008, s.1). Hermafrodit balıklarda ovotestis, histolojik olarak iki şekilde ayrılır: singonik tipte yumurta ve testis arasında belirgin bir sınır bulunmazken, digonik tipte yumurta ve testis bağ dokusu ile birbirinden ayrılmıştır.

Hermafroditlik ayrıca eşzamanlı ve ardışık olarak sınıflandırılır. Eşzamanlı hermafroditlerde hem erkek hem de dişi gametler aynı anda üretilirken, ardışık hermafroditlerde gametler sırayla üretilir ve bu tür üç alt gruba ayrılır: protogini (dışiden erkeğe cinsiyet değişimi), protandri (erkekten dişiye cinsiyet değişimi) ve seriyal iki yönlü cinsiyet değişimi (Munday ve ark., 2006, s.2845; Mank ve Avise, 2009, s.60). Ardışık hermafroditlik balıklarda yaygın olmakla birlikte, eşzamanlı hermafroditlik yalnızca birkaç türde gözlemlenmiştir; örneğin mangrov balığı *Kryptolebias marmoratus* ve mercan balığı *Hypoplectrus nigricans* (de Mitcheson ve Liu, 2008, s.1; Wu ve ark., 2021, s.198). Ardışık hermafroditlik, bir balığın cinsiyetinin yaşamı boyunca değişebildiği bir durumdur ve bu değişim ovotestis dokusundaki histolojik farklılıklar ile kendini gösterir; bir gonad tipi gelişip baskın hale gelirken, diğeri geriler. Bazı türlerde bu cinsiyet değişimi, popülasyon içindeki sosyal etkileşimler veya bireyler arasındaki görelî boyut farkları gibi çevresel ipuçlarıyla tetiklenir. Örneğin, protogini türü labirent balıkları (*Halichoeres* cinsleri), deniz anemon balıkları (*Amphiprion* cinsleri) ve bazı iki yönlü cinsiyet değiştiren gobyler (*Gobiodon* ve *Paragobiodon* cinsleri) bu mekanizmayı takip eder (de Mitcheson ve Liu, 2008, s.1). Buna karşın, birçok ardışık hermafrodit türde cinsiyet dönüşümü, sosyal faktörlerden bağımsız olarak, bireyin yaşına veya vücut büyüklüğüne bağılı olarak gerçekleşir. Bu durum, protogini grup balıkları (*Epinephelus* cinsleri), protogini Asya levreği (*Lates calcarifer*), protandri çipura (*Sparus aurata*) ve

karabibere (*Acanthopagrus schlegelii*) gibi türlerde gözlemlenmiştir (Munday ve ark., 2006, s.2845; Mank ve Avise, 2009, s.60; Wu ve Chang, 2018, s.198; Wu ve ark., 2021, s.111069).

Gonadal cinsiyet farklılaşması, teleost balıklarda endojen östrojen düzeylerine karşı oldukça hassastır ve bu süreç, dışarıdan uygulanan steroidler veya aromataz enzim aktivitesinin engellenmesiyle etkilenebilir (Guiguen ve ark., 2010, s.352). Hermafrodit balıklarda dikkat çeken bir özellik, cinsiyetin tersine çevrilebilir olmasıdır, oysa primer cinsiyet farklılaşması genellikle kalıcıdır. Kimyasal uyarılarla başlatılan cinsel fazlar genellikle kısa süreli olup, uygulama durdurulduğunda protandri türü karabibere ve protogini türü grup balıklarında cinsiyetin eski durumuna dönmesi gözlemlenmiştir (Lee ve ark., 2004, s.1270; Wu ve ark., 2008, s.200; Murata ve ark., 2014, s.25; Wu ve ark., 2015, s.0145438). Bu bulgular, hermafrodit balıklarda cinsiyet gelişiminin dışsal kimyasallardan bağımsız olduğunu ve esas olarak bireysel özellikler—örneğin belirli bir vücut boyu ve yaş—tarafından düzenlendiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, “boyut-avantaj hipotezi” cinsiyet değişiminin zamanlamasını açıklamakta yaygın olarak kullanılsa da (Warner, 1988, s.133; Ghiselin, 2006, s.368), sosyal ipuçlarından etkilenmeyen hermafrodit balıklarda cinsiyet değişimini kontrol eden moleküler ve hücresel mekanizmalar hâlen tam olarak çözülememiştir (Wu ve ark., 2021, s.111069).

Hermafrodit Balıklarda Anaç Yönetimi

Tablo 1’de hermafrodit balıklarda anaç yönetimi üzerine yürütülmüş çalışmalar sunulmuştur. *Oncorhynchus tshawytscha* gibi salmonlarda hermafrodit bireylerin gözlemi, türlerde nadir de olsa eşey değişiminin olabileceğini göstermektedir. *Pagellus erythrinus* ve *Sparidentex jamalensis* gibi türlerde, broodstock’un beslenme rejimi ve LHRH gibi hormon uygulamaları, oosit olgunlaşması, fertilizasyon ve larva verimi üzerinde doğrudan etkili olmuştur. *Sparus aurata*’da genetik seçim ve n-3 LC-PUFA diyetleri, sperm

ve yumurta kalitesini artırarak üreme performansını iyileştirmiştir. Bunun yanı sıra, anaç kaynağı ve larva deformiteleri ilişkisi, ticari kuluçkahane uygulamalarında deformite oranlarını ve üretim verimliliğini etkilemektedir. *Acanthopagrus berda* ve *A. schlegelii* gibi protandrik türlerde eşey geçişi moleküler ve hücresel düzeyde düzenlendiğinden, anaçların yaş, boy ve sosyal yapısı üreme planlamasında kritik bir rol oynar. Ayrıca, *Amphiprion ocellaris*, *Lates calcarifer* ve *Centropomus undecimalis* gibi türlerde hormon uygulamaları ile cinsiyet değişimi sağlanabilmekte, anaç yönetimi ile üreme başarısı optimize edilebilmektedir.

Anaç yönetimi, bu türlerde üreme başarısını artırmak ve kuluçkahane verimliliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Hermafrodit balıklarda cinsiyet değişimi ve eşey oranları, doğal ve yapay üreme programlarının etkinliğini doğrudan etkiler. Bu nedenle, anaç seçimi, yaş ve boy dağılımı, beslenme rejimi, genetik özellikler ve sosyal yapı dikkate alınarak yapılmalıdır. Hormon uygulamaları, besin takviyeleri ve genetik seleksiyon gibi yöntemler, anaçların üreme performansını optimize etmek ve deformite oranlarını azaltmak için kullanılabilir.

Sonuç

Hermafrodit balıklarda anaç yönetimi, sürdürülebilir ve verimli bir su ürünleri üretimi için kritik öneme sahiptir. İncelenen çalışmalar, protandrik ve protogin türler de dahil olmak üzere hermafrodit balıklarda üreme performansının, anaç seçimi, yaş ve boy dağılımı, sosyal hiyerarşi, beslenme ve hormon uygulamaları gibi faktörlerden doğrudan etkilendiğini göstermektedir. Doğru cinsiyet oranının sağlanması, yeterli ve dengeli beslenmenin uygulanması ve gerektiğinde hormonal veya genetik müdahalelerin yapılması, gamet kalitesi, fertilizasyon oranları ve larva hayatta kalma oranlarını önemli ölçüde artırabilir. Ayrıca, anaçların kaynağı ve genetik yapısı, sadece üreme başarısını değil, yavrulardaki deformite oranlarını da etkilediği için dikkatle seçilmelidir. Genel

olarak, hermafrodit balıklarda etkin anaç y6netimi, biyolojik bilgilerin operasyonel uygulamalarla b6t6nleştirildiği entegre bir yaklaşım gerektirir. Bu stratejilerin uygulanması, kuluçka verimliliğini artırmak, y6ksek kaliteli larva 6retimini desteklemek ve karmaşık cinsiyet sistemlerine sahip t6rlerin s6rd6r6lebilir yetiştiriciliğini sağlamak açısından 6nemlidir.

Kaynaklar

Abduh, M. Y., Thuong, N. P., Abol Munafi, A. B., & Lokman, N. H. N. (2020). Producing false clownfish (*Amphiprion ocellaris*) male broodstock by administering 17 α -methyltestosterone to protandrous hermaphrodite juveniles. *AACL Bioflux*, 13(2), 746–759.

Atz, J. W. (1964). Intersexuality in fishes. In C. N. Armstrong & A. J. Marshall (Eds.), *Intersexuality in vertebrates including man* (pp. 145–232). Academic Press.

Barnes, M. E., Carreiro, J. M., & Cordes, J. F. (2001). Hermaphroditism observed in captive fall Chinook salmon broodstock. *North American Journal of Aquaculture*, 63(3), 262–265.

Bos, A. R., & Gumanao, G. S. (2012). The lunar cycle determines availability of coral-reef fishes at fish markets. *Journal of Fish Biology*, 81(6), 2074–2079.

Chen, J., Xiao, L., Peng, C., Ye, Z., Wang, D., Yang, Y., & Zhang, Y. (2019). Socially controlled male-to-female sex reversal in the protogynous orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides*. *Journal of Fish Biology*, 94(3), 414–421.

Claridge, P. N., Potter, I. C., & Hardisty, M. W. (1986). Seasonal changes in movements, abundance, size composition and diversity of the fish fauna of the Severn Estuary. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 66(1), 229–258. <https://doi.org/10.1017/S002531540003976X>

Contreras García, M. J., Moreno, F., & Pérez, A. (2023). Induced sex reversal in *Centropomus undecimalis* using estradiol implants. *Marine Life Studies*, 3(3), 16.

De Mitcheson, Y. S., & Liu, M. (2008). Functional hermaphroditism in teleosts. *Fish and Fisheries*, 9(1), 1–43. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2007.00266.x>

De Verdal, H., Komen, H., Quillet, E., Chatain, B., Allal, F., Benzie, J. A. H., & Vandeputte, M. (2018). Improving feed efficiency in fish using selective breeding: A review. *Reviews in Aquaculture*, 10(4), 833–851.

Ferosekhan, S., Turkmen, S., Pérez García, C., Xu, H., Gómez, A., Shamna, N., & Kaushik, S. (2021). Influence of genetic selection for growth and broodstock diet n-3 LC-PUFA levels on reproductive performance of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Animals*, 11(2), 519. <https://doi.org/10.3390/ani11020519>

Fernandes, T., Herlin, M., Belluga, M. D. L., Ballón, G., Martinez, P., Toro, M. A., & Fernández, J. (2017). Estimation of genetic parameters for growth traits in a hatchery population of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture International*, 25, 499–514.

Franch, R., Louro, B., Tsalavouta, M., et al. (2006). A genetic linkage map of the hermaphrodite teleost fish *Sparus aurata* L. *Genetics*, 174(2), 851–861.

García-Celdrán, M., Cutáková, Z., Ramis, G., Estévez, A., Manchado, M., Navarro, A., María-Dolores, E., Peñalver, J., Sánchez, J. A., & Armero, E. (2016). Estimates of heritabilities and genetic correlations of skeletal deformities and uninflated swimbladder in a reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juvenile population sourced from three broodstocks along the Spanish coasts. *Aquaculture*, 464, 601–608.

Garcia, A. L., Sary, C., Karin, H. M., Ribeiro, R. P., Lourenco, D. A. L., Tsuruta, S., & Oliveira, C. A. (2017). Fillet yield

and quality traits as selection criteria for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) breeding. *Journal of Animal Science*, 95, 103.

Ghiselin, M. T. (2006). Sexual selection in hermaphrodites: Where did our ideas come from? *Integrative and Comparative Biology*, 46(3), 368–372. <https://doi.org/10.1093/icb/icj039>

Guiguen, Y., Fostier, A., Piferrer, F., & Chang, C. F. (2010). Ovarian aromatase and estrogens: A pivotal role for gonadal sex differentiation and sex change in fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 352–366. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.03.002>

Holhorea, P. G., Felip, A., Caldach Giner, J. A., Afonso, J. M., Pérez Sánchez, J., et al. (2023). Use of male to female sex reversal as a welfare scoring system in the protandrous farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Frontiers in Veterinary Science*, 10, Article 1083255.

Horn, S. S., Meuwissen, T. H. E., Moghadam, H., Hillestad, B., & Sonesson, A. K. (2020). Accuracy of selection for omega-3 fatty acid content in Atlantic salmon fillets. *Aquaculture*, 519, 734767.

Horn, S. S., Ruyter, B., Meuwissen, T. H. E., Hillestad, B., & Sonesson, A. K. (2018). Genetic effects of fatty acid composition in muscle of Atlantic salmon. *Genetics Selection Evolution*, 50, 23.

Klaoudatos, S., & Klaoudatos, D. (2004). Brood stock formation of the hermaphrodite finfish species *Pagellus erythrinus* (common Pandora) from fish reared in captivity. *Mediterranean Marine Science*, 5(1), 187–198. <https://doi.org/10.12681/mms.224>

Kuparinen, A., O'Hara, R. B., & Merilä, J. (2009). Lunar periodicity and the timing of river entry in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology*, 74(10), 2401–2408.

Lee, Y. H., Wu, G. C., Du, J. L., & Chang, C. F. (2004). Estradiol-17 β induced a reversible sex change in the fingerlings of protandrous black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* Bleeker: The possible roles of luteinizing hormone in sex change. *Biology of Reproduction*, 71, 1270–1278. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.104.030221>

Lowry, M., Williams, D., & Metti, Y. (2007). Lunar landings: Relationship between lunar phase and catch rates for an Australian gamefish-tournament fishery. *Fisheries Research*, 88(1–3), 15–23.

Mank, J. E., & Avise, J. C. (2009). Evolutionary diversity and turn-over of sex determination in teleost fishes. *Sexual Development*, 3, 60–67. <https://doi.org/10.1159/000223071>

Meng, F., Sun, S., Xu, X., Yu, W., Gan, R., Zhang, L., & Zhang, W. (2022). Transcriptomic analysis provides insights into the growth and maturation of ovarian follicles in the ricefield eel (*Monopterus albus*). *Aquaculture*, 555, 738251.

Munday, P. L., Wilson White, J., & Warner, R. R. (2006). A social basis for the development of primary males in a sex-changing fish. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273, 2845–2851. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3666>

Munro, J. L., Gaut, V. C., Thompson, R., & Reeson, P. H. (1973). The spawning seasons of Caribbean reef fishes. *Journal of Fish Biology*, 5(1), 69–84.

Murata, R., Kobayashi, Y., Karimata, H., Kishimoto, K., Kimura, M., & Nakamura, M. (2014). Transient sex change in the immature Malabar grouper, *Epinephelus malabaricus*, after androgen treatment. *Biology of Reproduction*, 91, 25. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.113.115378>

Mylonas, C. C., Fostier, A., & Zanuy, S. (2010). Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3), 516–534.

Negrín-Báez, D., Navarro, A., Lee-Montero, I., Soula, M., Afonso, J. M., & Zamorano, M. J. (2015). Inheritance of skeletal deformities in gilthead seabream (*Sparus aurata*): Lack of operculum, lordosis, vertebral fusion and LSK complex. *Journal of Animal Science*, 93, 53–61.

Palaiokostas, C., Ferrarezzo, S., Franch, R., Houston, R. D., & Bargelloni, L. (2016). Genomic prediction of resistance to pasteurellosis in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) using 2b-RAD sequencing. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 6, 3693–3700.

Policansky, D. (1982). Sex change in plants and animals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 13, 471–495.

Pope, K. L., & Willis, D. W. (1996). Seasonal influences on freshwater fisheries sampling data. *Reviews in Fisheries Science*, 4(1), 57–73.

Purayil, S. B. P., Thomas, S. M., Kumar, R., Anirudhan, A., Praveen, N. D., Gopal, V. N., & Achamveetil, G. (2024). Spatial variation of the broodstock availability of *Acanthopagrus berda* (Forsskal 1775) with emphasis on seasonality, lunar periodicity, and sex ratio for facilitating efficient breeding program. *Regional Studies in Marine Science*, 69, 103304.

Reinboth, R. (1962). Morphologische und funktionelle Zweigeschlechtlichkeit bei marinen Teleostiern (Serranidae, Sparidae, Centracanthidae, Labridae). *Zoologische Jahrbücher Abteilung für Physiologie*, 69, 405–480.

Schlicht, K., Krattenmacher, N., Lugert, V., Schulz, C., Thaller, G., & Tetens, J. (2019). Estimation of genetic parameters for

growth and carcass traits in turbot (*Scophthalmus maximus*). *Archives of Animal Breeding*, 62, 265–273.

Suresh Babu, P. P., Anuraj, A., Shilta Thomas, M., Jeena, N. S., Dube, P. N., Srinivasa Rao, K., ... & Gopalakrishnan, A. (2022). Broodstock development, final oocyte maturation and breeding of the newly described sparid fish, fanged seabream, *Sparidentex jamalensis* Amir, Siddiqui & Masroor, 2014. *Aquaculture Research*, 53(10), 3575–3585.

Theodorou, J. A., Perdikaris, C., & Venou, B. (2016). Origin of broodstock and effects on the deformities of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L. 1758) in a Mediterranean commercial hatchery. *International Aquatic Research*, 8(4), 275–282.

Vandeputte, M., Bugeon, J., Bestin, A., Desgranges, A., Allamelou, J. M., Tyran, A. S., Allal, F., Dupont-Nivet, M., & Haffray, P. (2019). First evidence of realized selection response on fillet yield in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, using sib selection or based on correlated ultrasound measurements. *Frontiers in Genetics*, 10, 1225. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01225>

Warner, R. R. (1988). Sex change and the size-advantage model. *Trends in Ecology & Evolution*, 3, 133–136. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(88\)90176-0](https://doi.org/10.1016/0169-5347(88)90176-0)

Wu, G. C., & Chang, C. F. (2018). Primary males guide the femaleness through the regulation of testicular *Dmrt1* and ovarian *Cyp19a1a* in protandrous black porgy. *General and Comparative Endocrinology*, 261, 198–202. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2017.01.033>

Wu, G. C., Dufour, S., & Chang, C. F. (2021). Molecular and cellular regulation on sex change in hermaphroditic fish, with a special focus on protandrous black porgy, *Acanthopagrus schlegelii*. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 520, 111069.

Wu, G. C., Tey, W. G., Li, H. W., & Chang, C. F. (2015). Sexual fate reprogramming in the steroid-induced bidirectional sex change in the protogynous orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides*. *PLoS ONE*, 10, e0145438. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145438>

Wu, G. C., Tomy, S., & Chang, C. F. (2008). The expression of *nr0b1* and *nr5a4* during gonad development and sex change in protandrous black porgy fish, *Acanthopagrus schlegeli*. *Biology of Reproduction*, 78, 200–210. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.062612>

Xiao, Y., Guan, S., Liu, Q., Liu, H., Yu, D., Ma, D., & Li, J. (2018). Genetic characteristics of broodstock and offspring of the seven-band grouper (*Hyporthodus septemfasciatus*) using fluorescent-AFLP markers. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(2), 261–267.

Tablo 1. Hermafrodit balıklarda anaç yönetimi üzerine yapılmış çalışmalar ve bulguları.

Tür	Hermafroditizm	Çalışma Konusu / Uygulama	Bulgular	Araştırmacı
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>		hermafrodit birey gözlemi	Dişi olarak sınıflanan birey sperm elde edilmesi, ovotestis varlığı	Barnes ve ark. (2001)
<i>Pagellus erythrinus</i>	hermafrodit	Anaç yönetimi & kafes yetiştiriciliği	Hormonlu/hormonsuz yumurta bırakılması	Klaoudatos ve Klaoudatos (2004)
<i>Sparus aurata</i>	protandrik	Genetik bağlantı haritası	204 mikrosatellit ile temel harita oluşturulması	Franch ve ark. (2006)
<i>Sparus aurata</i>	protandrik	Anaç orijini, fry deformitesi	Farklı kaynaklı broodstock'ta fry deformiteleri	Theodorou ve ark. (2016)
<i>Hyporthodus septemfasciatus</i>	protogin	Broodstock genetik çeşitlilik	Broodstock ve yavru genetik farklılıklar	Xiao ve ark. (2018)
<i>Epinephelus coioides</i>	protogin	Sosyal kontrol ile eşey değişimi	Dişiden erkeğe sosyal indüksiyon (2–4 hafta)	Chen ve ark. (2019)
<i>Amphiprion ocellaris</i>	protandrik	17 α -metiltestosteronla erkek broodstock üretimi	MT uygulamasıyla testiküler gelişim	Abdub ve ark. (2020)
<i>Sparus aurata</i>	protandrik	Genetic selection & broodstock diet n-3 LC-PUFA levels	HG trait + fish oil diyet, sperm & yumurta kalitesini ve larva veriminde artış	Ferosekhan ve ark. (2021)

Tür	Hermafroditizm	Çalışma Konusu / Uygulama	Bulgular	Araştırmacı
<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	protandrik	Moleküler/hücrese eşey geçişi mekanizmaları	Hypothalamus-pituiter aks ve dmrt1 aracılığı ile cinsiyet geçişi; digonic gonad modeline dayalı	Wu ve ark. (2021)
<i>Monopterus albus</i>	protogin	Gonad transcriptome profili	Östrojen/testosteron ilişkili cinsiyet geçişi	Meng ve ark. (2022)
<i>Sparidentex jamalensis</i>	protandrik	Broodstock geliştirme, olgunlaşma & üreme	LHRH-a ile final oosit olgunlaşması ve başarılı döllenmiş yumurta üretimi	Suresh Babu ve ark. (2022)
<i>Sparidentex jamalensis</i>	protandrik	anaç geliştirme, olgunlaşma & üreme	LHRH-a ile final oosit olgunlaşması ve başarılı döllenmiş yumurta üretimi	Suresh Babu ve ark. (2022)
<i>Lates calcarifer</i>	protandrik	eşey değişimi	Erkekten dişiye dönüşüm ve büyüme-üreme ilişkisi	Che-Zulkifli ve ark. (2023)
<i>Centropomus undecimalis</i>	protandrik	Estradiol ile eşey değişimi	%100 dişi dönüşümü elde edilmesi	Contreras-García ve ark. (2023)
<i>Gilthead sea bream</i>	protandrik	Beslenme/genetik ve eşey değişimi	Bitkisel diyet erkekten dişiye dönüşümü artması	Holhorea ve ark. (2023)
<i>Acanthopagrus berda</i>	protandrik	Anaç mevcudiyet: sezon/lunar/cinsiyet	Mevcudiyet sezon, ay fazı ve cinsiyet oranının belirlenmesi	Purayil ve ark. (2024)

BÖLÜM 5

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE KARŞI MİKORİZAL BİRLİKTELİK

Meral ÖDEMİŞ¹
Prof.Dr.Çiğdem KÜÇÜK²
Doç.Dr.Bülent TOPRAK³

Giriş

Mikoriza; bitki türlerinin büyük çoğunluğu ile simbiyotik ortaklık oluşturan mantarlarındandır. Mikoriza kavramı ilk olarak Frank (1885) tarafından kullanılmış olup Yunanca'da mykes = fungus, ve rhiza= kök anlamına gelen sözcüklerden oluşmaktadır. Mikorizal fungusların aktivitelerinin toprak tekstürü, pH, nem, sıcaklık vb. ile gübre ve kimyasal pestisit uygulamaları gibi faktörden etkilendiği gözlemlenmiştir (Dodd ve Jeffries, 1989:113). Toprak rizosferinde en işlevsel olan simbiyontlardan biri Arbusküler Mikorhizal Funguslar (AMF)'dir (Smith ve Read, 2010).

¹ Doktora Öğrencisi, Harran Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Orcid:0000-0001-8750-8154

² Prof.Dr., Harran Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Orcid:0000-0001-5688-5440

³ Doç.Dr., İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orcid:0000-0001-6500-7885

Arbusküler Mikorizal Funguslar (AMF), besinsel (P alımı, K, N, Ca vb.) ve besin dışı (absisik asit vb.) mekanizmaları sayesinde bitkilerin su ile olan ilişkilerini güçlendirip kuraklığa karşı dirençlerini artırmaktadır (Auge, 2001:3; Smith ve Read, 2008; Lambers ve ark., 2008; Apple, 2010:121). AMF'deki besin dışı mekanizması hormonal etkiye sahip olup; gelişmiş hif-toprak etkileşimi, mikro gözeneklerindeki suyun etkili bir biçimde temizlenmesi, hifler aracılığıyla direkt olarak alınan su ve mikorizanın uyarımıyla artan fotosentez durumlarını kapsamaktadır (Kaschuk ve ark., 2009:1233; Smith ve ark., 2010).

Mikorizal mantarların ekosistem işlevlerini, bitkinin üretkenliğini, topluluktaki ayrışma durumunu ve topraktaki besin döngüsünü etkilediklerine ilişkin çalışmalar yapılmıştır (Jiang ve ark., 2017:187; Rosling ve ark., 2016:1184). Yeryüzündeki bütün organizmalar gibi mikorizal mantarlarında iklim değişikliği üzerine doğrudan etkiye sahip oldukları açıklanmıştır (Fernandez ve ark., 2017:1598). Bu duruma iklim değişikliğinin mikorizal mantarlarda melanin kapsamında farklılığa neden olması örnek gösterilmektedir; melanin miktarındaki artışın su varlığındaki değişimle ilgili olduğu belirtilmiştir (Deveautour ve ark.,2019:41). Melanin artışı fungal ayrışmayı ve karbon depolamasını azaltarak iklim değişikliği üzerinde etkiyi göstermektedir (Fernandez ve Kennedy, 2018:468; Clemmensen ve ark.,2015:1525).

İKLİM-MİKORİZA-BİTKİ ETKİLEŞİMİ

Konakçı bitkinin iklim değişiminden kaynaklanan çevresel strese bağlı olarak simbiyotik ortakçası olan mikorizal mantarlar da aynı stresi yaşayarak olumsuz etkilenmektedir (Millar ve Bennett, 2016:625). Mikorizal mantarlar ortamdaki bitki türlerinin neredeyse tamamıyla ilişki içinde olup, hifleri vasıtasıyla topraktan su ve besini

olarak karbon akışında hayati rol oynamaktadır (Smith ve Read, 2008).

Atmosferde Artan CO₂ Oranının Mikorizalara Etkisi

Fosil yakıt kullanımının ve yanlış arazi kullanımlarından dolayı, 1800'lerin başından beri CO₂ oranı 280 ppm'den 400 ppm'e yükselmiştir (Bellgard and Williams, 2011:8). Artan CO₂, bitkilerin mikorizalarla olan verimliliğini artırdığı gibi fotosentezi de artırarak karbon transferinde artışa neden olmaktadır (Simard ve ark., 2012:39). Ayrıca, artan CO₂ seviyeleri, bitki ve mikoriza yapısında da değişikliklere neden olmaktadır (Hobbie ve Agerer, 2010:71; Lilleskova ve ark., 2011:174).

Topraktaki Sıcaklığın Mikorizalar Üzerine Etkileri

Artan sıcaklıklar, mikoriza üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmaktadır (Bellgard ve Williams, 2011:8). Sıcaklık değişimleri, mikorizaların kullandığı kaynakların miktarını ve propagüllerin dağılımını dinamiklerine de yön vermektedir. Bu durum, sadece mikorizayı değil, aynı zamanda topraktaki diğer organizmaları da etki altına almaktadır. Zira, optimum sıcaklıklarda enzimatik aktiviteler etkin bir şekilde gerçekleşirken, yüksek sıcaklıklara karşı bu enzimler olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle, konakçı bitkiler ve mantarlar arasındaki mikorizal simbiyoz dolaylı bir şekilde sıcaklıktan etkilenmektedir (Staddon ve ark., 2002:1013). Bitkilerin gelişimi, toprağın sıcaklığındaki artışla birlikte bitki gelişimi belirli bir noktaya kadar teşvik edilse de topraktaki besin maddeleri ya da su kıtlığı gibi sınırlayıcı faktörler gelişimi durdurabilmektedir. Sıcaklık, solunumu ve ayrışmayı süreçlerini hızlandırarak besinlerin faydalanılabilirliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Azcon-Aguilar ve Gavito, 2012:2).

Mikoriza – Toprak Suyu İlişkisi

Arbusküler Mikorizal (AM) birliktelik kuran ve kurmayan bitkilerin su ile olan ilişkileri inceleme konusu edilirken (Pavithra ve Yapa, 2018:37), AM mantarların toprakta su ve nem tutma özellikleri üzerine olan araştırmalar sınırlı düzeydedir. Toprak dinamikleri üzerinde en etkin mikrobiyal topluluk olarak karşımıza mantarlar çıkmaktadır (Foster, 1994:144). AM mantarlar, toprak mikrobiyal biyokütlesinin büyük bir kısmını oluşturmalarının yapı sıra fiziksel olarak toprak parçacıklarını bir arada tutarak toprak yapısını stabilize etmektedir (Borie ve ark., 2008:9). Bu süreç, mikroagregatların oluşumunu teşvik etmekte ve makroagregatların kimyasal olarak stabilize edilmesine yardımcı olmaktadır (Rillig ve Mummey, 2006:41).

AM mantarlar, toprakta aşırı oranda glikoprotein olan glomalin üretmektedir. Toprağın karmaşık yapısına rağmen, glomalinin konsantrasyonu, topraktaki agregat stabilitesi ile ilişkilidir (Wright ve Upadhyaya, 1998:97; Rillig, 2004:355). Toprağın agregatları, gözenekler ve parçacıklar arasındaki boşluk sayısı, toprak su ilişkileri bakımından önemlidir.

Toprakta Artan Azot Oranının Mikoriza Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliği azot döngüsünü ve toprak ısisını etkilemekte, bu da besin maddelerinin kullanılabilirliklerini değiştirmektedir (Simard ve Austin, 2010:175). Azot bileşikleri, nitrat kaynağına dönüşerek toprak pH'ında değişime yol açmaktadır (Bellgard ve Williams, 2011:8). Araştırmalar, azot birikiminin bitki verimliliğini artırırken bazı mantarların kolonizasyonu üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Azot birikiminin bu topluluklar üzerindeki etkisi ise türler arasında farklılık göstermiştir. Fakat toprakta besin içeriği arttığında, bitkiler besin alımında mikorizal

birliktelikten daha az faydalanmakta ve bunun sonucunda bitki-mikoriza sitemi ile toprağa daha az karbon iletimi gerçekleşmektedir (Bellgard ve Williams, 2011:8).

Artan azot oranı toprağın asitliği ile ilişkili olarak, ektomikoriza (ECM) mantarları üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Bellgard ve Williams, 2011:8). Çeşitli ECM mantar türlerinin asitliğe olan tepkileri de farklılık göstermektedir. ECM mantarlarının gelişimi için optimum pH aralığı 3.5-5.5 olmakla birlikte; bazıları yüksek pH'a adapte olurken, bir kısmı ise düşük pH'ı tercih etmektedir (Tjoelker ve ark., 2007:157). Toprağın asitlenmesi, ECM mantar türlerinin gelişimini etkileyebilmektedir (Bellgard ve Williams, 2011:8). Bu durum türün üretkenliğini etkileyerek, ECM popülasyonunda çeşitlilik kaybının oluşmasına sebep olmaktadır (Horton ve ark., 2013:329). Ektomikorizal ve arbusküler mikorizal mantarların pH istekleri farklılık göstermektedir. ECM mantarları, genellikle düşük pH'lı ve yüksek organik madde biriken topraklarda baskın olmakla birlikte daha yüksek pH'lı topraklarda, özellikle bitkisel tarımın yoğun olduğu yerlerde ise AM mantarları baskındır. AM mantarları, pH değişikliklerine karşı daha dayanıklıdır ve nötr ile yüksek pH değerlerinde daha yaygın bulunmaktadır (Bellgard ve Williams, 2011:8).

Topraktaki yüksek miktardaki ağır metaller, mikroorganizmalar ve ağaçların ortakçıları mikorizaları üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Smith ve Read, 2008). Mikorizal mantar türleri, ağır metallere karşı farklı tepkiler gösterebilmektedir (Tjoelker ve ark., 2007:157). Mikorizalar, topraktaki ağır metallerin bitkilere taşınmasını inhibe edebilirler. Mikorizaların ağır metallere tepkileri, metal detoksifikasyon mekanizmalarıyla açıklanabilir; mantar miselyumundaki ağır metallerin detoksifikasyonu için

karbona gereksinim duyulmaktadır (Bellion ve ark., 2006:173; French, 2017:1). Mikorizalar ayrıca metal zehirlenmesine yanıt olarak konakçı bitkilerin metabolizmalarını da değiştirebilmektedirler (Bellion ve ark.,2006:173;French,2017:1). Bu durum en çok ekstraradikal miselyum üreten mikorizalarda görülmekte olup, konakçı bitkiye en iyi korumayı sağladıkları görülmüştür (Smith ve Read, 2008; Bojarczuk ve Kieliszewska-Rokicka, 2010:227).

İklim Değişikliği- Bitki-Mikoriza İlişkisi

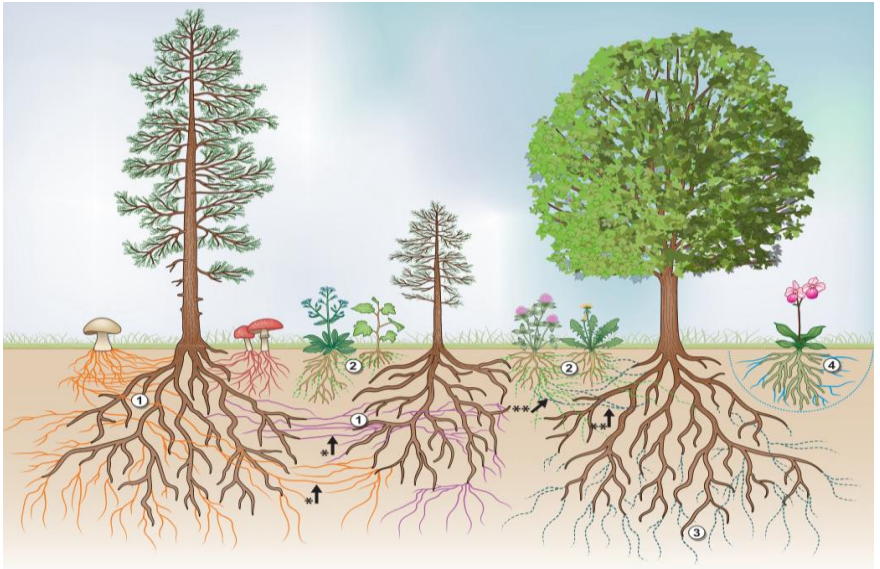
İklim değişikliği, ağaçların çevresel stres altında etkilerini durağanlaştırabilir. Mikorizal mantarlar, ormanda yenileme ve stres faktörlerine karşı dirençte hayati rol oynarlar. Bu mantarlar, bitkiler arasında besin alışverişini kolaylaştırarak rekabeti etkiler ve bitkilerin fizyolojik süreçlerini değiştirir. Genç fidanların büyük ağaçlarla bağlantısı, orman ekosisteminin yenilenmesi için hayati öneme sahiptir. Mikorizal ağlar, genç fidanların hayatta kalmasını ve büyümelerini desteklemekte, böylece stres şartlarına karşı dayanıklılıklarını sağlamaktadır. Mikoriza ağlarına erişim, fidanların hayatta kalmasına ve besin alımına yardımcı olmaktadır (Selosse ve ark., 2006:621).

MİKORİZA-KARBON VE BESİN ALIŞVERİŞİ

Mantar-bitki birlikteliği, ekosistemlerde çeşitli konakçı bitkileri kolonize eden mikorizal ağların dahil olduğu bir yapıdır. Bu mikorizal ağlar, bitkileri ağaç-genişlik-ağ biçiminde birbirine bağlamakta ve ormanlardaki ağaçlar önemli miktarda karbonu ayrıştırmaktadır (Simard ve ark.,1997:579). Küçük fidanlar da bu karbonu alabilmekte ve bitkiler arasında karbon alışverişi gerçekleşmektedir. Hifsel ağlar, aynı zamanda besin taşınmasını da sağlamaktadır (Fitter ve ark., 1998:406). Bitkiler arasındaki

aktarımın sinyallerle yapıldığı ve bu sinyallerin bitkilerin savunmasına yardımcı olduğu yapılan çalışmalarda açıklanmıştır (Song ve ark., 2010:13324; Barto ve ark., 2011:27195; Babikova ve ark., 2013:835).

Şekil 1. Bitki ve mantar türleri arasındaki ilişkinin çizimi (Marcel ve ark., 2014:1406) (1: mikorizal ağlar, 2: farklı bitki türleri, 3: karbon ve besin akışı (siyah oklar), 4: mikorizal çeşitlilik)



Bitkiler arasındaki besin alışverişinin hif ağları aracılığıyla gerçekleştiği belirlenmiştir (Simard ve ark., 2012:39). Mikorizal hiflerin, azotu fıkse eden ve etmeyen bitkiler arasında besin transferi sağladığı belirlenmiştir (Fitter ve ark., 1998:406; Selosse ve ark., 2006:621). Bu durum, bitkiler arası karbon ve besin alışverişinin önemini artırmakta, geniş ölçekte araştırmalara yol açmaktadır. Mikorizal hifler, çok yıllık bitkiler için fide oluşumu açısından büyük bir öneme sahiptir (Grime ve ark., 1987:420; van der Heijden ve Horton, 2009:69). Çok yıllık topraklarda çimlenen

fideler, bu hifler sayesinde hızlı bir şekilde kolonize olmaktadır (van der Heijden ve Horton, 2009:69).

Mikorizal hiflere en çok karbonu sağlayan bitkiler genelde en bol oranda besin elde edenlerdir; bu durum bitkiler arasındaki kaynak transferinin kontrol altında olduğunu göstermektedir (Kiers ve ark., 2011:880; Walder ve ark., 2012:789).

MİKORİZA VE BİYOÇEŞİTLİLİK

Mikorizal funguslar hem ekolojik işlevler hem de bitki topluluklarının farklılığı bakımından ekosistemlerin ana unsurlarıdır. Mikorizal mantarların, bitki kökleriyle beraber oluşturdukları simbiyotik ilişkiler, bitkilerin hayatta kalma oranlarını arttırmakta, aynı zamanda toprak topluluklarının dinamiklerini biçimlendirmektedir (Hart ve ark., 2001:1186).

Farklı çalışmalar, mikorizal mantarlarının bitki tür çeşitliliğini, topluluk yapısını ve ekosistemlerin uzun dönemli sürdürülebilirliklerini direkt etkilendiğini ortaya koymuştur. Mikorizalar sadece bitki beslenmesi bakımından değil de, aynı ekosistemdeki sürdürülebilirliklerinin sağlanması bakımından da önemli rol oynamaktadır (Hoeksema ve ark., 2010:394; Wagg ve ark., 2014:5266). Mikorizal mantarlar, konukçu bitkilerin fizyolojik süreçlerini iyileştirirken, bitkiler de mikorizal toplulukların çeşitliliğini belirleyici bir etkiye sahiptir (Johnson ve ark., 1992:2034). Bundan dolayı mikorizal mantarlar sadece evrimsel biyolojik süreçler bakımından değil, tarım ve ormancılık ekosistemlerinin sürdürülebilirliği bakımından da ekosistem işleyişinde önemli role sahiptirler (Hart ve ark., 2001:1186).

Kabir ve ark. (1997) tarafından yapılan çalışma sonucunda, ekili alanlarda bulunan mantar filamentlerinin %80'inin arbusküler

mikorizalara (AM) ait olduğu saptanmıştır. Bu geniş mantar ağlarının, toprak bakterileriyle ilişkiler oluşturarak mikrobiyal çeşitliliği arttırdığı da bildirilmiştir (Wilkinson ve ark., 1989:429). Bitki türlerinin önemli bir kısmının mikorizal beraberlik oluşturduğu belirlenmiş olup, bu durum mikorizaların biyoçeşitliliğin korunması ve ekosistem dengesi için hayati önemde olduğunu göstermektedir (Harley & Harley, 1987:1; Wang & Qiu, 2006:299; Akhmetzhanova ve ark., 2012:689).

Son zamanlarda yapılan çalışmalar, düşük kara bitkilerinin (rn. ciğeroları) de farklı mikorizal tiplerle simbiyotik beraberlikler kurabildiğini göstermiştir (Pressel ve ark., 2010:238). Bununla beraber, simbiyozu oluşturan mantarların sayısı mikorizal tipe göre değişiklik göstermekte olup daha fazla araştırmaya gereksinim vardır. Özellikle tropik bölgelerde mikorizal mantar topluluklarının çeşitliliği ve fonksiyonları konusunda kapsamlı çalışmaların yapılması, ekosistemlerin gelecekteki sürdürülebilirlikleri bakımından önemlidir. Sonuç olarak, mikorizal mantar çeşitliliği ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı için anahtar rol oynamaktadır. Fakat iklim değişikliğinin neden olduğu sıcaklık artışı, azot döngüsündeki bozulmalar ve habitat kayıpları, mikorizal çeşitliliği azaltarak ekosistem hizmetlerini tehdit etmektedir. Bu nedenle, gelecekteki araştırmaların, iklim değişikliğinin mikorizal çeşitlilik üzerindeki etkilerine odaklanması ekosistem yönetimi bakımından zorunlu olduğu söylenmektedir (Fernandez & Kennedy, 2018:468).

SONUÇ

Bu bölümde, iklim değişikliğinin mikorizal mantarlar ve bitkiler üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Mikorizal hiflerin, karbon ve besinlerin bitkiler arasındaki alışverişi etkin bir mekanizma

olduğu ve genç fidanların hayatta kalma şanslarını arttırarak ekosistem yenilenmesine katkı sağladıkları belirlenmiştir. Ayrıca, biyoçeşitlilik olarak ele alındıklarında mikorizalar, toprağın yapı ve mikrobiyal çeşitliliğini güçlendirerek ekosistemin devamlılığında önemli rol oynamaktadır. Sonuç olarak, iklim değışikliğinin mikorizal mantarlar üzerindeki etkilerinin daha detaylı bir şekilde araştırılması sürdürülebilir tarım, ormancılık ve ekosistem yönetimi açısından oldukça önemlidir.

Kaynakça

Akhmetzhanova, A. A., Soudzilovskaia, N. A., Onipchenko, V. G., Cornwell, W. K., Agafonov, V. A., Selivanov, I. A., & Cornelissen, J. H. C. (2012). A rediscovered treasure: Mycorrhizal intensity database for 3000 vascular plant species across the former Soviet Union. *Ecology*, 93(3), 689–690.

Apple, M. E. (2010). Aspects of mycorrhizae in desert plants. In K. G. Ramawat (Ed.), *Desert plants* (pp. 121–134). Berlin: Springer.

Auge, R. M. (2001). Water relations, drought, and vesicular–arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11(1), 3–42. <https://doi.org/10.1007/s005720100097>

Azcón-Aguilar, C., & Gavito, M. (2012). Temperature stress in arbuscular mycorrhizal fungi: A test for adaptation to soil temperature in three isolates of *Funneliformis mosseae* from different climates. *Agricultural and Food Science*, 21, 2–11.

Babikova, Z., Gilbert, L., Bruce, T. J. A., Birkett, M., Caulfield, J. C., Woodcock, C., Pickett, J. A., & Johnson, D. (2013). Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. *Ecology Letters*, 16, 835–843.

Barto, E. K., Hilker, M., Mueller, F., Mohny, B. K., Weidenhamer, J. D., & Rillig, M. C. (2011). The fungal fast lane: Common mycorrhizal networks extend bioactive zones of allelochemicals in soils. *PLoS ONE*, 6(11), e27195.

Bellgrad, S. E., & Williams, S. E. (2011). Response of mycorrhizal diversity to current climatic changes. *Diversity*, 3, 8–90.

Bellion, M., Courbot, M., Jacob, C., Blaudez, D., & Chalot, M. (2006). Extracellular and cellular mechanisms sustaining metal tolerance in ectomycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 254, 173–181.

Borie, F., Rubio, R., & Morales, A. (2008). Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 8(2), 9–18.

Bojarczuk, K., & Kieliszewska-Rokicka, B. (2010). Effect of ectomycorrhiza on Cu and Pb accumulation in leaves and roots of silver birch (*Betula pendula* Roth.) seedlings grown in metal-contaminated soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 207, 227–240.

Clemmensen, K. E., Finlay, R. D., Dahlberg, A., Stenlid, J., Wardle, D. A., & Lindahl, B. D. (2015). Carbon sequestration is related to mycorrhizal fungal community shifts during long-term succession in boreal forests. *New Phytologist*, 205, 1525–1536.

Deveautour, C., Chieppa, J., Nielsen, U. N., Boer, M. M., Mitchell, C., Horn, S., Power, S. A., Guillen, A., Bennett, A. E., & Powell, J. R. (2019). Biogeography of arbuscular mycorrhizal fungal spore traits along an aridity gradient, and responses to experimental rainfall manipulation. *Fungal Ecology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.100899>

Dodd, J. C., & Jeffries, P. (1989). Effects of herbicides on three vesicular–arbuscular fungi associated with winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 7, 113–119.

Fernandez, C. W., Nguyen, N. H., Stefanski, A., Han, Y., Hobbie, S. E., Montgomery, R. A., Reich, P. B., & Kennedy, P. G. (2017). Ectomycorrhizal fungal response to warming is linked to poor host performance at the boreal–temperate ecotone. *Global Change Biology*, 23, 1598–1609.

Fernandez, C. W., & Kennedy, P. G. (2018). Melanization of mycorrhizal fungal necromass structures and microbial decomposer communities. *Journal of Ecology*, 106, 468–479.

Fitter, A. H., Graves, J. D., Watkins, N. K., Robinson, D., & Scrimgeour, C. (1998). Carbon transfer between plants and its control in networks of arbuscular mycorrhizas. *Functional Ecology*, 12, 406–412.

Foster, R. C. (1994). Microorganisms and soil aggregates. In C. E. Pankhurst, B. M. Doube, V. V. S. R. Gupta, & P. R. Grace (Eds.), *Soil biota: Management in sustainable farming systems* (pp. 144–155). Victoria, Australia: CSIRO.

French, K. E. (2017). Engineering mycorrhizal symbioses to alter plant metabolism and improve crop health. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1403.

Gaston, K. J. (2000). Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405, 220–227.

Grime, J. P., Mackey, J. M. L., Hillier, S. H., & Read, D. J. (1987). Floristic diversity in a model system using experimental microcosms. *Nature*, 328, 420–422.

Harley, J. L., & Harley, E. L. (1987). A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytologist*, 105, 1–102.

Hart, M. M., Reader, R. J., & Klironomos, J. N. (2001). Life-history of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to their successional dynamics. *Mycologia*, 93, 1186–1194.

Horton, M. B., Glen, M., Davidson, N. J., Ratkowsky, D., Close, D. C., Wardlaw, T. J., & Mohammed, C. (2013). Temperate eucalypt forest decline is linked to altered ectomycorrhizal communities mediated by soil chemistry. *Forest Ecology and Management*, 302, 329–337.

Hobbie, E. A., & Agerer, R. (2010). Nitrogen isotopes in ectomycorrhizal sporocarps correspond to belowground exploration types. *Plant and Soil*, 327, 71–83.

Hoeksema, J. D., Chaudhary, V. B., Gehring, C. A., Johnson, N. C., Karst, J., Koide, R. T., & Umbanhowar, J. (2010). A meta-analysis of context dependency in plant response to mycorrhizal fungi. *Ecology Letters*, 13(3), 394–407. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01430.x>

Jiang, J., Moore, J. A. M., Priyadarshi, A., & Classen, A. T. (2017). Plant–mycorrhizal interactions mediate plant community coexistence by altering resource demand. *Ecology*, 98, 187–197.

Johnson, N. C., Tilman, D., & Wedin, D. (1992). Plant and soil controls on mycorrhizal fungal communities. *Ecology*, 73, 2034–2042.

Kabir, Z., O'Halloran, I. P., & Hamel, C. (1997). Overwinter survival of arbuscular mycorrhizal hyphae is favored by attachment to roots but diminished by disturbance. *Mycorrhiza*, 7, 197–200.

Kaschuk, G., Kuyper, T. W., Leffelaar, P. A., Hungria, M., & Giller, K. E. (2009). Are the rates of photosynthesis stimulated by the carbon sink strength of rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses? *Soil Biology & Biochemistry*, 41, 1233–1244. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.03.005>

Kiers, E. T., Duhamel, M., Beesetty, Y., Mensah, J. A., Franken, O., Verbruggen, E., Fellbaum, C. R., Kowalchuk, G. A., Hart, M. M., & Bago, A. (2011). Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. *Science*, 333, 880–882.

Lambers, H., Chapin, F. S., & Pons, T. L. (2008). *Plant physiological ecology*. New York, NY: Springer.

Lilleskova, E. A., Hobbie, E. A., & Horton, T. R. (2011). Conservation of ectomycorrhizal fungi: Exploring the linkages between functional and taxonomic responses to anthropogenic nitrogen deposition. *Fungal Ecology*, 4, 174–183.

Millar, N. and Bennett, A.E., (2016). Stressed out symbionts: Hypotheses for the influence of abiotic stress on arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia*, 182(3), 625–641. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3673-7>

Pavithra, D., & Yapa, N. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation enhances drought stress tolerance of plants. - Groundwater for Sustainable Development 7: 490–494.

Pozo, M. J., & Azcón-Aguilar, C. (2007). Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 10, 393–398.

Pressel, S., Bidartondo, M. I., Ligrone, R., & Duckett, J. G. (2010). Fungal symbioses in bryophytes: New insights in the twenty-first century. *Phytotaxa*, 9, 238–253.

Rillig, M. C. (2004). Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, 84, 355–363.

Rillig, M. C., & Mummey, D. L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171(1), 41–53.

Rosling, A., Midgley, M. G., Cheeke, T., Urbina, H., Fransson, P., & Phillips, R. P. (2016). Phosphorus cycling in deciduous forest soil differs between stands dominated by ecto- and arbuscular mycorrhizal trees. *New Phytologist*, 209, 1184–1195.

Selosse, M.-A., Richard, F., He, X., & Simard, S. W. (2006). Mycorrhizal networks: Des liaisons dangereuses? *Trends in Ecology & Evolution*, 21, 621–628.

Simard, S. W., Perry, D. A., Jones, M. D., Myrold, D. D., Durall, D. M., & Molina, R. (1997). Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature*, 388, 579–582.

Simard, S. W., Beiler, K. J., Bingham, M. A., Deslippe, J. R., Philip, L. J., & Teste, F. P. (2012). Mycorrhizal networks: Mechanisms, ecology and modelling. *Fungal Biology Reviews*, 26, 39–60.

Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. London: Academic Press.

Smith, S. E., & Read, D. J. (2010). *Mycorrhizal symbiosis*. London: Academic Press.

Staddon, P. L. (2002). Mycorrhizal fungi and global environmental change: Research gaps and priorities. *Mycological Research*, 106(9), 1013–1022.

Song, Y. Y., Zeng, R. S., Xu, J. F., Li, J., Shen, X., & Yihdego, W. G. (2010). Interplant communication of tomato plants through underground common mycorrhizal networks. *PLoS ONE*, 5, e13324.

Tjoelker, M., Boratynski, A., Bugala, W., Rudawska, M. (2007). Mycorrhiza. In *Biology and ecology of Norway spruce* (pp. 157–194), Forestry Science.

van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M.-A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. *New Phytologist*, 205, 1406–1423. <https://doi.org/10.1111/nph.13288>

van der Heijden, M. G. A., & Horton, T. R. (2009). Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of Ecology*, 97, 1139–1150.

van der Heijden, M. G. A., Klironomos, J. N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., & Sanders, I. R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396, 69–72.

Walder, F., Niemann, H., Natarajan, M., Lehmann, M. F., Boller, T., & Wiemken, A. (2012). Mycorrhizal networks: Common goods of plants shared under unequal terms of trade. *Plant Physiology*, 159, 789–797.

Wang, B., & Qiu, Y. L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16, 299–363.

Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F., & van der Heijden, M. G. A. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(14), 5266–5270. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>

Wilkinson, K. G., Dixon, K. W., & Sivasithamparam, K. (1989). Interaction of soil bacteria, mycorrhiza fungi, and orchid seed in relation to germination of Australian orchids. *New Phytologist*, 112, 429–435.

Wright, S. F., Franke-Snyder, M., Morton, J. B., & Upadhyaya, A. (1996). Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plant and Soil*, 181, 193–203.

Wright, S. F., & Upadhyaya, A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 198, 97–107.

**THUIDIUM ASSIMILE VE PHILONOTIS FONTANA
(BRYOPHYTA) TÜRLERİNİN BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİ
VE ANTİOKSİDAN KAPASİTELERİ**

BÖLÜM 6

MEVLÜT ALATAŞ¹

YELİZ ÇAKIR SAHİLLİ²

Giriş

Briyofitler, yapraklı karayosunları (Bryophyta), ciğerotları (Marchantiophyta) ve boynuzlu ciğerotlarını (Anthocerotophyta) kapsayan ve bitki biyoçeşitliliğinin ikinci büyük grubunu oluşturan en eski kara bitkileridir (Erdağ & Kürschner, 2017: 81; Cole ve ark., 2019: 1; de Sousa ve ark., 2019: 565). Karakteristik özellikleri, haploid gametofitin baskınlığı ile nesillerin dönüşümlü olmasıdır. Dünyada yaklaşık 14.000 karayosunu türü, 6000 ciğerotu türü ve 300 boynuzotu (boynuzlu ciğerotları) türü bulunmaktadır (Asakawa ve ark., 2013: 1). Bu grubun temsilcileri, önemli roller oynadıkları tüm ekosistemlerde (tuzlu su ekosistemleri hariç) yaygındır (Tuba ve ark., 2011: 1). Briyofitler; tropikal ormanlar (Costa ve ark., 2020: 2663), Antarktika (Cannone ve ark., 2013: 259; Bramley-Alves ve ark., 2014: 309), çöller (Smith ve Stark, 2014: 76; Scott, 1982: 105) ve bitkiler için erişilmesi zor diğer alanlarda bulunabilirler. Işık eksikliğine toleransları nedeniyle, mağaralar gibi ışığa erişimi sınırlı olan yerlerde gelişebilirler (Mežaka ve ark., 2011: 59; Ren ve ark., 2021: 1).

¹ Prof. Dr., Munzur Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Orcid No: 0000-0003-0862-0258

² Doç. Dr., Munzur Üniversitesi, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Orcid No: 0000-0003-1905-5506

Briyofitler gelişmiş fiziksel bariyerlerden yoksun olmalarına rağmen nadiren otçullar ve patojenler tarafından saldırıya uğrarlar (Von Reuß & König, 2005: 1184). Bunun nedeni, elverişsiz abiyotik koşullarda hayatta kalmalarını sağlayan ve onları potansiyel biyotik streslere karşı koruyan çok çeşitli ikincil metabolitler üretme yetenekleridir. Üretilen farklı ve zengin içerikler nedeniyle briyofitler, yüzyıllar boyunca farklı kıtalardaki birçok kültürde sağlık sorunlarıyla mücadele etmek için kullanılmışlardır. Hint ve Çin tıbbına göre, ateşle savaşmaktan cilt enfeksiyonlarını tedavi etme ve ağrıyı hafifletmeye kadar uygulama yelpazesi çok geniştir (Krishnan ve ark., 2014: 1548; Chandra ve ark., 2016: 94). Amerikan yerlileri, yosun külü ve bal karışımını yaralar için dezenfektan olarak kullanmışlardır (Chandra ve ark., 2016: 94). Birinci Dünya Savaşı sırasında Kanada'da bandaj yerine kurutulmuş *Sphagnum* cinsine ait karayosunu türleri kullanılmıştır. Etkinliği, yüksek emiciliği ve bakterisidal özellikleriyle ilişkilidir (Glime, 2017: 1).

Kapsamlı incelemelerden sonra, daha önce tedavi edici olduğu düşünülen bazı türlerin etkisiz olduğu ve hatta bazı durumlarda toksik olduğu bulunmuştur, ancak çok sayıda türün aseptik ve anti-kanser özellikleri doğrulanmıştır. Önemli sayıda briyofit ikincil metabolitinin, potansiyel farmakolojik, ekonomik veya biyoteknolojik kullanımları vardır. Briyofitlerden elde edilebilen biyolojik aktif bileşikler arasında; antioksidanlar, belirli organizma grupları için toksik bileşikler (potansiyel bitki koruma maddeleri), belirli enzimlerin inhibitörleri, anti-kanser ve anti-HIV-1 bileşikleri, nörotrofik bileşikler, kasları gevşeten ve kalbi güçlendiren bileşikler bulunur. Bazı karayosunlarının (*Fissidens japonicus* Dozy & Molk. ve *Rhodobryum giganteum* (Schwägr.) Paris) tadı, tatlıyken diğerleri kapsaisin gibi yanma hissi verir. Ayrıca, B₂ ve E vitaminlerinin varlığı, briyofitlerin nutrasötik bir madde olarak olası kullanımını vurgulamaktadır (Asakawa & Ludwiczuk, 2018: 641).

Bu önemli veriler kapsamında yapılan bu çalışmada, Artvin ili, Karçal Dağlar'ından toplanan *Thuidium assimile* (Mitt.) A.Jaeger. ve *Philonotis fontana* (Hedw.) Brid. karayosunu türlerinin biyoaktif bileşikleri ve antioksidan potansiyelleri araştırılmıştır.

Materyaller ve Yöntemler

Araştırmanın materyalleri, *Philonotis fontana* ve *Thuidium assimile* Artvin ili Karçal Dağları'ndan toplanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Lokalitelere ait bilgiler

Lokalite No	Yükseklik (m)	Tarih	GPS Kaydı	Lokalite
<i>T. assimile</i>	846	27.05.2022	(37T) 0735981D, 4569823K	Bakırköy
<i>P. fontana</i>	1750	29.05.2022	(37T) 0745812D, 4579477K	Balcı Köyü Girişi

Toplanan örnekler, teşhis edildikten sonra iyice yıkanıp, kurutularak ince toz haline getirildi. Her bir örnek (1 g) havan ve havaneli kullanılarak %95 metanol ile homojenize edildi ve 48 saat boyunca orbital çalkalayıcıda tutuldu. Daha sonra, her bir ekstrakt 10.000 rpm'de 20 dakika santrifüj edildi. Her bir örneğin süpernatantı toplandı ve daha sonra kullanılmak üzere 4 °C'de saklandı.

Toplam fenolik içerik

Toplam fenolik içerik (TPC) Vats (2016: 504) tarafından tarif edildiği şekilde değerlendirildi. Metanolik ekstrakt (0.125 ml) aynı miktarda Folin-Ciocalteu reaktifi ile karıştırıldı. Daha sonra sodyum karbonat (%7) eklendi ve reaksiyon karışımı distile su ile seyreltilti. Test tüpleri daha sonra 90 dakika inkübe edildi ve absorban 760 nm'de kaydedildi. Sonuç, mg Gallik asit eşdeğeri GAE/g numunenin kuru ağırlığı olarak ifade edildi.

Toplam flavonoit içeriği

Toplam flavonoit içeriği (TFC) alüminyum klorür yöntemine göre belirlendi (Vats, 2016: 504). Bitki ekstraktına sırayla etanol (%95), alüminyum klorür (%10), potasyum asetat (1 M) ve damıtıldı su eklendi. Reaksiyon karışımı oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edilip, 415 nm'de absorbansı alındı. Sonuç, Quercetin eşdeğerleri olarak mg QE/g numunenin kuru ağırlığı cinsinden ifade edildi.

Askorbik asit içeriği

Kurutulmuş ve ince toz haline getirilen örnekler 10 ml ekstraksiyon çözeltisinde (1,39 N asetik asit içinde %3 metafosforik asit) 5 dakika boyunca maserasyona tabi tutuldu. Daha sonra, çözelti santrifüjlenmiş ve her bir tüpteki süpernatantlar, belirgin bir pembe renk 5 dakikadan daha uzun süre devam edene kadar indofenol çözeltisine karşı ayrı ayrı titre edildi ve kör ile karşılaştırıldı. Askorbik asit içeriği A.O.A.C. yönteminde tarif edildiği şekilde hesaplandı (1990: 1).

Karotenoit içeriği

Metanolik bitki ekstraktı bir ayırma hunisinde petrol ile karıştırıldı. Eter tabakası toplanıp, vakumda buharlaştırıldı. Kalıntı etanolde çözölüp, %60 sulu KOH ile karıştırılarak bir gece bekletildi. Ayrıca, eşit miktarda su ilave edilip petrol eteri ile iki kez bölündü. Faz toplanıp, buharlaştırıldı. Kalıntı 450 nm'de spektrofotometrik tahmin için etanol içinde çözölündü. Karotenoit içeriği de Carvalho ve diğeri (2012: 337) tarafından önerildiği şekilde hesaplandı.

Ferrik indirgeyici/antioksidan güç deneyi

Ferrik indirgeyici/antioksidan güç (FRAP) testi Vats ve Gupta'nın yöntemine göre gerçekleştirildi (2017: 239). Frap reaktifi 20 ml asetat tamponu (300 mM; pH3.6), 2.5 ml TPTZ (40 mM HCl içinde 10 mM 2, 4, 6-tripiridilstriazin) ve 2.5 ml FeCl₃.6H₂O karıştırılarak hazırlandı. Ayrıca, 50 µl ekstrakt 1,5 ml FRAP reaktifi ile karıştırıldı. Absorbans 5 dakika sonra 593 nm'de kaydedildi. Kalibrasyon için bilinen Fe (II) konsantrasyonunun sulu çözeltisi kullanıldı.

Nitrik oksit süpürme deneyi

Nitrik oksit temizleme deneyi (NOSA) Badami ve arkadaşları (2003: 1534) tarafından önerildiği şekilde belirlendi. Sodyum nitroprussid (10 mM) 0,5 ml fosfat tampon salin (1 M; pH 7,4) içinde 0,5 ml ekstrakt ile karıştırıldı. Karışım 25° C'de 150 dakika boyunca inkübe edildi. Reaksiyon karışımına (0,5 ml) sülfanilik asit reaktifi (1 ml) ve ardından %0,1 naftiletilendiamindihidroklörür (1 ml) eklenip ve oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edildi. Absorbans 540 nm'de ölçüldü. Nitrik oksit radikal süpürme aktivitesi hesaplandı ve IC₅₀ (µg/ml) olarak ifade edildi.

Deoksiriboz bozunma aktivitesi

Deoksiriboz parçalanma aktivitesi (DDA) Halliwell ve arkadaşları (1987: 215) tarafından önerilen yöntemle belirlendi. 100 µL 2-deoksi-2-riboz (28 mM), 200 µl EDTA (1,04 mM) ve FeCl₃ (200 µM) çözeltisi (1:1 v/v) ve 100 µl H₂O₂ (1 mM) ve 100 µl askorbik asit (1 mM), test numunesinin çeşitli konsantrasyonlarının potasyum fosfat tamponundaki (50 mM; pH = 7,4) 500 µL çözeltisi ile karıştırıldı. Reaksiyon karışımı 1 saat boyunca 37 °C'de tutuldu.

Ayrıca, 1 ml TBA (%1) ve 1 ml TCA (%2,8) test tüplerine eklenip ve 20 dakika boyunca 100 °C'de inkübe edildi. Son olarak, absorbans deoksiriboz ve tampon içeren bir köre karşı 532 nm'de ölçüldü. Sonuçlar IC50 (µg/ml) olarak ifade edildi.

Sonuçlar ve tartışma

TPC ve TFC

Fenolik bileşiklerin antioksidan potansiyeli nörodejeneratif, peptik ülser, diyabet, inflamasyon, kanser, kardiyak bozukluklar ve yaşlanma gibi çok çeşitli hastalıklara karşı iyi bir şekilde araştırılmıştır. Fenoliklerin insan sağlığı üzerindeki çeşitli etkileri temel olarak serbest radikalleri temizleme, redoks aktif metal iyonlarını şelatlama, gen ekspresyonunu düzenleme ve sinyal iletim yollarını modüle etme yeteneklerine bağlanmaktadır (Soobrattee et al., 2005: 200). Mevcut araştırmada *P. fontana* ve *T. assimile* neredeyse benzer TPC içeriğine sahiptir (~12 mg GAE/g kuru ağırlık) (Tablo 2). *P. fontana* ve *T. assimile* 'de TFC sırasıyla 0.84 ve 0.52 mg QE/g KA olarak bulunmuştur (Tablo 2). Chobot ve arkadaşları (2006: 598) *D. scoparium*'da oldukça düşük bir TPC seviyesi (%3,8) bildirmiştir. Ayrıca, test edilen diğer karayosunları, mevcut çalışmadaki bitkilere kıyasla daha az TPC içeriğine sahiptir. *Bryum capillare* Hedw. bitkisinde TPC 23.26 mg/g olarak bulunmuştur (Onbasli & Yuvali, 2021: 478). Bazı raporlar, karayosunlarında mevcut çalışmaya kıyasla daha yüksek (Wang ve ark., 2017: 1), bazılarında ise daha düşük TFC (Karim ve ark., 2014: 292) bildirilmiştir.

Askorbik asit ve karotenoit içerikleri

Askorbik asit içeriği *P. fontana* 'da 20 µg/g, *T. assimile* 'de 18 µg/g olarak gözlendi (Tablo 2). Onbasli ve Yuvali (2021: 478) *B. capillare*'de 1.87 µg/ml askorbik asit bildirmiştir. *B. moravicum*

Podp. karayosununda askorbik asit içeriği mg ekstrakt başına 84,56 µg olarak değerlendirilmiştir (Pejin ve ark., 2013: 900). Askorbik asit temel bir vitamindir ve bu nedenle dışarıdan takviyesi kaçınılmaz hale gelir. Aynı zamanda birçok enzim için kofaktör görevi görür ve kolajen sentezinde, karaciğerdeki detoksifikasyon sürecinde önemli bir rol oynar ve bağışıklık sistemini tetikler. Serbest radikalleri nötralize etmede etkilidir ve E vitaminini yeniden üretir, böylece singlet oksijen ve peroksil radikalini temizler (Percival, 1998: 54). Dahası, askorbik asit diferansiyel gen ifadesini etkileyerek DNA ve proteinlerin oksidasyon aracılı hasarını önlemeye yardımcı olur (Granger ve Eck., 2018: 281). COVID-19'un yönetiminde C vitamininin olası kullanımı da bildirilmiştir (Quiles ve ark., 2020: 1).

Karotenoit içeriği *P. fontana* 'da 6 µg/g KA, *T. assimile* 'de 4 µg/g KA olarak tespit edilmiştir (Tablo 2). *Fontinalis antipyretica* Hedw. bitkisinde karotenoit içeriği 2,2 mg/g olarak bulunmuştur (De Carvalho ve ark., 2019: 53). Karotenoitlerin A vitamininden daha iyi antioksidanlar olduğu bildirilmiştir. Kardiyovasküler ve nörolojik bozukluklar, kanser ve gözle ilgili bozukluklar gibi hastalıkların önlenmesinde oldukça etkilidirler (Rao & Rao, 2007: 207). Tekli oksijenin en etkili temizleyicilerinden biri olan karotenoitler, DNA, protein ve lipitleri reaktif oksijen türlerinin olumsuz etkilerinden korur (Edge et al., 1997: 189; Vats & Gupta, 2017: 239).

Tablo 2. Test edilen briyofitlerdeki çeşitli fitometabolitlerin miktarları.

Briyofitler	TCP ^a	TFC ^a	Askorbik asit ^b	Karotenoit ^b
<i>P. fontana</i>	11.42± 0.28	0.84±0.05	20±0.50	6.02±0.08
<i>T. assimile</i>	11.21± 0.28	0.52±0.05	18±0.25	4.36±0.06

a TPC ve TFC değerleri (mg/g ± SD cinsinden ortalama değer) olarak verilmiştir.

b Askorbik asit ve karotenoit içeriği değerleri (ortalama değer µg/g ± SD) olarak verilmiştir.

Antioksidan testleri

FRAP değeri *P. fontana* ve *T. assimile* 'da sırasıyla 956 ve 964 μM olarak gözlenmiş, böylece güçlü bir antioksidan aktivite sergilenmiştir (Tablo 3). Manoj ve Murugan (2012: 173) *Psychotria beddomei* ekstraktının FRAP değerini $496,8 \pm 0,26 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g}$ kuru ağırlık olarak bildirmiştir. Beş karayosununun FRAP değeri (*Sphagnum cuspidatum* subsp. *subrecurvum* (Warnst.) A. Eddy, *Sphagnum cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm., *Sphagnum junghuhnianum* Dozy & Molk, *Pogonatum cirratum* subsp. *fuscatum* (Mitt.) Hyvönen ve *Pogonatum cirratum* subsp. *macrophyllum* (Dozy & Molk.) Hyvönen) 5.63-13.74 mM aralığında bulunmuştur (Karim ve ark., 2014: 292). FRAP değerleri, ekstrakttaki biyoaktiflerin ferrik iyonları etkili bir şekilde azalttığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, bu bileşikler serbest radikallerin kararlı ürünlere dönüştürülmesine yardımcı olacak ve aynı zamanda serbest radikaller tarafından başlatılan zincirleme reaksiyonları engelleyecek potansiyel antioksidanlar olarak hizmet edebilir (Mitra, 2020: 243).

Tablo 3. Test edilen briyofitlerin antioksidan potansiyeli.

Briyofitler	NOSA ($\mu\text{g/ml}$)	DDA ($\mu\text{g/ml}$)	FRAP (μM)
<i>P. fontana</i>	758 $\pm$ 6.21	815 $\pm$ 2.00	956 $\pm$ 11.26
<i>T. assimile</i>	745 $\pm$ 6.32	747 $\pm$ 3.00	964 $\pm$ 13.48

Değerler ortalama $\pm$ SD olarak belirtilmiştir.

NOSA değeri *P. fontana* 'da IC₅₀: 758 $\mu\text{g/ml}$, *T. assimile* 'da IC₅₀: 745 $\mu\text{g/ml}$ gözlendi (Tablo 3). NOSA'da nitrit iyonları nitrik oksitin oksijen ile reaksiyonu sonucu oluşur (Badami ve ark., 2003: 1534). NO önemli bir sinyal molekülüdür, ancak aşırı üretimi inflamasyon ve kanser gibi hastalıkların oluşumunda rol oynar (Ricciardolo ve ark., 2004: 731). Ayrıca, NO'nun süperoksit anyonu

ile reaksiyonu peroksinitrit üretir ve bu da doku sistemleri üzerinde kötü etkiye sahiptir (Halliwell, 1997: 44).

DDA antioksidan potansiyeli *P.fontana* ve *T. assimile*'de IC50: sırasıyla 747, 815 µg/ml olarak gözlendi (Tablo 3). Hidroksil radikalleri belirli proteinlerdeki disülfid bağlarını azaltarak genel yapılarını olumsuz yönde etkiler. Bu durum kanser, nörolojik hastalıklar gibi çeşitli hastalıkların patojenitesini etkiler (Lipinski, 2011: 1). Askorbik asidin hidroksil radikallerini inhibe ettiği bildirilmiştir (Noda ve ark., 1997: 35).

Mevcut araştırmada kullanılan metanolik ekstraktın flavonoidler, askorbat, pigmentler ve fenolik asitler gibi içerdiği bilinmektedir (Vats, 2016: 504). Bu düşük molekül ağırlıklı antioksidanlar serbest radikallerin potansiyel temizleyicileridir, reaktif oksijen türlerinin (ROS) olumsuz etkisini nötralize eder ve dolaylı olarak metalleri şelatlayarak oksidatif stresi önler. Ayrıca, enzimatik antioksidanların aksine, küçük boyutlu olan düşük molekül ağırlıklı antioksidanlar, hedeflerinin yakınında olmak için hücre zarından geçebilir. Flavonoidlerin antioksidan potansiyeli temel olarak serbest radikalleri stabilize etmeye yardımcı olan aromatik hidroksil grubu ve C-H bağından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, flavonoidler geçiş metal iyonlarını şelatlayabilir ve lipoksigenaz reaksiyonunun ilerlemesini engelleyebilir (Ross & Kasum, 2002: 19). Karotenoidler bir dizi konjuge çift bağa sahip bir polien omurgasına sahiptir. Bu karakteristik özellik, tekli moleküler oksijen ve peroksil radikallerini temizlemede yardımcı olan antioksidan potansiyeli kazandırır (Young & Lowe, 2018: 28). Askorbik asit, lipid radikaline bir elektron bağışlayarak hidrojen peroksit kaynaklı lipid peroksidasyonunu önler. Ayrıca, hücre membranlarında E vitamininin yenilenmesine yardımcı olur ve oksidan kaynaklı sitotoksiteyi önler (Yen ve ark., 2002: 307).

Sonuç olarak, bu çalışmadaki *P.fontana* ve *T. assimile* ekstraktları antioksidan madde olarak önemli bir potansiyel göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, özellikle ilaç, kozmetik ve gıda endüstrilerinde kullanılabilecek biyoaktif bileşiklerin daha fazla araştırılması gerektiğini göstermiştir.

Kaynaklar

A.O.A.C. (1990) *Official Methods of Analysis*. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.

Asakawa, Y., Ludwiczuk, A., & Nagashima, F. (2013). *Chemical constituents of bryophytes: bio- and chemical diversity, biological activity, and chemosystematics*. Vienna, Austria: Springer-Verlag.

Asakawa, Y., & Ludwiczuk, A. (2018). Chemical constituents of bryophytes: structures and biological activity. *Journal of Natural Products*, 81(3), 641-660.

Badami, S., Moorkoth, S., Rai, S.R., Kannan, E., & Bhojraj, S. (2003). Antioxidant activity of *Caesalpinia sappan* heartwood. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 26(11), 1534-1537.

Bramley-Alves, J., King, D.H., Robinson, S.A., & Miller, R.E. (2014). Dominating the Antarctic environment: bryophytes in a time of change. *Advances in Photosynthesis and Respiration*, 37, 309-324.

Cannone, N., Convey, P., & Guglielmin, M. (2013). Diversity trends of bryophytes in continental Antarctica. *Polar Biology*, 36, 259-71.

Chandra, S., Chandra, D., Barh, A., Pandey, R.K., & Sharma, I.P. (2016). Bryophytes: Hoard of remedies, an ethno-medicinal review. *Journal of traditional and complementary medicine*, 7(1), 94-8.

Cole, T.C.H., Hilger, H.H., & Goffinet, B. (2019). Bryophyte Phylogeny Poster (BPP) *PeerJ Preprints*, 7, e27571v1.

Costa, D.P., Nadal, F., & da Rocha, T.C. (2020). The first botanical explorations of bryophyte diversity in the Brazilian Amazon mountains: high species diversity, low endemism, and low similarity. *Biodiversity and Conservation*, 29(8), 2663-2688.

Chobot, V., Kubicová, L., Nabbout, S., Jahodár, L., & Vytlačilová, J. 2006. Antioxidant and free radical scavenging activities of five moss species. *Fitoterapia*., 77(7-8), 598-600.

de Carvalho, L.M., Gomes, P.B., de Oliveira Godoy, R.L., Pacheco, S., do Monte P.H., de Carvalho J.L., Nutti, M.R., Neves, A.C., Vieira, A.C., & Ramos, S.R. (2012). Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): a preliminary study. *Food Research International*, 47(2), 337-340.

De Carvalho, R.C., Branquinho, C., & Da Silva, J.M. (2019). Desiccation rate affects chlorophyll and carotenoid content and the recovery of the aquatic moss *Fontinalis antipyretica* (Fontinalaceae). *Hattoria*, 10, 53-60.

de Sousa, F., Foster, P.G., Donoghue, P.C., Schneider, H., & Cox, C.J. (2019). Nuclear protein phylogenies support the monophyly of the three bryophyte groups (Bryophyta Schimp.). *New Phytologist*, 222(1), 565-575.

Edge, R., McGarvey, D.J., & Truscott, T.G. (1997). The carotenoids as anti-oxidants-a review. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 41(3), 189-200.

Erdağ, A., Kürschner, H. (2017). A reference list of Turkish bryophytes. The state of knowledge from 1829 until 2017. *Anatolian Bryology*, 3(2), 81-102.

Glime, J. M. (2017). *Bryophyte Ecology*. Michigan Technological University, Michigan, USA.

Granger, M., & Eck, P. (2018). Dietary vitamin C in human health. *Advances in Food and Nutrition Research*, 83, 281-310.

Goffinet, B., & Shaw, A.J. (2009). *Bryophyte Biology*. Second Edition, Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge, UK.

Halliwell, B. (1997). Antioxidants and human disease: a general introduction. *Nutrition Reviews*, 55, 44-49.

Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., & Aruoma, O.I. (1987). The deoxyribose methods: a simple “test-tube” assay for determination of rate constants for reactions of hydroxyl radicals. *Analytical Biochemistry*, 165(1), 215-215.

Karim, F.A., Suleiman, M., Rahmat, A.S., & Bakar, M.A. (2014). Phytochemicals, antioxidant and antiproliferative properties of five moss species from Sabah, Malaysia. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6, 292-297.

Krishnan, V.G.M., Pradeep, D.P., Aswathy, J.M., Krishnan, R., Lubaina, A.S., & Murugan, K. (2014). Wonder Herbs- Bryophytes, of the Ponmudi Hills, of Southern Western Ghats: Window into the Need for Conservation. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3, 1548-1562.

Lipinski, B. (2011). Hydroxyl radical and its scavengers in health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2011, 809696.

Manoj, G.S., & Murugan, K. 2012. Phenolic profiles, antimicrobial and antioxidant potentiality of methanolic extract of a liverwort, *Plagiochila beddomei* Steph. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 3(2), 173-183.

Mežaka, A., Suško, U., & Opmanis, A. (2011). Distribution of *Schistostega pennata* in Latvia. *Folia Cryptogamica Estonica*, 48, 59-63.

Mitra, A.K. (2020). Antioxidants: a masterpiece of mother nature to prevent illness. *Journal of Chemical Reviews*, 2(4), 243-256.

Noda, Y., Anzai, K., Mori, A., Kohno, M., Shinmei, M., & Packer, L. (1997). Hydroxyl and superoxide anion radical scavenging activities of natural source antioxidants using the computerized JES-FR30 ESR spectrometer system. *Biochemistry and Molecular Biology International*, 42(1), 35-44.

Onbasli, D., & Yuvali, G. (2021). In vitro medicinal potentials of *Bryum capillare*, a moss sample, from Turkey. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 478-483.

Pejin, B., Bogdanovic-Pristov, J., Pejin, I., & Sabovljevic, M. (2013). Potential antioxidant activity of the moss *Bryum moravicum*. *Natural Product Research*, 27(10), 900-902.

Percival, M. 1998. Antioxidants. *Clinical Nutrition Insights*, 1098, 54-58.

Quiles, J.L., Rivas-García, L., Varela-López, A., Llopis, J., Battino, M., Sánchez-González, C. (2020). Do nutrients and other bioactive molecules from foods have anything to say in the treatment against COVID-19? *Environmental Research*, 191, 110053.

Rao, A.V., & Rao, L.G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55(3), 207-216.

Ren, H., Wang, F., Ye, W., Zhang, Q., Han, T., Huang, Y., Chu, G., Hui, D., & Guo, Q. (2021). Bryophyte diversity is related to vascular plant diversity and microhabitat under disturbance in karst caves. *Ecological Indicators*, 120, 106947.

Ricciardolo, F.L., Sterk, P.J., Gaston, B., & Folkerts, G. (2004). Nitric oxide in health and disease of the respiratory system. *Physiological Reviews*, 84(3), 731-765.

Ross, J.A., & Kasum, C.M. (2002). Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety. *Annual Review of Nutrition*, 22, 19-34.

Scott, G.A.M. (1982). *Desert Bryophytes*. In Bryophyte Ecology; Smith, A.J.E., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands.

Smith, R.J., & Stark, L.R. (2014). Habitat vs. dispersal constraints on bryophyte diversity in the Mojave Desert, USA. *Journal of Arid Environments*, 102, 76-81.

Soobrattee, M.A., Neergheen, V.S., Luximon-Ramma, A., Aruoma, O.I., & Baborun, T. (2005). Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: mechanism and actions. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 579(1-2), 200-213.

Tuba, Z., Slack, N.G., & Stark, L.R. (2011). *Bryophyte Ecology and Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, UK.

Vats, S. 2016. Effect of initial temperature treatment on phytochemicals and antioxidant activity of *Azadirachta indica* A. Juss. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 178(3), 504-512.

Vats, S., & Gupta, T. 2017. Evaluation of bioactive compounds and antioxidant potential of hydroethanolic extract of *Moringa oleifera* Lam. from Rajasthan, India. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23(1), 239-248.

von Reuß, S.H., & König, W.A. (2005). Olefinic isothiocyanates and iminodithiocarbonates from the liverwort *Corsinia coriandrina*. *European Journal of Organic Chemistry*, 6, 1184-1188.

Wang, X., Cao, J., Dai, X., Xiao, J., Wu, Y., & Wang, Q. (2017). Total flavonoid concentrations of bryophytes from Tianmu Mountain, Zhejiang Province (China): phylogeny and ecological factors. *PloS One*, 12(3), e0173003.

Yen, G.C., Duh, P.D., & Tsai, H.L. (2002). Antioxidant and pro-oxidant properties of ascorbic acid and gallic acid. *Food Chemistry*, 79(3), 307-313.

Young, A., & Lowe, G.L. (2018). Carotenoids-antioxidant properties. *Antioxidants (Basel)*, 7(2), 28-31.

BÖLÜM 7

YABAN MERSİNİNİN (*Vaccinium* spp.) BESİN BİLEŞİMİ, ANTİOKSİDAN ÖZELLİKLERİ VE KARDİYOMETABOLİK SAĞLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

MUHAMMET DOĞAN¹

Giriş

Bitkisel kaynaklı gıdalar, insan beslenmesinde önemli bir yer tutmakta ve sağlığın korunması ile kronik hastalıkların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Göldağ & ark., 2022: 10; Peña-Jorquera & ark., 2023: 3244; Göldağ & Doğan, 2024: 62; Liang & ark., 2024: 113). Meyve, sebze, tam tahıllar, baklagiller ve diğer bitkisel ürünler sadece vitamin, mineral ve lif açısından zengin değil; içerdikleri biyoaktif bileşiklerle de bedenimize katkı sağlar (Esquivel, 2022: 284; Poutanen & ark., 2022: 1648; Timm & ark., 2023: 4138). Bu yüzden son yıllarda beslenme uzmanları ve araştırmacılar, bitkisel gıdaların sağlık üzerindeki etkilerini daha yakından incelemeye başladı (Doğan, 2020: 222; Erkorkmaz & ark., 2023: 96; Fekete & ark., 2025: 2153; Voinea & ark., 2025: 2942; Sionek & Szydłowska, 2025: 3137).

¹ Doç. Dr., Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Karaman, Türkiye Orcid: 0000-0003-3138-5903

Yaban mersini, Ericaceae familyasının Vaccinieae tribusuna mensup *Vaccinium* cinsi içinde sınıflandırılır. Dünya genelinde bu cinse ait 450-500 civarında tür bulunur (Correia & ark., 2024: 533; Debnath & ark., 2023: 1518; Khalid & ark., 2025: 246). Bu bitkiler genellikle çalı formunda büyür; bazıları bodur, bazıları ise sarılıcı özellik gösterir. Meyveleri küçük-orta boyutlarda, etli ve çoğunlukla salkım halinde oluşur. Asidik, kumlu ya da turbalı topraklarda yetişebilme yetenekleri vardır (Debnath & Goyalı, 2020: 788; Debnath & ark., 2023: 1518).

Vaccinium türlerinin bir kısmı poliploid genetik yapıya sahiptir. Bu durum, taksonomik sınıflandırmayı ve bitkiler arası akrabalık ilişkilerini belirlemeyi oldukça zorlaştırır (Nestby & ark., 2019: 515; Debnath & ark., 2023: 1518). Bugün piyasada bulunan yaban mersinlerinin çoğu, *Cyanococcus* seksiyonundan gelir. Özellikle *V. corymbosum*, *V. angustifolium* ve *V. ashei* türleri, modern yetiştiriciliğin temelini oluşturur (Correia & ark., 2024: 533; Ru & ark., 2024: 1352768; Wang & ark., 2024: 2851).

Highbush yaban mersinleri genellikle dört set kromozomlu (tetraploid) yapıdadır. Yetiştirme özelliklerine göre kuzey ve güney highbush olarak ikiye ayrılır. Kuzey tipleri soğuk iklimleri sever, güney tipleri ise daha ılıman bölgelerde yetişebilir. Rabbiteye olarak bilinen türler ise altı set kromozomludur (hexaploid) (Debnath & ark., 2023: 1518; Ru & ark., 2024: 1352768). *Vaccinium* cinsi yalnızca yaban mersiniyle sınırlı değildir. *Oxycoccus* (cranberry/kızılcık), *Myrtillus* (bilberry/ayı üzümü) ve *Vitis-idaea* (lingonberry) gibi seksiyonlar da bu cinse dahildir. Bu meyveler de fenolik bileşikler açısından oldukça zengindir (Debnath & Goyalı, 2020: 788; Martău & ark., 2023: 1533; Kopystecka & ark., 2023: 4119).

Yaban mersininin içindeki fenolik bileşiklerden özellikle antosiyaninler dikkat çeker. Hem laboratuvar ortamında hem de canlı organizmalarda güçlü antioksidan ve iltihap önleyici özellikler

gösterirler. Serbest radikalleri temizleyerek DNA, yağ ve proteinlerdeki oksidatif hasarı azalttıkları bilinmektedir (Wang & ark., 2024: 2851; Pap & ark., 2021: 167; Krishna & ark., 2023: 810; Mattioli & ark., 2020: 3809). Kalp-damar hastalığı riski taşıyan kişilerle yapılan bir çalışmada, katılımcılar 6 hafta boyunca günde 375 mg antosiyanin içeren yabani yaban mersini içeceği tüketmişlerdir. Sonuçta, plasebo grubuna kıyasla kan hücrelerinde DNA hasarında belirgin azalma gözlenmiştir. Kısa süreli bu müdahale damar sağlığında anlamlı bir fark yaratmasa da yaban mersininin sistemik antioksidan etki yaratabileceği ortaya çıkmıştır (Riso & ark., 2013: 949; Krishna & ark., 2023: 810).

Epidemiyolojik veriler, antosiyanin ve yaban mersini tüketimiyle tip 2 diyabet riski arasında ters ilişki olduğunu gösteriyor. Düzenli tüketenlerde insülin duyarlılığının arttığı bildirilmektedir (Curtis & ark., 2019: 1535; Mattioli & ark., 2020: 3809). Polifenollerin glukoz metabolizmasına etkisi üzerine yapılan derlemeler, antosiyaninlerin pankreas beta hücrelerini koruduğunu, karbonhidrat sindirimini yavaşlattığını, insülin direncini azalttığını ve bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde değiştirdiğini ortaya koymaktadır (Naz & ark., 2023: 3996; Mattioli & ark., 2020: 3809). Bu derlemede amacımız, yaban mersininin besin değerini ve biyoaktif bileşiklerini ele almak, antioksidan kapasitesini değerlendirmek ve kardiyometabolik sağlık üzerindeki potansiyel faydalarını incelemektir.

Küresel Dağılım ve Köken

Yaban mersini türleri aslen Kuzey Amerika ve Doğu Asya'ya özgü bitkilerdir. Eskiden sadece bu coğrafyalarda yetişirken, bugün Antarktika hariç dünyanın her yerinde üretilabiliyor (Correia & ark., 2024: 533; Wang & ark., 2024: 2851; Ru & ark., 2024: 1352768). Doğal popülasyonlar sadece bu ana bölgelerde değil; Avrupa'nın kuzey ormanlarında, Alpler'de, Arktik tundralarda, And Dağları

eteklerinde ve tropikal yüksek dağlık alanlarda da kendiliğinden yetişiyor (Nestby & ark., 2019: 515; Magnitskiy, 2023).

Highbush yaban mersini, 1900'lerin başından beri ticari bir ürün haline geldi. Bazı üretim bölgelerinde çilekten sonra en değerli ikinci meyve konumuna yükselmiştir (Correia & ark., 2024: 533). Küresel üretim son on yılda patlama yaptı. 2010'da 439 bin ton civarındayken, 2021'de 1,1 milyon tonu aşarak iki kattan fazla büyümüştür. Bu üretimin piyasa değerı yaklaşık 2,3 milyar doları buluyor. Amerika Birleşik Devletleri bu pastadan en büyük payı alıyor; tek başına 2021'de 1 milyar dolarlık üretim yapmıştır (Ru & ark., 2024: 1352768).

Son dönemde yapılan çalışmalar, sıcak iklimlere uygun güney highbush çeşitlerinin geliştirilmesi ve yıl boyu üretim tekniklerinin yaygınlaşmasıyla birlikte yetiştiriciliğin coğrafyasının genişlediğini gösteriyor. Avustralya, Meksika, Peru ve İspanya gibi ülkeler artık küresel üretimde söz sahibi olmaya başlamıştır (Zahra & ark., 2023; Ru & ark., 2024: 1352768).

Bugün piyasadaki yaban mersinleri çoğunlukla *V. corymbosum*, *V. angustifolium* ve *V. ashei* türlerinden geliyor. Ancak And Dağları'nın yerli türleriyle Avrupa'nın doğal *Vaccinium* çeşitleri de bazı bölgelerde ekonomik ve ekolojik açıdan değer taşıyor (Nestby & ark., 2019: 515; Correia & ark., 2024: 533; Magnitskiy, 2023).

Besin Bileşimi ve İnsan Beslenmesindeki Rolü

Yaban mersini, az kalorili ama besin açısından yoğun bir meyvedir. Büyük bölümü sudan oluşur. İçinde glikoz ve fruktoz gibi basit şekerler, posa, C vitamini ve çeşitli mineraller bulunur (Debnath & Goyalı, 2020: 788; Zahra & ark., 2023; Wang & ark., 2024: 2851). Ama asıl dikkat çekici yanı biyoaktif fitokimyasallar. Antosiyaninler, flavonoidler, fenolik asitler ve tanenler gibi polifenoller açısından oldukça zengindir. İşte bu yüzden

"fonksiyonel gıda" ya da "süper meyve" etiketini alıyor (Martău & ark., 2023: 1533; Debnath & ark., 2023: 1518; Wang & ark., 2024: 2851).

Meyvenin o karakteristik mavi-kırmızı rengini antosiyaninler veriyor. Siyanidin, delfinidin ve malvidin glikozitleri başta olmak üzere bu pigmentlerin güçlü antioksidan ve iltihap önleyici özellikleri olduğu biliniyor (Kopystecka & ark., 2023: 4119; Wang & ark., 2024: 2851; Debnath & Goyal, 2020: 788). Yaban mersinindeki (poli)fenolik bileşiklerin damar sağlığını desteklediği, kalp-damar hastalığı riskini düşürdüğü görülüyor. İnsan çalışmalarında bu etkiler damar fonksiyonlarında daha net ortaya çıkarken, diğer biyobelirteçlerde sonuçlar değişkenlik gösteriyor (Martini & ark., 2022; Wang & ark., 2024: 2851; Arshad & ark., 2025: 70072; Martínez & ark., 2024).

Yaban mersini kullanımı çok eskilere dayanır. Kuzey Amerika yerli halklarıyla Avrupalılar yüzyıllardır bu meyveyi hem yiyecek hem de şifa kaynağı olarak değerlendiriyordu. Günümüzde sadece taze olarak değil; meyve suyu, işlenmiş ürünler, ekstraktlar ve takviyeler şeklinde tüketiliyor (Correia & ark., 2024: 533; Kopystecka & ark., 2023: 4119; Martău & ark., 2023: 1533).

Son yıllarda fonksiyonel gıdalara ve nutrasötiğe ilgi patladı. Bu trend, yaban mersini araştırmalarını da alevlendirdi. Yüksek fenolik içerikli yeni çeşitler geliştirmek için ıslah çalışmaları sürüyor. Öte yandan yapraklar ve işleme artıkları da antioksidan kaynağı olarak değerlendiriliyor (Martău & ark., 2023: 1533; Debnath & ark., 2023: 1518; Correia & ark., 2024: 533).

Makrobesin Bileşimi

Yaban mersini türleri düşük enerji yoğunluğuna sahip meyveler olup yüksek su içerikleri ile karakterizedir. Taze meyvelerde enerji değeri yaklaşık 45 kcal/100 g taze ağırlık düzeyindedir ve toplam su içeriği ortalama %84 civarındadır

(Kopystecka & ark., 2023: 4119; Maya-Cano & ark., 2021: e06297). Makrobesin bileşimi incelendiğinde yaban mersinlerinin başlıca bileşeninin karbonhidratlar olduğu görülmektedir. Tür, yetiştirme koşulları ve olgunluk derecesine bağlı olarak toplam karbonhidrat miktarı genellikle 9-20 g/100 g taze ağırlık aralığında değişmektedir. Örneğin, *V. myrtillus* (bilberry) meyvesinde karbonhidrat içeriği yaklaşık %9,6 olarak rapor edilmiştir (Kopystecka & ark., 2023: 4119).

Yaban mersinlerinde bulunan başlıca serbest şekerler fruktoz ve glikozdur. Nitekim *Vaccinium uliginosum* türünde fruktoz içeriği yaklaşık 2100 mg/100 g, glikoz içeriği ise 1660 mg/100 g olarak belirlenmiştir (Kopystecka & ark., 2023). Bu nedenle *Vaccinium* türleri genel olarak glikoz ve fruktoz bakımından zengin meyveler olarak tanımlanmaktadır (Correia & ark., 2024: 533; Rashwan & ark., 2023: 1913).

Karbonhidratlara ek olarak yaban mersinleri dikkate değer miktarda diyet lifi içermektedir. Farklı çalışmalarda toplam lif içeriğinin genellikle 3-3,5 g/100 g taze ağırlık aralığında olduğu bildirilmektedir (Miller & ark., 2019: 1510; Shi & ark., 2017: 16). Örneğin taze bilberry meyvesinde lif oranı yaklaşık %3,5 olarak belirlenmiştir (Kopystecka & ark., 2023: 4119). Bu düzeydeki lif içeriği, yaban mersinlerinin meyveler arasında iyi bir diyet lifi kaynağı olarak değerlendirilmesine neden olmakta ve fonksiyonel gıda özelliklerine önemli katkı sağlamaktadır (Golovinskaia & Wang, 2021: 3904; Miller & ark., 2019: 1510; Shi & ark., 2017: 16).

Protein ve yağ içerikleri ise oldukça düşüktür. Yaban mersinlerinde protein miktarı genellikle 0,7-1,0 g/100 g taze ağırlık aralığında olup bilberry meyvesinde yaklaşık %0,7 protein bulunduğu bildirilmektedir (Kopystecka & ark., 2023: 4119). Benzer şekilde yağ içeriği de oldukça sınırlıdır ve çoğu çalışmada 0,3-0,4 g/100 g taze ağırlık düzeyinde rapor edilmektedir (Kopystecka & ark., 2023: 4119; Miller & ark., 2019: 1510).

Vitamin İçeriği

Yaban mersininin besin değerini inceleyen çalışmalar, bu meyvenin özellikle C ve K vitaminleri yönünden zengin olduğunu gösteriyor. Taze meyve üzerinden bakıldığında, 100 gramında 3,4 ile 9,5 miligram arası C vitamini bulunuyor (Krishna & ark., 2023: 810). Portakal gibi yaygın meyvelerle kıyaslandığında bu değer düşük kalıyor; çünkü o meyvelerde 9,7-60 mg/100 g arası C vitamini var (Golovinskaia & Wang, 2021: 3904). Yine de askorbik asit, yaban mersinindeki fenolikler ve diğer biyoaktif maddelerle birlikte toplam antioksidan gücüne katkıda bulunuyor (Maya-Cano & ark., 2021: e06297; Krishna & ark., 2023: 810; Rashwan & ark., 2023: 1913).

Küçük meyveler arasında yaban mersini, K vitamini bakımından da öne çıkıyor. Kaynaklara göre 100 gramında 56,1-79,9 mikrogram K vitamini bulunuyor (Golovinskaia & Wang, 2021: 3904; Krishna & ark., 2023: 810). İşte bu yüzden yaban mersini ve böğürtlen, diyetle K vitamini almak için önemli bitkisel kaynaklar olarak görülüyor (Miller & ark., 2019: 1510; Golovinskaia & Wang, 2021: 3904).

Bunların dışında B grubu vitaminleri de var. Tiamin (B1) 19,6-26,7 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, riboflavin (B2) 38,0-70,2 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, niasin (B3) ise 1,0-1,7 mg/100 g düzeyinde ölçülmüş (Krishna & ark., 2023: 810). B6 vitamini (0,052 mg/100 g), E vitamini (0,57 mg/100 g) ve A vitamini (5,0-83,1 IU/100 g) de meyvede tespit edilmiş (Krishna & ark., 2023). Ayrıca B-kompleks vitaminleri, E vitamini ve provitamin A karotenoidleri içerdiği belirtiliyor (Shi & ark., 2017: 16; Miller & ark., 2019: 1510; Maya-Cano & ark., 2021: e06297).

Mineral İçeriği

Son alışmalar, yaban mersininin makro ve mikro mineraller açısından zengin bir profil sunduğunu ortaya koyuyor. Taze ağırlık üzerinden değerlendirince, başlıca makro elementler şöyle:

potasyum 66,2-98,0 mg, kalsiyum 6,6-15,2 mg, magnezyum 4,5-10,1 mg, fosfor 6,8-20,3 mg, kükürt 10,1-25,4 mg/100 g (Krishna & ark., 2023: 810).

Mikro elementlere gelince; demir 0,15-0,57 mg/100 g, mangan ise 0,14-1,52 mg/100 g arasında değişiyor (Krishna & ark., 2023: 810). Özellikle mangan, yaban mersininin mineral içeriğinde dikkat çeken öğelerden biri (Shi & ark., 2017: 16; Miller & ark., 2019: 1510; Krishna & ark., 2023: 810). Üstelik bakır (0,01-0,09 mg/100 g) ve çinko (0,06-0,13 mg/100 g) gibi eser elementler de mevcut. Bor ve molibden gibi diğer elementler de az miktarda bulunuyor (Krishna & ark., 2023: 810). Farklı araştırmalar da şunu vurguluyor: yaban mersini, kalori miktarına kıyasla potasyum, mangan, demir, selenyum ve çinko yönünden oldukça verimli bir kaynak. Bu yüzden dengeli beslenme için değerli bir meyve sayılabilir (Shi & ark., 2017: 16; Miller & ark., 2019: 1510; Maya-Cano & ark., 2021: e06297).

Diyet Lifi ve Prebiyotik Önemi

Yaban mersini, 100 gramında yaklaşık 3-3,5 gram diyet lifi barındırıyor. Bu lifin bir kısmı çözünür, bir kısmı ise çözünmez yapıda (Shi & ark., 2017: 16; Miller & ark., 2019: 1510; Kopystecka & ark., 2023: 4119). İçindekilerine bakıldığında pektin ve benzeri çözünür lifler öne çıkıyor. Bu maddeler, kan şekeri dalgalanmalarını yatıştırıyor ve kolesterol metabolizmasına iyi geliyor. Öte yandan çözünmeyen hücre duvarı polisakkaritleri, dışkıyı hacimlendirerek bağırsak hareketlerini kolaylaştırıyor ve sindirim sisteminin düzenli çalışmasına yardımcı oluyor (Miller & ark., 2019: 1510; Rashwan & ark., 2023: 1913; Maya-Cano & ark., 2021: e06297).

Son dönemde fonksiyonel gıdalara yönelik derlemeler, yaban mersinindeki liflerin polifenollerle birlikte bağırsak florasını şekillendirebileceğini gösteriyor. Faydalı bakterilerin üremesini destekleyip kısa zincirli yağ asitlerinin (SCFA) artmasına katkıda

bulunuyorlar. Bu özellikler sayesinde yaban mersini, prebiyotik etki gösteren gıdalar arasında sayılıyor. Yine de insanlar üzerindeki çalışmalar sınırlı. Gözlemlenen faydaların sadece liften mi yoksa meyvedeki polifenollerin biyolojik aktivitesinden mi kaynaklandığı tam olarak belli değil (Miller & ark., 2019: 1510; Shi & ark., 2017: 16; Nowaczyk & ark., 2025: 1561116).

Biyoaktif Bileşikler

Vaccinium türleri, fenolik bileşikler açısından oldukça zengin. Bu maddeler, meyvelerin biyolojik aktivitelerinin büyük kısmından sorumlu. Yetiştirilen yaban mersinlerinde toplam fenolik madde, 100 gram taze meyvede yaklaşık 300-400 mg gallik asit eşdeğeri civarında ölçülüyor (Krishna & ark., 2023: 810; Rashwan & ark., 2023: 1913; Correia & ark., 2024: 533). Yaban mersini aynı zamanda ciddi miktarda flavonoid içeriyor. Ancak literatürdeki flavonoid değerleri oldukça geniş bir aralıkta değişiyor; 2,5-387 mg/100 g arasında rapor edilmiş. Bu farklılığın önemli bir nedeni, bazı ölçümlerin kuru ağırlık üzerinden yapılmış olmasıdır (Krishna & ark., 2023: 810).

Fenolikler içinde en dikkat çeken antioksidanlar antosiyaninler. Tür ve çeşide göre 100 gram kuru ağırlıkta 130-870 mg siyanidin-3-glikozit eşdeğeri arasında değişebiliyor (Rashwan & ark., 2023: 1913). Bazı highbush çeşitlerinde bu değer taze ağırlık üzerinden 387-487 mg/100 g'ye kadar çıkabiliyor (Correia & ark., 2024: 533). Yaban mersinindeki başlıca antosiyanidinler şunlar: delfinidin, malvidin, petunidin, siyanidin ve peonidin türevleri. Özellikle delfinidin ve malvidin glikozitleri, toplam antosiyaninin yaklaşık %20-40'ını oluşturuyor (Wang & ark., 2024: 2851; Rashwan & ark., 2023: 1913; Correia & ark., 2024: 533; Maya-Cano & ark., 2021: e06297).

İşte bu fenolik bileşikler, özellikle antosiyaninler, yaban mersininin güçlü antioksidan ve iltihap önleyici özelliklerinin temelini atıyor. Bu biyolojik etkiler, kalp-damar sağlığından beyin

işlevlerine, karaciğer sağlığına kadar birçok alanda olumlu sonuçlarla bağdaştırılıyor. Bu yüzden yaban mersini sıklıkla fonksiyonel gıda olarak anılıyor (Wang & ark., 2024: 2851; Martău & ark., 2023: 1533; Rashwan & ark., 2023: 1913; Książek & ark., 2024: 2940).

Antioksidan Kapasite ve İnflamasyon

Yaban mersini ve diğer *Vaccinium* türleri, yüksek fenolik içeriği sayesinde güçlü antioksidan özelliğiyle öne çıkıyor. Bu kapasitenin büyük kısmı, meyvede bol miktarda bulunan antosiyaninlere borçlu (Zahra & ark., 2023; De Oliveira & ark., 2022: 19). İnsan ve hayvan çalışmalarını bir araya getiren araştırmalar, yaban mersini tüketiminin oksidatif stres ve iltihapla ilgili bazı göstergeler üzerinde olumlu etki yaratabileceğini gösteriyor. Obezite ya da metabolik sendromu olan kişilerde yapılan çalışmalarda, yaban mersini ürünlerinin oksidatif stres belirteçlerini düşürdüğü ve damar iç yüzeyi fonksiyonunda düzelme sağladığı görülmüş. Ancak kilo veya kan şekeri kontrolü üzerindeki etkiler pek tutarlı değil; bazı çalışmalarda belirgin değişiklik olmamıştır (De Oliveira & ark., 2022: 19).

Risk grubundaki yetişkinlerle yapılan müdahale çalışmalarını inceleyen derlemeler de benzer tablo çiziyor. Damar fonksiyonlarında ve bazen oksidatif stres göstergelerinde iyileşme rapor edilirken, iltihap belirteçleri ve diğer kalp-damar-metabolik risk faktörleri açısından sonuçlar karışık çıkmış. Bu farklılıkların büyük ölçüde kullanılan doza, çalışma süresine ve katılımcıların özelliklerine bağlı olduğu sanılıyor (Martini & ark., 2022; Książek & ark., 2024: 2940).

Konuyu daha geniş ele alan bir meta-analiz, 44 randomize kontrollü çalışmayı bir araya getirmiş. Buna göre saflaştırılmış antosiyanin takviyeleri, LDL kolesterol ve trigliseridi düşürüyor, HDL kolesterolü yükseltiyor. Ayrıca C-reaktif protein (CRP) ve

TNF- α gibi iltihap belirteçlerinde azalma sağlıyor. Antosiyanin açısından zengin meyvelerin tüketimi ise toplam kolesterol ve CRP'de daha sınırlı ama yine de anlamlı düşüşlerle bağlantılı (Xu & ark., 2021: 747884). Bu bulgular, düzenli yaban mersini veya antosiyanin alımının yağ profilini düzeltebileceğini ve düşük düzeyli iltihabı kırabileceğini düşündürüyor. Uzun vadede bu mekanizmaların kronik hastalıklardan korunmada işe yarayabileceği belirtiliyor (De Oliveira & ark., 2022: 19; Martini & ark., 2022; Reis & ark., 2016: 315; Xu & ark., 2021: 747884).

Yaban mersinindeki antosiyaninlerin sadece kalp-damar sistemi değil, beyin üzerinde de etkili olabileceği ileri sürülüyor. Hayvan deneyleri, bu maddelerin hafıza merkezlerine ulaşabildiğini ve oksidatif stresle nöroinflamasyonu azaltabildiğini gösteriyor (Travica & ark., 2020: 96; Hein & ark., 2019: 984). Öte yandan sağlıklı insanlarda yapılan bazı derlemeler, *Vaccinium* meyvelerinin egzersiz performansı veya egzersize bağlı oksidatif stres/iltihap göstergeleri üzerinde tutarlı bir fayda göstermediğini ortaya koymuş. Yine de bu meyvelerdeki biyoaktif bileşiklerin potansiyel etkilerini açıklayan güçlü mekanizmalar var (Martínez & ark., 2024).

Antosiyaninlerin antioksidan ve iltihap önleyici özellikleri cilt sağlığı açısından da ilgi çekiyor. Özellikle güneş koruma ve yara iyileşmesi süreçlerinde faydalı olabileceği söyleniyor. Bu nedenle *Vaccinium* türleri hem laboratuvar çalışmalarında hem de sınırlı sayıdaki insan araştırmasında bağışıklık düzenleyici etkiler gösteren meyveler arasında sayılıyor (Piazza & ark., 2020: 542).

Kardiyometabolik Sağlık Üzerindeki Etkileri

Kardiyovasküler Sağlık Üzerindeki Etkileri

Yaban mersini ve benzeri mor meyvelerin kalp sağlığına etkisi son yıllarda oldukça incelendi. Konuyla ilgili yapılan büyük bir meta-analiz, antosiyanin tüketimiyle kalp hastalığı riski arasında ters bir ilişki olduğunu gösteriyor. On beş farklı çalışmanın verilerine

bakıldığında, en çok antosiyanin alanlarla en az alanlar kıyaslandığında; koroner kalp hastalığına yakalanma riski, genel kalp-damar rahatsızlıkları ve bu hastalıklardan ölme oranı belirgin şekilde düşük çıkmıştır (Xu & ark., 2021: 747884).

Başka bir meta-analiz de benzer şeyleri söylüyor. Bu sefer 39 çalışma ele alınmış ve yine antosiyanin alımıyla kalp-damar hastalığı riski arasında ters bir bağlantı kurulmuş. En yüksek ve en düşük tüketim grupları karşılaştırıldığında, fazla antosiyanin alanlarda riskin tutarlı biçimde azaldığı görülmüştür (Micek & ark., 2021). Bu iki çalışmanın sonuçları bir arada düşünüldüğünde, mor meyveleri düzenli yemek kalp rahatsızlıklarına karşı koruyucu olabilir gibi görünüyor (Xu & ark., 2021: 747884; Micek & ark., 2021: e2001019).

Klinik denemeler de damar fonksiyonu üzerinde olumlu etkiler olduğuna işaret ediyor. Metabolik sendromu olan kişilerde yapılan bir çalışmada, katılımcılar altı ay boyunca her gün yaklaşık bir bardak dondurulmuş yaban mersini yediler. Sonuçta damar genişlemesi %1,45 oranında artarken, arter sertliğini gösteren indeks düştü. Kan basıncında pek değişiklik olmasa da damar fonksiyonundaki bu düzelme ileride kalp hastalığı riskini %12-15 azaltabilir anlamına geliyor (Curtis & ark., 2019: 1535).

Yeni yayınlanan bir derleme çalışması da 16 farklı denemeyi incelemiş. Yaban mersini tüketiminin damar genişlemesini ortalama %1,50 artırdığı, kan akışını iyileştirdiği ve diyastolik kan basıncını 2,2 mmHg kadar düşürdüğü tespit edilmiştir. Sigara içenlerde ise sistolik basınç 3,9 mmHg, diyastolik basınç 2,2 mmHg gerilemiştir (Deng & ark., 2024: 1368892).

Ama tabii sağlıklı ve kalp hastalığı riski düşük gençlerde yapılan çalışmalar pek fark göstermemiş. Kan basıncı ve kolesterol değerlerinde anlamlı bir değişiklik olmamış. Yine de bazı denemelerde damar fonksiyonunda düzelme veya nitrik oksit

kullanımında iyileşme gibi olumlu bulgular var. Muhtemelen çalışmaya katılanlar zaten sağlıklı olduğu için büyük değişiklikler gözlemlemek zor olmuş (Woolf & ark., 2023; Wang & ark., 2022: 2562; Riso & ark., 2013: 949;).

Diyabet ve Glisemik Kontrol Üzerindeki Etkileri

ABD'de yapılan üç büyük çalışmanın verilerine bakıldığında, en çok antosiyanin alanlarda tip 2 diyabet riski en az alanlara göre yaklaşık %15 daha düşük çıkmış. Aynı araştırmada yaban mersini tüketimi de dikkat çekici bir ilişki göstermiştir. Haftada iki porsiyondan fazla yiyenlerde diyabet riski %23 kadar azalmıştır (Wedick & ark., 2012: 925). Başka bir meta-analiz de benzer sonuçlar veriyor. Bu çalışmada üç antosiyanin kohortu ve beş meyve kohortu incelenmiş. Yüksek antosiyanin alımı tip 2 diyabet riskini %15 düşürüyor, meyve tüketimi ise %18 azaltıyor. Üstelik doz-yanıt ilişkisi de var. Günde 7,5 mg antosiyanin veya 17 g meyve artışı riski yaklaşık %5 kırıyor (Guo & ark., 2016: 1360).

Yeni veriler de bu eğilimi destekliyor. İngiltere'deki UK Biobank analizinde, flavonoid açısından zengin gıdaları bol yiyenlerde (günde yaklaşık altı porsiyon) tip 2 diyabet riski %26 daha düşük bulunmuş. Sadece meyve tüketimi bile tek başına riski %15 azaltıyor (Thompson & ark., 2024: 88). Genel olarak baktığımızda, mevcut çalışmalar daha fazla antosiyanin ve meyve — özellikle yaban mersini gibi mor meyveler— yemenin tip 2 diyabet riskini düşürdüğünü net bir şekilde gösteriyor (Wedick & ark., 2012: 925; Thompson & ark., 2024: 88; Liu & ark., 2014: 59; Zhou & ark., 2018: 2294; Guo & ark., 2019: 2850).

Tip 2 diyabetli kişilerde yapılan çalışmalar genellikle kan şekeri kontrolüne odaklanıyor. Klinik denemeler, yaban mersininin bazı metabolik parametreler üzerinde faydalı etkileri olabileceğini gösteriyor. Örneğin 52 tip 2 diyabetli erkeğin katıldığı sekiz haftalık bir çalışmada, her gün yaklaşık 22 g dondurulmuş yaban mersini

yiyenlerde HbA1c %7,5'ten %7,1'e düşmüş. Fruktozamin ve trigliseridler de azalmış. Ama açlık şekeri ve insülin seviyelerinde anlamlı bir değişiklik olmamıştır (Stote & ark., 2020: 30).

Yaban mersini ve kızılcığı kapsayan 22 çalışmanın derlemesi de benzer şeyler söylüyor. Tip 2 diyabetlilerde bu meyveler açlık glukozunu ortalama 17,7 mg/dL düşürüyor, HbA1c'yi 0,32 puan indiriyor. Ancak insülin direnci üzerinde net bir etki görülmemiş (Delpino & ark., 2022). Başka bir derleme de yaban mersini veya kızılcık suyu, tozu ve ekstrelerinin çoğu çalışmada açlık şekeri ve/veya HbA1c'yi iyileştirdiğini ama doz, ürün formu ve küçük örneklem nedeniyle sonuçların tutarsız olduğunu belirtiyor (Rocha & ark., 2019: 1816).

Bu bulgular bir arada değerlendirildiğinde, antosiyanin açısından zengin yaban mersininin tip 2 diyabetlilerde kan şekeri kontrolünü biraz iyileştirdiği, özellikle HbA1c ve açlık glukozu üzerinde olumlu etkisi olduğu anlaşıyor. Ama insülin direnci üzerindeki etkileri hala net değil, daha geniş ve uzun süreli çalışmalara gerek var (Stote & ark., 2020: 30; Delpino & ark., 2022; Rocha & ark., 2019: 1816). Yemek sonrası kan şekeri tepkileri üzerine de araştırmalar var. Metabolik sendromu olan kişilerde yapılan bir çalışmada, yağ ve şeker yüklü bir öğüne bir bardak yaban mersini eklemek 24 saatlik glukoz ve insülin maruziyetini azaltmış. İlk saatte şeker biraz daha yüksek çıksa da üçüncü saatte hem glukoz hem insülin daha düşük seyretmiştir (Curtis & ark., 2021: 165).

Sağlıklı kişilerde ise durum farklı. Yüksek karbonhidratlı bir kahvaltıyla birlikte 140 g taze yaban mersini yemek, iki saatlik glukoz ve insülin yanıtlarını değiştirmemiş. Yine de bazı bağırsak hormonlarında, özellikle pankreatik polipeptitte artış gözlenmiştir (Stote & ark., 2020: 30). Başka kısa süreli çalışmalarda da antosiyaninli yaban mersini içeceklerinin yemek sonrası glukoz eğrisini daha dengeli hale getirdiği, bazı hareketsiz kişilerde glukoz eğrisi altındaki alanda azalma ve insülin duyarlılığında iyileşme

görülebildiği ifade edilmiştir (Palma & ark., 2021: 1458; Bell & ark., 2017: 3104).

Sonuç

Yaban mersini zengin besin içeriği ve yüksek biyoaktif bileşikleriyle beslenme açısından önemli bir meyvedir. Özellikle antosiyaninler başta olmak üzere polifenoller, lif, vitamin ve mineraller açısından dikkat çekici bir profile sahip. Mevcut çalışmalar, bu biyoaktif bileşiklerin güçlü antioksidan ve iltihap önleyici özellikler gösterdiğini, oksidatif stresle ilgili süreçleri düzenleyebildiğini ortaya koyuyor. Epidemiyolojik ve klinik araştırmalar, düzenli yaban mersini veya antosiyanin açısından zengin meyve tüketiminin kalp-damar sağlığı, yağ metabolizması ve kan şekeri kontrolü üzerinde olumlu etkileri olabileceğini gösteriyor. Ancak bazı metabolik parametreler üzerindeki etkiler çalışma tasarımına, süreye ve katılımcılara göre değişebiliyor. Özetle, dengeli bir diyetle yaban mersini yemek kardiyometabolik sağlık için faydalı olabilir. Ama bu etkilerin tam olarak nasıl işlediği ve farklı gruplardaki uzun vadeli sonuçları için daha fazla araştırmaya ihtiyaç var.

Kaynakça

Arshad, M., Maqsood, S., Ikram, A., & Abdullahi, M. (2025). Recent perspectives on the role of anthocyanins in blueberries (*Vaccinium spp.*) against cardiovascular diseases and their complications: An updated review. *eFood*. <https://doi.org/10.1002/efd2.70072>

Bell, L., Lamport, D., Butler, L., & Williams, C. (2017). A study of glycaemic effects following acute anthocyanin-rich blueberry supplementation in healthy young adults. *Food & Function*, 8(9), 3104–3110. <https://doi.org/10.1039/c7fo00724h>

Correia, S., Matos, M., & Leal, F. (2024). Advances in blueberry (*Vaccinium spp.*) in vitro culture: A review. *Horticulturae*, 10(6), 533. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060533>

Curtis, P., Berends, L., van der Velpen, V., Jennings, A., Haag, L., Chandra, P., Kay, C., Rimm, E., & Cassidy, A. (2021). Blueberry anthocyanin intake attenuates the postprandial cardiometabolic effect of an energy-dense food challenge: Results from a double-blind randomized controlled trial in metabolic syndrome participants. *Clinical Nutrition*, 41, 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.11.030>

Curtis, P., van der Velpen, V., Berends, L., Jennings, A., Feelisch, M., Umpleby, A., Evans, M., Fernandez, B., Meiss, M., Minnion, M., Potter, J., Minihaane, A., Kay, C., Rimm, E., & Cassidy, A. (2019). Blueberries improve biomarkers of cardiometabolic function in participants with metabolic syndrome: Results from a 6-month double-blind randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 109(6), 1535–1545. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy380>

De Oliveira, M., Pellenz, F., De Souza, B., & Crispim, D. (2022). Blueberry consumption and changes in obesity and diabetes mellitus outcomes: A systematic review. *Metabolites*, 13(1), 19. <https://doi.org/10.3390/metabo13010019>

Debnath, S., & Goyali, J. (2020). In vitro propagation and variation of antioxidant properties in micropropagated *Vaccinium* berry plants: A review. *Molecules*, 25(4), 788. <https://doi.org/10.3390/molecules25040788>

Debnath, S., Bhatt, D., & Goyali, J. (2023). DNA-based molecular markers and antioxidant properties to study genetic diversity and relationship assessment in blueberries. *Agronomy*, 13(6), 1518. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061518>

Delpino, F., Figueiredo, L., Da Silva, T., & Flores, T. (2022). Effects of blueberry and cranberry on type 2 diabetes parameters in individuals with or without diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2022.02.004>

Deng, B., Lei, Y., Zhou, R., Ruan, T., Lu, W., Ying, J., Yue, Y., & Mu, D. (2024). Effect of blueberry intervention on endothelial function: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 15, 1368892. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1368892>

Doğan, M. (2020). Su teresinin (*Nasturtium officinale* R. Br.) beslenme-diyet potansiyeli ve antioksidan özellikleri: Bir derleme. *International Anatolia Academic Online Journal Health Sciences*, 6(3), 222–233.

Erkorkmaz, F., Altunbay, M., Demirci, Z., & Doğan, M. (2023). Chia tohumunun (*Salvia hispanica* L.) bileşimi, besinsel

değeri ve sağlık faydaları. *Scientific and Academic Research*, 2(1), 96–106.

Esquivel, M. K. (2022). Nutrition benefits and considerations for whole foods plant-based eating patterns. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 16(3), 284–290.

Fekete, M., Lehoczki, A., Kryczyk-Poprawa, A., Zábó, V., Varga, J. T., Bálint, M., & Varga, P. (2025). Functional foods in modern nutrition science: Mechanisms, evidence, and public health implications. *Nutrients*, 17(13), 2153.

Golovinskaia, O., & Wang, C. (2021). Review of functional and pharmacological activities of berries. *Molecules*, 26(13), 3904. <https://doi.org/10.3390/molecules26133904>

Göldağ, R., & Doğan, M. (2024). Avokado (*Persea americana* Mill.)’nun besin içeriği, antioksidan özelliği ve potansiyel sağlık faydaları. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(1), 62–69.

Göldağ, R., Göldağ, Ö. G., & Doğan, M. (2022). Beslenme ve sağlık için kara mürver’in (*Sambucus nigra* L.) önemi: Biyolojik aktiviteleri. *Academic Platform Journal of Halal Lifestyle*, 4(1), 10–17.

Guo, X., Ruan, Y., Li, Z., & Li, D. (2019). Flavonoid subclasses and type 2 diabetes mellitus risk: A meta-analysis of prospective cohort studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, 2850–2862. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1476964>

Guo, X., Yang, B., Tan, J., Jiang, J., & Li, D. (2016). Associations of dietary intakes of anthocyanins and berry fruits with risk of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-

analysis of prospective cohort studies. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70, 1360–1367. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.142>

Hein, S., Whyte, A., Wood, E., Rodriguez-Mateos, A., & Williams, C. (2019). Systematic review of the effects of blueberry on cognitive performance as we age. *The Journals of Gerontology: Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 74(7), 984–995. <https://doi.org/10.1093/gerona/glz082>

Khalid, A., Benevenuto, J., Lyrene, P., & Munoz, P. (2025). Interspecific hybridization history of *Vaccinium* berry crops and potential in wild relatives. *Horticulture Research*, 12, uhaf246. <https://doi.org/10.1093/hr/uhaf246>

Kopystecka, A., Koziół, I., Radomska, D., Bielawski, K., Bielawska, A., & Wujec, M. (2023). *Vaccinium uliginosum* and *Vaccinium myrtillus*: Two species—one used as a functional food. *Nutrients*, 15, 4119. <https://doi.org/10.3390/nu15194119>

Krishna, P., Pandey, G., Thomas, R., & Parks, S. (2023). Improving blueberry fruit nutritional quality through physiological and genetic interventions: A review of current research and future directions. *Antioxidants*, 12, 810. <https://doi.org/10.3390/antiox12040810>

Książek, E., Goluch, Z., & Bochniak, M. (2024). *Vaccinium* spp. berries in the prevention and treatment of non-alcoholic fatty liver disease: A comprehensive update of preclinical and clinical research. *Nutrients*, 16, 2940. <https://doi.org/10.3390/nu16172940>

Liang, J., Wen, Y., Yin, J., Zhu, G., & Wang, T. (2024). Utilization of plant-based foods for effective prevention of chronic diseases: A longitudinal cohort study. *npj Science of Food*, 8(1), 113.

Liu, Y., Zhan, J., Liu, X., Wang, Y., Ji, J., & He, Q. (2014). Dietary flavonoids intake and risk of type 2 diabetes: A meta-analysis of prospective cohort studies. *Clinical Nutrition*, 33(1), 59–63. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2013.03.011>

Magnitskiy, S. (2023). Native plants from the genus *Vaccinium* in Colombia and their potential uses: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. <https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i1.15503>

Martău, G., Bernadette-Emőke, T., Odocheanu, R., Soporan, D., Bochiș, M., Simon, E., & Vodnar, D. (2023). *Vaccinium* species (Ericaceae): Phytochemistry and biological properties of medicinal plants. *Molecules*, 28, 1533. <https://doi.org/10.3390/molecules28041533>

Martínez, A., Díaz, M., Romero, L., Redha, A., Zare, R., Hernandez, S., Prokopidis, K., & Clifford, T. (2024). Effects of *Vaccinium* berries (blueberries, cranberries and bilberries) on oxidative stress, inflammation, exercise performance, and recovery: A systematic review. *Food & Function*. <https://doi.org/10.1039/d3fo04435a>

Martini, D., Marino, M., Venturi, S., Tucci, M., Klimis-Zacas, D., Riso, P., Porrini, M., & Del Bo', C. (2022). Blueberries and their bioactives in the modulation of oxidative stress, inflammation and cardiovascular function markers: A systematic review of human intervention studies. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2022.109154>

Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020). Anthocyanins: A comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Molecules*, 25, 3809. <https://doi.org/10.3390/molecules25173809>

Maya-Cano, D., Arango-Varela, S., & Santa-González, G. (2021). Phenolic compounds of blueberries (*Vaccinium spp.*) as a protective strategy against skin cell damage induced by ROS: A review of antioxidant potential and antiproliferative capacity. *Heliyon*, 7, e06297. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06297>

Micek, A., Godos, J., Del Rio, D., Galvano, F., & Grosso, G. (2021). Dietary flavonoids and cardiovascular disease: A comprehensive dose–response meta-analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, e2001019. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202001019>

Miller, K., Feucht, W., & Schmid, M. (2019). Bioactive compounds of strawberry and blueberry and their potential health effects based on human intervention studies: A brief overview. *Nutrients*, 11(7), 1510. <https://doi.org/10.3390/nu11071510>

Naz, R., Saqib, F., Awadallah, S., Wahid, M., Latif, M., Iqbal, I., & Mubarak, M. (2023). Food polyphenols and type II diabetes mellitus: Pharmacology and mechanisms. *Molecules*, 28, 3996. <https://doi.org/10.3390/molecules28103996>

Nestby, R., Hykkerud, A., & Martinussen, I. (2019). Review of botanical characterization, growth preferences, climatic adaptation and human health effects of Ericaceae and Empetraceae wild dwarf shrub berries in boreal, alpine and arctic areas. *Journal of Berry Research*, 9, 515–547. <https://doi.org/10.3233/jbr-190390>

Nowaczyk, P., Turck, P., & Jamka, M. (2025). Editorial: The nutritional and health benefits of *Vaccinium* berries. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1561116. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1561116>

Palma, X., Thomas-Valdés, S., & Cruz, G. (2021). Acute consumption of blueberries and short-term blueberry supplementation improve glucose management and insulin levels in

sedentary subjects. *Nutrients*, 13, 1458.
<https://doi.org/10.3390/nu13051458>

Pap, N., Fidelis, M., Azevedo, L., Carmo, M., Wang, D., Mocan, A., Pereira, E., Xavier-Santos, D., Sant’Ana, A., Yang, B., & Granato, D. (2021). Berry polyphenols and human health: Evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects. *Current Opinion in Food Science*, 42, 167–186. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>

Peña-Jorquera, H., Cid-Jofré, V., Landaeta-Díaz, L., Petermann-Rocha, F., Martorell, M., Zbinden-Foncea, H., ... Cristi-Montero, C. (2023). Plant-based nutrition: Exploring health benefits for atherosclerosis, chronic diseases, and metabolic syndrome—A comprehensive review. *Nutrients*, 15(14), 3244.

Piazza, S., Fumagalli, M., Khalilpour, S., Martinelli, G., Magnavacca, A., Dell’Agli, M., & Sangiovanni, E. (2020). A review of the potential benefits of plants producing berries in skin disorders. *Antioxidants*, 9, 542. <https://doi.org/10.3390/antiox9060542>

Poutanen, K. S., Kårlund, A. O., Gómez-Gallego, C., Johansson, D. P., Scheers, N. M., Marklinder, I. M., ... Landberg, R. (2022). Grains—A major source of sustainable protein for health. *Nutrition Reviews*, 80(6), 1648–1663.

Rashwan, A., Osman, A., Karim, N., Mo, J., & Chen, W. (2023). Unveiling the mechanisms of the development of blueberry-based functional foods: An updated and comprehensive review. *Food Reviews International*, 40, 1913–1940. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2245025>

Reis, J., Monteiro, V., De Souza Gomes, R., Carmo, M., Da Costa, G., Ribera, P., & Monteiro, M. (2016). Action mechanism and cardiovascular effect of anthocyanins: A systematic review of

animal and human studies. *Journal of Translational Medicine*, 14, 315. <https://doi.org/10.1186/s12967-016-1076-5>

Riso, P., Klimis-Zacas, D., Del Bo', C., Martini, D., Campolo, J., Vendrame, S., Møller, P., Loft, S., Riso, M., & Porrini, M. (2013). Effect of a wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) drink intervention on markers of oxidative stress, inflammation and endothelial function in humans with cardiovascular risk factors. *European Journal of Nutrition*, 52, 949–961. <https://doi.org/10.1007/s00394-012-0402-9>

Rocha, D. M. U. P., Caldas, A. P. S., Da Silva, B. P., Hermsdorff, H. H. M., & Alfenas, R. C. G. (2019). Effects of blueberry and cranberry consumption on type 2 diabetes glycemic control: A systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, 1816–1828. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1430019>

Ru, S., Sanz-Saez, A., Leisner, C., Rehman, T., & Busby, S. (2024). Review on blueberry drought tolerance from the perspective of cultivar improvement. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1352768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1352768>

Shi, M., Loftus, H., McAinch, A. J., & Su, X. Q. (2017). Blueberry as a source of bioactive compounds for the treatment of obesity, type 2 diabetes and chronic inflammation. *Journal of Functional Foods*, 30, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.12.036>

Sionek, B., & Szydłowska, A. (2025). Probiotics and prebiotics in the aspect of health benefits and the development of novel plant-based functional food. *Applied Sciences*, 15(6), 3137.

Stote, K. S., Corkum, A., Sweeney, M. I., Shakerley, N. L., Kean, T., & Gottschall-Pass, K. T. (2019). Postprandial effects of

blueberry (*Vaccinium angustifolium*) consumption on glucose metabolism, gastrointestinal hormone response, and perceived appetite in healthy adults: A randomized, placebo-controlled crossover trial. *Nutrients*, 11, 202. <https://doi.org/10.3390/nu11010202>

Stote, K. S., Wilson, M. M., Hallenbeck, D., Thomas, K., Rourke, J. M., Sweeney, M. I., Gottschall-Pass, K. T., & Gosmanov, A. R. (2020). Effect of blueberry consumption on cardiometabolic health parameters in men with type 2 diabetes: An 8-week, double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *Current Developments in Nutrition*, 4, nzaa030. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa030>

Thompson, A. S., Jennings, A., Bondonno, N. P., Tresserra-Rimbau, A., Parmenter, B. H., Hill, C., Perez-Cornago, A., Kühn, T., & Cassidy, A. (2024). Higher habitual intakes of flavonoids and flavonoid-rich foods are associated with a lower incidence of type 2 diabetes in the UK Biobank cohort. *Nutrition & Diabetes*, 14, 88. <https://doi.org/10.1038/s41387-024-00288-0>

Timm, M., Offringa, L. C., Van Klinken, B. J. W., & Slavin, J. L. (2023). Beyond insoluble dietary fiber: Bioactive compounds in plant foods. *Nutrients*, 15(19), 4138.

Travica, N., D’Cunha, N. M., Naumovski, N., Kent, K., Mellor, D., Firth, J., Georgousopoulou, E. N., Dean, O. M., Loughman, A., Jacka, F. N., & Marx, W. (2020). The effect of blueberry interventions on cognitive performance and mood: A systematic review of randomized controlled trials. *Brain, Behavior, and Immunity*, 85, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2019.04.001>

Voinea, L., Badea, A. M., Dina, R., Popescu, D. V., Bucur, M., & Negrea, T. M. (2025). Perspectives in the scientific literature

on the barriers and benefits of the transition to a plant-based diet: A bibliometric analysis. *Foods*, 14(17), 2942.

Wang, L., Lan, W., & Chen, D. (2024). Blueberry (*Vaccinium spp.*) anthocyanins and their functions, stability, bioavailability, and applications. *Foods*, 13, 2851. <https://doi.org/10.3390/foods13172851>

Wang, Y., Gallegos, J., Haskell-Ramsay, C., & Lodge, J. (2022). Effects of blueberry consumption on cardiovascular health in healthy adults: A cross-over randomized controlled trial. *Nutrients*, 14, 2562. <https://doi.org/10.3390/nu14132562>

Wedick, N. M., Pan, A., Cassidy, A., Rimm, E. B., Sampson, L., Rosner, B., Willett, W., Hu, F. B., Sun, Q., & Van Dam, R. M. (2012). Dietary flavonoid intakes and risk of type 2 diabetes in US men and women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 95(4), 925–933. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.028894>

Woolf, E., Terwoord, J., Litwin, N., Vazquez, A., Lee, S., Ghanem, N., Michell, K., Smith, B., Grabos, L., Ketelhut, N., Bachman, N., Smith, M., Sayec, L., Rao, S., Gentile, C., Weir, T., Rodriguez-Mateos, A., Seals, D., Dinunno, F., & Johnson, S. (2023). Daily blueberry consumption for 12 weeks improves endothelial function in postmenopausal women with above-normal blood pressure through reductions in oxidative stress: A randomized controlled trial. *Food & Function*. <https://doi.org/10.1039/d3fo00157a>

Xu, L., Tian, Z., Chen, H., Zhao, Y., & Yang, Y. (2021). Anthocyanins, anthocyanin-rich berries, and cardiovascular risks: Systematic review and meta-analysis of 44 randomized controlled trials and 15 prospective cohort studies. *Frontiers in Nutrition*, 8, 747884. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.747884>

Zahra, N., Saeed, M., Hamid, H., Qamar, A., & Saeed, A. (2023). Nutritional composition, health benefits and potential applications of blueberry: A comprehensive review. *Innovare Journal of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.22159/ijags.2023.v11i5.48548>

Zhou, Y., Wang, T., Song, D., & Wang, A. (2018). Dietary intake of flavonoid subclasses and risk of type 2 diabetes in prospective cohort studies: A dose-response meta-analysis. *Clinical Nutrition*, 37(6 Pt A), 2294–2298. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.08.024>

