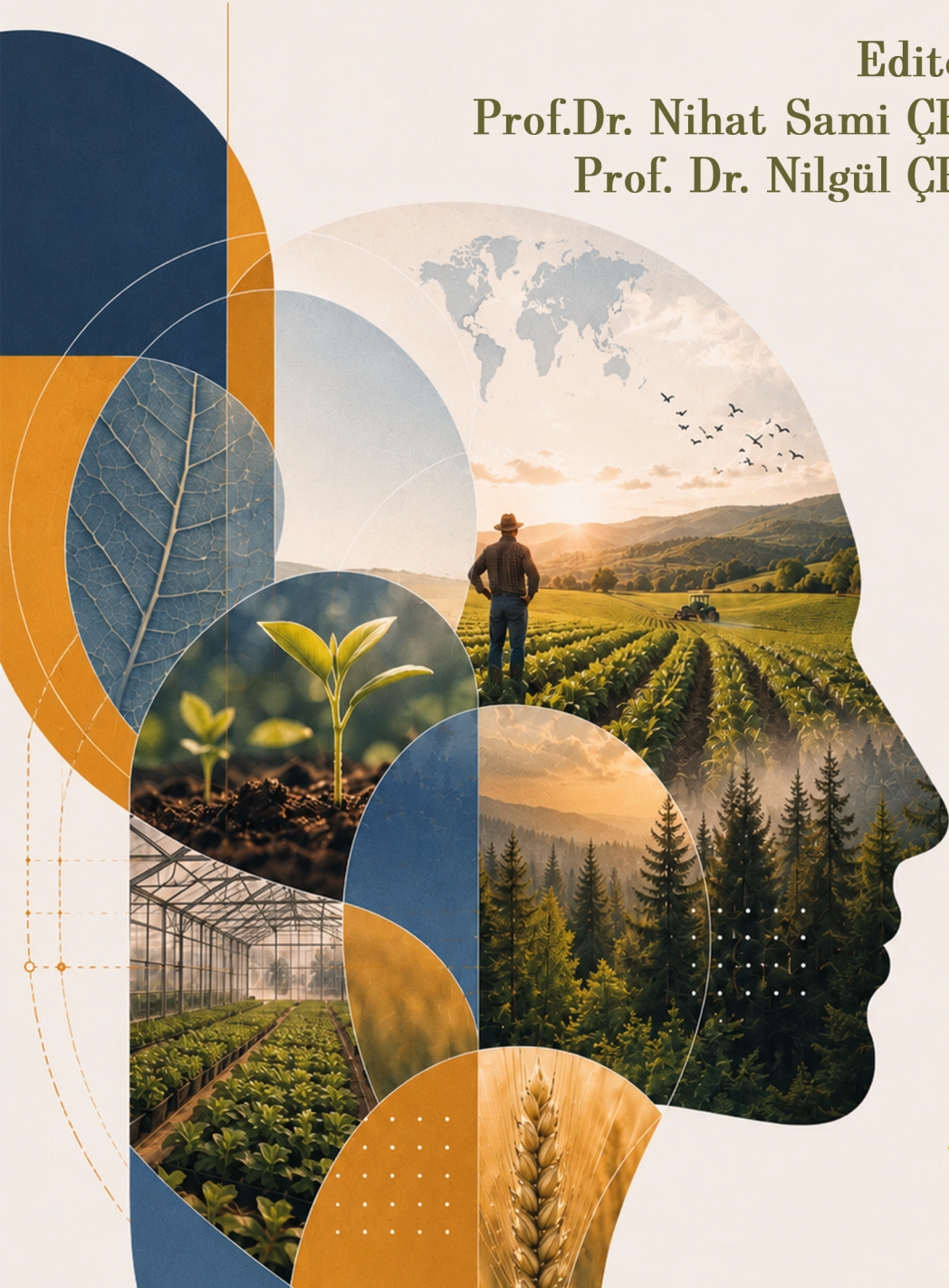


TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE GÜNCEL PERSPEKTİFLER

Editörler

Prof.Dr. Nihat Sami ÇETİN

Prof. Dr. Nilgöl ÇETİN



TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE GÜNCEL PERSPEKTİFLER

Editörler

Prof.Dr. Nihat Sami ÇETİN

Prof. Dr. Nilgöl ÇETİN



Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde Güncel Perspektifler

Editörler

Prof.Dr. Nihat Sami ÇETİN

Prof. Dr. Nilgöl ÇETİN

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Sayfa ve Kapak Tasarımı: Duvar DESIGN

Basım Tarihi: Temmuz 2026

Yayıncı Sertifika No: 49837

E-ISBN: 978-625-8936-35-3

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir. Yayınevi ve editörler sorumlu tutulamaz."

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm	1
Ekonomik Değere Sahip Tatlı Su Akvaryum Balıklarının Doğal Yaşam Alanları	
Meryem ÖZ, Dilek ŞAHİN, Ünal ÖZ	
2. Bölüm	26
Canlı Doğuranlar: Biyolojik Özellikleri, Üreme Stratejileri ve	
Akvaryum Yetiştiriciliğindeki Önemi	
Dilek ŞAHİN	
3. Bölüm	51
Sert Kabuklu Meyvelerin Biyoaktif Bileşikleri ve	
İnsan Sağlığına Etkileri	
Ersin GÜLSOY, Mustafa Kenan GEÇER	
4. Bölüm	66
Geçiş Dönemi Beslemesinde Enerji ve Mineral Kaynaklarının Metabolik	
Hastalıklarla İlişkisi	
Yaşar Deray SAYGI	
5. Bölüm	78
Kimyasal Mücadeleye Alternatif Biyokontrol: Bakteriyel Antagonizmada	
Sekonder Metabolitler ve Etki Mekanizmaları	
Sevda UÇAR, Şeyma ALIM, Neslihan DİKBAŞ	
6. Bölüm	100
Ormanların Tatlı Su Ekosistemlerinin Yapısı, İşleyişi ve Sürdürülebilirliği	
Üzerindeki Düzenleyici Rolü	
Mustafa İlker SÜRER, Nilüfer YAZICI	

7.Bölüm128

Orman Alanlarında Erozyon Kontrolünün Su Ürünleri Üzerindeki Etkisi

Mustafa İlker SÜRER, Nilüfer YAZICI

8. Bölüm149

Dalış Öncesi Hazırlık Süreci ve Dalgıç Güvenliği

Cengizhan AYDOĞAN, Serap SALER

9. Bölüm172

Akdeniz Dağ Peyzajlarında Jeolojik Ana Kaya,

Topraklar ve Bitki Örtüsü Arasındaki İlişkiler

Serkan SABANCI

10. Bölüm200

A Fıstık Çamı (*Pinus Pinea L.*) Ağaçlandırmaları:

Isparta Yöresi Örneği

Yunus ESER

11. Bölüm213

Türkiye Gökarnları (*Abies Ssp.*) ve Bazı Silvikültürel Çalışmalar

Yunus ESER

1. Bölüm

Ekonomik Değere Sahip Tatlı Su Akvaryum Balıklarının Doğal Yaşam Alanları

Meryem ÖZ¹, Dilek ŞAHİN², Ünal ÖZ³

1. Giriş

Akvaryum; sucul canlıların doğal ortamlarının dışında, arzu edilen herhangi bir alanda ve koşulda, tüm yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebildikleri ve gözlemlenebildikleri düzenekleri ifade etmektedir. Akvaryum, genellikle camdan yapılan veya cam duvarlara sahip olan, içerisinde yaşayan sucul hayvan ve bitkilerin kolay ve uzun süreli olarak gözlemlenmesine olanak sağlayan bir kaptır. Aynı zamanda bu canlıların bakımı, korunması ve üretimi için kontrollü bir ortam sağlar. Süs balıkları; sahip oldukları farklı renk, form ve davranış özellikleri nedeniyle doğanın dikkat çekici canlıları arasında kabul edilmektedir. Süs balığı yetiştiriciliği ve akvaryum hobisi, dünya genelinde en yaygın hobilerden biri olarak değerlendirilmektedir ve akvaryum meraklılarının sayısı giderek artmaktadır. Rekreatif ve estetik değerinin yanı sıra süs balıkları sektörü; girişimcilik, istihdam ve gelir elde etme açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Akvaryum hobisi günümüzde, insanların normal yaşam koşullarında gözlemleme olanağı olmayan sucul canlıları yaşam alanlarında gözlemleme ve araştırma olanağını, binlerce canlı türüyle karşılayabilecek seviyeye ulaştırmıştır (Premdass ve ark., 2016; Sharma, 2020; Öz ve ark., 2024).

Yüzyıllar önce, tüketim amacıyla doğal su kaynaklarından yakalanan sucul canlıların, tüketilinceye kadar canlılığının/tazeliğinin korunmaya çalışılması amacıyla su dolu kaplarda tutulması, bu hobinin öncülüğünü yapmıştır. Çin’de Song hanedanlığı dönemlerinde, doğada çeşitli sebeplerle renk bakımından mutasyona uğramış Cyprinidae familyasına ait bazı balık türlerinin kutsal sayılması ve bahçe havuzlarında barındırılmasıyla ilk süs balıkları olarak kabul edilen altın balık (Goldfish; *Carassius auratus*)) bu hobinin öncülüğünü yapmıştır. Altın balığa benzer şekilde Japonya’da da su mücevherleri olarak adlandırılan Cyprinidae familyasının üyesi olan süz sazanı koi (Nishikigoi,

¹ Doç. Dr., Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, meryemoz@sinop.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-7803-8207>

² Doç. Dr., Sinop Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, dsahin@sinop.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4454-9030>

³ Doç. Dr., Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, unaloz@sinop.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1918-3284>

Cyprinus carpio) varyetelerinin ilk bireyleri, süs balıkçılığında öncü türler arasında yer almıştır. Anabantidae veya Osphronemidae familyasında yer alan, labirentli balıkların en önemli üyesi olan gurami, beta (kavgacı siyam balığı) (*Betta* sp.) ve cennet balığı (*Macropodus* sp.) türleri, su dışından da oksijen alabilme özellikleri sayesinde uzak mesafelere taşınabilen ve akvaryumlarda bakılabilen ilk akvaryum balıkları arasında yer almışlardır (Premdass ve ark., 2016; Watson ve ark., 2019).

Tayland'da, Siyam dövüş balığı (*Betta splendens*) "Ulusal Su Hayvanı" ilan edilmiştir (Sermwatanakul, 2019). Bu türün vahşi popülasyonu Tayland ve diğer komşu Güney Asya ülkelerinde yaşamaktadır, kültüre alınmış *Betta splendens* türü ise canlı renkleri ve erkeklerin kavgacı doğası ve güzelliği nedeniyle küresel olarak önemli bir süs balığı türü haline gelmiştir. Vahşi doğada, Siyam dövüş balığı sığ sularda yaşar ve su kalitesinin düşük olduğu yerlerde bile hayatta kalır. Çiftliklerde, yumurtadan çıktıktan yaklaşık 2 ay sonra, erkek balıklar saldırganlıktan kaynaklanan yaralanmaları önlemek için küçük kaplarda tek tek yetiştirilir. Bu davranışlar genellikle vücut renginin yoğunlaşması ve yüzgeçlerin genişlemesiyle başlar ve solungaç kapaklarının açılması ve ısırma kadar gelişebilir (Thongprajukaew ve ark., 2023).

Amerika Kıtası kökenli Poeciliidae familyasının üyesi olan, canlı doğuran türlerinden lepistes balıkları daha sonraki tarihlerde evcilleştirilen ve akvaryumlarda barındırılabilen türler arasındaki yerini almıştır.

Doğada, başarılı bir evrimleşme süreci geçiren Afrika bölgesinin çiklit balıkları, insan kontrolü altında kurulan akvaryum şartlarında da başarılı bir uyum süreci geçirmiştir. Bu öncü türlerin yanı sıra, kontrollü koşullar altında da yaşama ve üreme becerisi gösteren Amerika kıtası kökenli Cichlidae familyasından çiklit balığı türleri, Siluriformes takımının Loricariidae familyasından Vatoz balığı (*Hypostomus* sp, Cüce vatoz *Ancistrus* sp.)) ve Callichthyidae çöpçü balığı türleri (*Corydoras* sp.); Characidae familyasında tetra balığı türleri (*Paracheirodon* sp.), Asya kıtası kökenli Cyprinidae familyasından Zebra balığı (*Danio* sp.), Asya Kıtası kökenli Cyprinidae familyasının üyelerinden barb türleri de (*Puntius tetrazon*), günümüzün en bilindik ve ticari öneme sahip tatlı su akvaryum balığı türlerini oluşturmaktadırlar.

Tatlı su balıkları, küresel omurgalı türlerinin yaklaşık üçte birini oluşturur ve endişe verici bir şekilde en çok tehdit altında olan gruplar arasındadır (Fricke ve ark., 2023). Tatlı su balığı popülasyonlarının korunması ve yönetimi, özellikle tehdit altındaki veya endemik türler olmak üzere birçok türün balıkçılık, yaşam döngüsü özellikleri ve popülasyon durumu hakkındaki yetersiz bilgi nedeniyle genellikle sınırlı kalmaktadır (Cooke ve ark., 2016; Renjithkumar & Roshni

2026). Doğal kaynakların sürdürülebilir korunması için bilimsel yönetim stratejilerinin geliştirilmesi zorunludur (Jain ve ark., 2019). Bu stratejilerin geliştirilebilmesi türlerin doğal yaşam koşullarının tam olarak bilinmesine bağlıdır. Bu çalışmada, ekonomik önemi olan tatlısu akvaryum balıklarının doğal yaşam alanları sunulmuştur.

Tatlısu akvaryum balıkları hobisinin gelişiminde en önemli faktörler; bu sucul canlı türlerinin birbirinden ilginç renk ve vücut şekilleri sergilemelerinin yanı sıra temel yaşamsal faaliyetlerinin ilgi çekici davranışlar içermesinden kaynaklanmaktadır. Sahip oldukları yaşam alanlarına uygun davranış biçimleri ve biyolojik özellikleri, uzun yıllar süren evrimleşme süreçlerinin sonucunda ortaya çıkmıştır. Asya, Afrika ve Amerika kıtasının tatlı su kaynaklarının birbirinden çok farklı ekosistemleri; tatlı su akvaryum balıklarının birçok türüne evsahipliği yapmaktadır. Bulundukları bölgelere özgü çevresel faktörlerin çeşitliliği, türlerin çeşitliliği üzerinde etkin rol oynamıştır. Akıntı oranı yüksek bol oksijenli nehirlerden düşük oksijenli ve asidik karakterli durgun su birikintileri veya göllere kadar farklı su kaynaklarında yaşamaya adapte olmuş sucul canlı türleri, bu doğal su kaynakları içerisinde, zemin bölgesinden suyun üst katmanlarına kadar dağılım göstererek beslenme ve üreme gibi temel yaşamsal ihtiyaçlarını gerçekleştirmektedirler. Doğadan ilham alınarak oluşturulan akvaryumlarda, doğadaki bu dengelerin sağlanabilmesi hedefi gözetilmektedir. Tatlısu akvaryum balığı türlerinin genel özellikleri akvaryum düzenlemelerine de yön vermiştir. Ekonomik önemi olan bazı tatlı su akvaryum balık türleri Tablo 1’de gösterilmiştir (Corfield ve ark., 2007; Kalous ve ark., 2015; Snoeks ve ark., 2017).

Tablo 1. En çok ticareti yapılan bazı tatlı su süs balığı türleri

Tür	Familya	Orijin	Türkçe adı
<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758)	Cyprinidae	Asya	Japon balığı
<i>Corydoras paleatus</i> (Jenyns, 1842)	Callichthyidae	Amerika	Çöpçü balığı
<i>Poecilia reticulata</i> Peters, 1859	Poeciliidae	Amerika	Lepistes
<i>Xiphophorus helleri</i> Heckel, 1848	Poeciliidae	Amerika	Kılıçkuyruk
<i>Poecilia latipinna</i> (Lesueur, 1821)	Poeciliidae	Amerika	Velifera
<i>Xiphophorus maculatus</i> (Günther, 1866)	Poeciliidae	Amerika	Plati
<i>Poecilia sphenops</i> Valenciennes, 1846	Poeciliidae	Amerika	Moli

<i>Trichopodus leerii</i> (Bleeker, 1852)	Osphronemidae	Asya	İnci gurami
<i>Trichopodus trichopterus</i> (Pallas, 1770)	Osphronemidae	Asya	Üç benekli gurami
<i>Trichogaster lalius</i> (Hamilton, 1822)	Osphronemidae	Asya	Cüce gruami
<i>Betta splendens</i> Regan, 1910	Osphronemidae	Asya	Beta balığı
<i>Danio rerio</i> (Hamilton, 1822)	Cyprinidae	Asya	Zebra danio
<i>Thorichthys meeki</i> Brind, 1918	Cichlidae	Amerika	Ateş ağız çiklit
<i>Astronotus ocellatus</i> (Agassiz, 1831)	Cichlidae	Amerika	Astronot çiklit
<i>Mikrogeophagus ramirezi</i> (Myers et Harry, 1948)	Cichlidae	Amerika	Ramirezi çiklit
<i>Pterophyllum scalare</i> (Schultze, 1823)	Cichlidae	Amerika	Melek balığı
<i>Gymnocorymbus ternetzi</i> (Boulenger, 1895)	Characidae	Amerika	Siyah tetra
<i>Paracheirodon innesi</i> (Myers, 1936)	Characidae	Amerika	Neon tetra
<i>Pangasianodon hypophthalmus</i> (Sauvage, 1878)	Pangasiidae	Asya	Çizgili kedibalığı
<i>Pangio kuhlii</i> (Valenciennes, 1846)	Cobitidae	Asya	Kuhli loach
<i>Puntius tetrazona</i> (Bleeker, 1855)	Cyprinidae	Asya	Tetrazon
<i>Ancistrus dolichopterus</i> Kner, 1854	Loricariidae	Amerika	Cüce vatoz
<i>Paracheirodon axelrodi</i> (Schultz, 1956)	Characidae	Amerika	Kardinal tetra

2. Ekonomik Önemi Olan Bazı Tatlı Su Akvaryum Balıklarının Ekosistemleri

İrmak ve göl gibi su kaynaklarının oluşturduğu tatlı sular, dünyadaki toplam su hacminin küçük bir bölümünü kapsamına karşın, balık popülasyonlarının önemli bir çoğunluğuna yaşam alanı oluşturur. Tropikal sular, daha ılıman sulara kıyasla daha fazla besine sahiptir ve birçok akvaryum balığı için üreme ortamıdır. Amazon Irmağı'nda bilinen 1300'den fazla tür bulunduğu bildirilmektedir. Buna karşın daha serin su kaynakları olan Avrupa'da tür sayısı yaklaşık 192 kadardır. Amazon ırmağının yağmur ormanları ekvatorun iki ayrı yakasında uzanır ve yoğun yağmur almaları, göl, bataklık, çağlayan ve şelalelerin oluşmasına ve kendine özgü biyotoplara neden olur (Scott, 1998; Şahbaz, 2020). Ilıman bölgelerdeki ırmaklar tropikallerdekilere oranla daha düzenli bir rota izler ve

ırmakların alt bölümlerindeki sular, düz alanlar boyunca daha sakin akar ve Cyprinidler için yaşam alanı oluşturur (Scott, 1998).

Asya kıtasında çok sayıda ve farklı özelliklerde ırmak yaşam alanları bulunmaktadır. Hindistan'daki birçok ırmak mevsimsel olarak kuruyabilir. Ancak doğudaki birçok ırmak böyle mevsimlerde balıkların barınabileceği deltalara sahiptir. Bu kıtadaki birçok balık türüne, demir ve çürümüş organik maddelerce zengin karasuları, güneydoğu asya çeltik tarlalarındaki sulak alanlar, orman dere ve ırmak suları evsahipliği yapmaktadır. Brahmaputra Nehri'ndeki yerli balıkların 46 cinse, 24 familyaya ve 8 takıma ait olduğu belirlenmiştir. Cypriniformes, 21 balık türü ile en baskın takım olmuş; bunu 19 tür ile Siluriformes ve 15 tür ile Perciformes izlemiştir. Familyalar arasında ise Cyprinidae, 15 tür ile en fazla çeşitlilik gösteren familya olurken, bunu 6 tür ile Bagridae ve 5 tür ile Cobitidae takip etmiştir (Scott, 1998; Galib, 2015).

Sri Lanka, farklı iklim özelliklerine sahip bir Hint Okyanusu adasıdır. Nispeten küçük bir kara alanındaki jeo-iklimsel ve hidrolojik çeşitlilik sayesinde olağanüstü zengin bir biyoçeşitliliğe ev sahipliği yapan çok çeşitli karasal ve sucul ekosistemlere sahiptir. Ülke, adanın her yerine dağılmış tatlı su habitatlarına sahiptir. Sri Lanka'nın dağlık kesimindeki akarsu habitatları nispeten hızlı akar ve sel akarsuları olarak adlandırılır. Sri Lanka'daki tatlı su balıklarının toplam zenginliği, 44'ü endemik ve 25' i farklı bölgelerden getirilen tür olmak üzere 82 yerli türden oluşmaktadır (Jayaratne & Surasinghe, 2010).

Afrika kıtası Zaire, Nijerya, Nil ve Zambezi ırmak sistemlerinin yanı sıra, Viktoria ve Tanganyika Gölleri gibi büyük göllere dökülen kara içi ırmaklarının oluşturduğu bir yapı tarafından beslenmektedir. Afrika'nın Malawi/Nyasa, Viktoria ve Tanganyika gölleri çok sayıda Cichlidae türüne ev sahipliği yapmaktadır. İlk iki göl yapısı gereği sert ve alkali sulara sahiptir. Diğer iki göl oldukça derindir ve kayalardaki algler ve kumlu bölgelerdeki bitkiler balıklar için besin kaynağıdır ve birçok yumuşakça türüne de evsahipliği yapmaktadır (Scott, 1998; L  v  que & Paugy, 2017, Snoeks ve ark., 2017).

Orta ve Güney Amerika tropikal gölleri de kendine özgü çiklit türlerine yaşam alanı oluşturmaktadır. Tatlı suların denizle karşılaştığı yerlerde, gelgitlerle oluşan çok çeşitli habitatlarda acı su yaşam alanları da, akvaryum düzenlemelerinde kullanılan balık türlerini içine almaktadır. Suyun tuzluluğu kıyıs  al bir su kaynağında %0,1-3,6 arasında değişkenlik gösterir. Bu farklılıklar, bu tür yaşam alanlarının büyük çeşitlilikte bitki ve hayvan türlerinin yaşamasını sağlamaktadır. Java Mangrov bataklığı sık ve yayılmış köklü a  a   ve bitkiler ile suyun yavaş aktığı tatlı ve tuzlu suyun etkisinde oluşmuş habitatları oluşturmaktadır. Acı su türleri arasında; Poeciliidae familyasından Iepistes, moli türleri, leopar scat (*Scatophagus* sp.), melek/mono balığı (*Monodactylus* sp.), ok  ubalı  ı (*Toxotes* sp) yer almaktadır. Bu

habitatlara örnek; Orta Amerika kıyı deresi, Doğu Afrika Mangrov bataklığı ve Güneydoğu Asya Haliç habitatları örnek oluşturmaktadır (Scott, 1998). Genel olarak tatlı su akvaryum balıklarının dağılım gösterdikleri kıtalar Asya, Amerika ve Afrika kıtalarıdır.

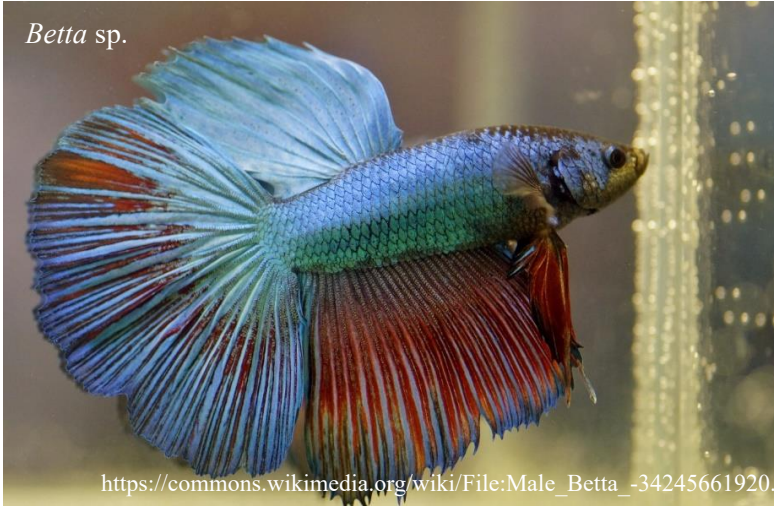
2.1. Asya Kıtası

Asya kıtası, süs balığı sektöründe yer alan ilk 3 kıta içerisinde yer alır ve çok zengin bir tatlı su biyotopuna sahiptir. Hindistan, Çin ve Japonya akvaryum balıklarının en önemli temsilcilerinin anavatanıdır.

Farklı su ekosistemlerindeki balık türü sayısı, Dünya'nın biyolojik çeşitliliğinin bir parçasıdır. Asya'da 30.700 balık türü bildirilirken, Hindistan'da 801 tatlı su balığı türü de dahil olmak üzere toplam 2.500 balık türü kaydedilmiştir. Hindistan'daki süs balığı ticareti, tatlı su süs balıkları tarafından domine edilmektedir (%90). Ayrıca, süs balığı ihracatının %95'i doğal ortama dayanmaktadır. Batı Hindistan'ın balık faunası çeşitli Barbs, Rasboralar, Killifishler, Cam Balıkları, Yayın Balıkları ve Danioları içerir (Jain ve ark., 2019).

Güneydoğu Asya'nın durgun suları çok sayıda akvaryum balığına ne çok sert ne çok yumuşak su özelliği ile doğal yaşam alanı sunmaktadır. Yavaş akan ve yoğun bir bitki örtüsüne sahip (bambu, yosun ve eğrelti otları gibi) bu dereler, organik maddelerce zengindir ve kırmızı renkte demirce zengin kaya ve kum yapısına sahiptir. Oksijence düşük yumuşak su ortamları içermektedir. Bu alanlar, Malaya, Borneo, Sumatra ve Tayland'a özgü birçok balık türünün yaşadığı alanlardır. *Trichogaster* sp. türü düşük oksijen değerleri olan alanlarda yaşayabilmesini sağlayan labirent organına sahiptirler. Bu türler, Güneydoğu Asya veya Güneybatı Afrika'daki gibi, yavaş hareketli ya da yoğun bitkili durgun sularda bulunmaktadır. Güneydoğu Asya'nın çeltik tarlaları ile bağlantılı olan sulama için kullanılan derelerin karasuları da labirentli balıkların bulunduğu alanlardır. Bu sığ su birikintilerinin zemini de yüzeyi de besin açısından oldukça verimlidir. Bu bölgelere ait akvaryumlar düzenlenirken, 24-26 °C (üreme için 28 °C) su sıcaklığı ve pH değerleri için ise 6-6,5 ideal değerlerdir. Akvaryumlar kavgacı olabilen beta balığı gibi türler için gerekli saklanma alanları oluşturulacak biçimde düzenlenmelidir. Bol bitkili ve turba torbağı ile desteklenmiş ağaç kökleri ve yaprakları kullanılmalıdır. Kum, demirce zengin kırmızı tonlarda çakıllar, nefes taşıları, dev limon (*Nomaphila* sp.), bambu (*Blyxa* sp.) kullanılabilir. Bu tür akvaryumlar için uygun balık türleri Kaplan barb/tetrazon (*Barbus tetrazon*), beta (*Betta* sp.), zebra danio (*Brachydanio* sp.), bal guromi (*Colisa* sp.), cüce guromi (*Colisa* sp.), cam kedi balığı (*Kryptopterus* sp.), cennet balığı (*Macropodus* sp.), Asya köpek balığı (*Pangasius* sp.) olarak sayılabilmektedir (Şekil 1) (Scott, 1998).

Betta sp.



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Male_Betta_-34245661920.jpg

Zebra danio



<https://animalia.bio/zebrafish>



<https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraflar/gourami>

Şekil 1. Asya kıtası tatlı su akvaryum balıklarına örnekler

Güneydoğu Asya haliçleri, diğer haliçlerde olduğu gibi ırmaklar tarafından taşınan besin açısından zengindir ve çok sayıda türe ev sahipliği yapmaktadır. Chilika Lagünü, Hindistan'ın doğu kıyısı boyunca en büyük acı su ekosistemidir ve zengin canlı kaynaklarının deposu olarak kabul edilir. Ekolojik olarak, Chilika Lagünü sığdan çok sığa kadar deniz, acı su ve tatlı su ekosistemlerinin bir araya geldiği bir topluluktur. Malaya meleği (*Monodactylus* sp.) ve skat (*Scatophagus* sp.) gibi buraya özgü türler ortamında rahatlıkla yaşamlarını sürdürmektedirler. Okçu balığı (*Toxotes* sp.), halicin kum ve çamurluk alanlardaki bitkilerin alt kısımlarında yaşamakta ve su üzerinde uçan böcekleri ustaca avlayarak beslenmektedir. Bu akvaryumlar için gerekli su sıcaklıkları 24-29 °C aralığında ve pH değerleri 8 civarındadır. Acısu karakteri tuz ilavesi ile sağlanmaktadır. Akvaryum donanımında, kum, çakıl taşı, kayrak taşları, ağaç kökleri, dev limon (*Nomaphilia* sp.), java eğrelti otu (*Microsorium* sp.), saz (*Vallisneria* sp.) kullanılabilir (Scott, 1998; Mohapatra ve ark., 2014).

2.2. Amerika kıtası

Amerika kıtası, süs balığı sektöründe yer alan ilk 3 kıta içerisinde yer alır ve çok zengin bir tatlısu biyotopuna sahiptir. Amazon havzası akvaryum balıklarının en önemli temsilcilerinin anavatanıdır.

Amazon ırmağı yağmur ormanları, çok sayıda ırmak ve derelere ev sahipliği yapmaktadır. Bu kaynaklardaki sular, kıyıya vurmuş odun parçaları bitki atıklarından dolayı genellikle asitli ve bulanık özelliklerdedir. Amazon havzası

200'den fazla kola ayrılmakta ve pekçok balık türüne doğal yaşam alanı oluşturmaktadır. Bunlar arasında bakımı oldukça zor olan diskuslar (*Symphysodon* sp.) ve en popüler tatlısu akvaryum balıklarından olan melek balığı (*Pterophyllum* sp.) türleri de bulunmaktadır. Melek balığı, nehir bitki örtüsünden yoksun veya bitkilerce yoğun, suyun ise berrak veya çamurlu olabileceği Amazon Nehri havzasının (Peru, Kolombiya ve Brezilya) taşkın alanlarında yaşar. Tür, yüksek konsantrasyonda mikrobiyal aktivite ve inorganik parçacıklarla nötr pH'tan, Amazon nehirlerinin siyah sularında asidik pH ve sınırlı mikrobiyal aktiviteye kadar farklı çevresel özelliklere tolerans gösterir (Kullander, 1986). Bölgede Rio Negro'nun uzun kolları gibi birçok karasu görülse de diskuslar, ağaç kökleri ve bitkiler arasında yaşadıkları sakin ve daha az asitli yan derelerde bulunmaktadır. Özellikle yağmur mevsiminde, Andlar'dan taşınan mineraller bu su kaynaklarında geçici değişikliklere neden olmaktadır. Bu zengin besin içerikli su ve su zemini besleyici elementler ve bitki, kum ve taş vb. gibi materyaller sayesinde diskus (*Symphysodon* sp.), kedibalıkları (*Ancistrus* sp.; *Rineloricaria* sp.), tetra türleri (kardinal, neon, kırmızı burun (*Hemigrammus* sp.), ve melek balığı (*Pterophyllum* sp.) için uygun yaşam alanını oluşturmaktadır (Şekil 2). Bu tür akvaryumların dizaynında, 26-28 °C aralığında su sıcaklığı, 6,5-7 pH aralığı saklanacak biçimde humik asit destekli materyaller, ağaç kök ve dalları, yaprakları, toprak, kum, çakıl taşları, su bitkileri (*Cabomba* sp., *Echinodorus* sp., *Myriophyllum* sp., *Eleocharis* sp.) kullanılmalı ve gölgelik alanlar oluşturulmalıdır. Bitki ve ağaç kök ve dalları yoğunluklu akvaryumlar oluşturulmalıdır (Scott, 1998; Brandão ve ark., 2021).

Symphysodon sp.



<https://www.dreamstime.com/photos-images/aquarium-diskus.html>



Şekil 2. Amerika kıtası tatlı su akvaryum balıklarına örnekler

Amazon ormanlarında asidik yapıya sahip çok sayıda gölcük bulunmaktadır. Yılın bazı dönemlerinde sel ve taşkınların etkisinde olan bu su kaynaklarında ağaç ve bitki atıkları suyun yapısı üzerine etki eder. Asidik suların etkisindeki bu gölcüklerde suyun rengi koyulaşmış ve oksijen seviyeleri düşmüştür. Bu gölcükler cüce çiklit türlerine (*Apistogramma* sp.) ev sahipliği yapmaktadır. Bu türlere ek olarak sürüler halinde aktif yüzen tetralar (kardinal (*Cheirodon* sp.)),

hayalet (*Megalampodus* sp.), neon (*Paracheirodon* sp.), limon (*Hyphessobrycon* sp.) ve dipte gezinen kedi balıkları (*Corydoras* sp.) bu biyotopun ana türlerini oluştururlar. Brezilya bölgesi Amazon havzası; Siluriformes takımı içinde, *Hypancistrus zebra* türü sayı bakımından en önemli tür olurken, bunu *Corydoras* sp. (Callichthyidae) ve *Ancistrus* sp. (Loricariidae) türleri takip etmektedir. *Hypancistrus zebra*, Xingu Nehri'nin çok sınırlı bir bölümüne özgü bir Loricariid türüdür ve süs balığı ticaretinde yüksek değere sahiptir. Doğal popülasyonları 1980'lerin sonlarından beri yüksek av baskısına maruz kalmıştır. Characiformes takımı için ise, *Paracheirodon axelrodi* türü en çok ele geçirilen tür olmuştur. Bu balık türlerinin akvaryumların dizaynında, 24 °C aralığında su sıcaklığı, 6,5-7 pH aralığı saklanacak biçimde humik asit destekli materyaller, ağaç kök ve dalları, yaprakları, toprak (turba), kum, çakıl taşları, su bitkileri (*Cabomba* sp., *Echinodorus* sp., *Myriophyllum* sp., *Eleocharis* sp.) kullanılmalı ve gölgelik alanlar oluşturulmalıdır. Çakıl taşları ile ağaç kök ve dalları yoğunluklu az bitkili akvaryum alanlarıda oluşturulmalıdır (Scott, 1998; Beltrao ve ark., 2021; Barros ve ark., 2023).

Orta Amerika kayalık göllerinden, Amerika'da Nikaragua, Managua ve Atitland Gölleri oldukça derindir ve eğimli ve sert kayalıklı kıyıları hem sert hem de alkali su özelliği sağlamakta ve bu krater göllerinde birçok gözalcı çiklit ve kedibalığı türü yaşamaktadır. Bol kayalık alanlardan oluşan bu akvaryumlarda su sıcaklığı 27-29 °C ve pH 8 civarındadır. Bu bölgeye özgü çiklit türleri kıyılardaki kayalık alanları yaşam alanı olarak sahiplenirler. Vatoz balıkları bu tür çiklitlerle bir arada yaşamak için uygun türlerdir. Genelde bitki tercih edilmez, ancak güçlü yapıdaki bitkiler (java eğrelti otu (*Microsorium* sp.)) kullanılabilir. Kum, çakıl, kayalar akvaryum dizaynında ana unsurlar olarak kullanılmalıdır. Bu bölgeye özgü balık türleri arasında Jaguar çiklit, kırmızı ağız çiklit, Nikaragua çiklit gibi *Cichlasoma* sp. türleri; emici vatoz (*Hypostomus* sp.), yelken yüzgeçli vatoz (*Pterygoblichthys* sp.) bulunmaktadır (Scott, 1998).

Havza yüzölçümü bakımından Negro, Amazon'un ikinci büyük koludur. Yaklaşık 700.000 km²'lik bir alanla bu nehir, Amazon Havzası'nın %10,2'sini oluşturmaktadır. Aynı zamanda kimyasal özellikler bakımından Negro, dünyadaki en büyük "kara su" nehridir. Çözünmüş katıların ve asılı çökellerin konsantrasyonlarının son derece düşük olduğu nehirde, organik fazdaki asılı çökelti, igapo olarak adlandırılan ve mevsimsel olarak sular altında kalan bataklık ve sık ormanlardan nehre dâhil olmaktadır (Brinkmann, 1986). Nitekim kara su nehirlerinin en önemli özelliği; ormanlık, bataklık ve sulak alanlardan yavaşça akmalarıdır. Bu nedenle suda çürüyerek akarsuya dâhil olan vejetasyon, nehre koyu bir renk vermenin yanında asidik bir özellik de kazandırmaktadır (Padmalal & Maya, 2014). Bu da söz konusu nehre, Latince kara anlamına

gelen, Negro isminin verildiğini açıklamaktadır. Xingu Nehri, 508.046 km²'lik yüzölçümüyle Amazon Havzası'nın %7,4'ünü oluşturmaktadır. Kaynakları Brezilya Kalkanı ile sınırlanan Xingu, sahip olduğu drenaj alanıyla Amazon'un en büyük temiz su koludur. Bunda nehrin, yüz milyonlarca yılda iklim olaylarının yumuşak çökeltileri yıkaması sonucunda ortaya çıkardığı, kristalimsi temel kayalar üzerinde akması etkilidir (Şahbaz, 2020)

Orta Amerika kıyı deresi, Orta Amerika'da birçok dere ve nehirler yavaş veya hızlı akıntılı kıyusal alanlarda acı su karakterindedir. Mineral açısından zengin olan ırmakları, kireçtaşı kaynağı olan Sierra Madre Dağları beslemektedir. Dereler, bitkisel alanların etkisinde iken asidik, haliçlerde sert ve alkalın bir yapı göstermektedir. Acısu bölümlerinde kedibalıkları (plankton kedi balığı (*Hypophthalmus* sp.), ve canlı doğuran türlerinin (lepistes, moli, kılıçkuyruk, plati) yanı sıra çiklit türleri Acara çiklit (*Aequidens* sp.), severum çiklit (*Cichlasoma* sp.) bulunmaktadır. Bu akvaryumlar düzenlenirken, 25 °C ve üzerindeki su sıcaklığı ve 7-7,4 pH değerleri uygundur ve suya uygun miktarlarda tuz eklenmelidir. Kum, taşlar ve bitkiler (*Cabomba* sp., *Vallisneria* sp.) donanım için uygundur (Scott, 1998).

Poeciliidler küçük ve yanlardan basık cyprinodontiform balıklardır. Vücut formları değişkenlik göstermektedir. Boyutları minik *Fluviphylax palikur* türünden (kaydedilen maksimum yetişkin boyutu: 13,9 mm) 200 mm'ye ulaşan grubun devi *Belonesox belizanus* türüne kadar son derece değişkendir. Poeciliidler, Amerika ve Afrika kıtalarının tatlı ve acı sularında yaşayan 299 geçerli türden oluşur. Poeciliidae türleri Kuzey ve Orta Amerika, Karayipler, Güney Amerika'dan Kuzey Arjantin, Kongo havzası ve Afrika rift gölleri, Dar es Salaam ve Madagaskar'a kadar uzanır (Lucinda, 2003).

Kuzey Amerika'ya özgü birçok canlı doğuran türü vardır. Akvaryum hobisinde yaygın olarak bilinen diğer iki canlı doğuran *Gambusia affinis/holbrooki* ve *Heterandria formosa* türleridir. Sailfin Molly (*Poecilia latipinna*) Amerika Birleşik Devletleri'ndeki evcil hayvan dükkanlarında çeşitli renk çeşitlerinde görülebilir. Kuzey Karolina'dan güneye Florida'ya ve körfez kıyısı boyunca Meksika'ya kadar Atlantik kıyısında doğal olarak bulunur. Doğada, bunlar genellikle acı su balıklarıdır ve nadiren doğrudan tatlı suda bulunurlar (Williamson, 1996).

2.3. Afrika kıtası

Afrika kıtası, süs balığı sektöründe yer alan ilk 3 kıta içerisinde yer alır ve çok zengin bir tatlısu biyotopuna sahiptir. Tanganyika, Viktoria ve Malawi gölleri akvaryum balıklarının en önemli temsilcilerinin anavatanıdır.

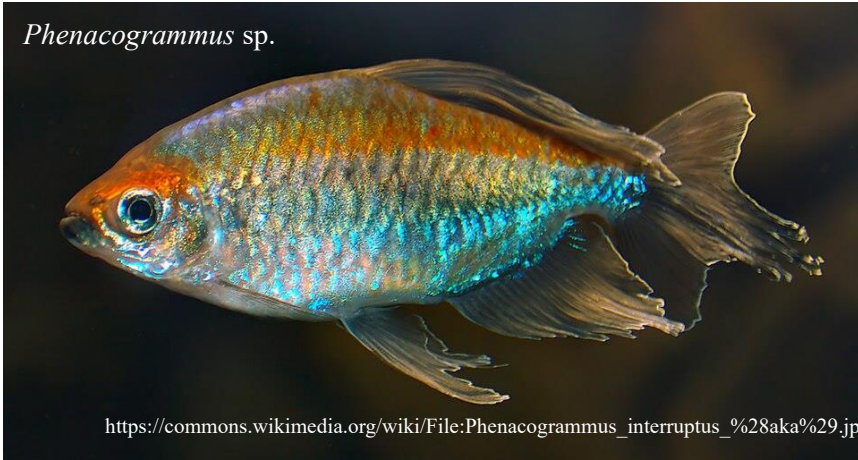
Kayalıklarda yaşayan Victoria Gölü çiklitlerinin, herhangi bir kayalık alanda 7 ila 20'den fazla farklı türünün olduğu bildirilmektedir. Victoria Gölü'nün kayalık yaşam alanları, devasa su kütleleri tarafından sular altında bırakılan oldukça eski bir yapıdır. Bu nedenle baskın kaya oluşumu, yalnızca yeni çatlaklarda keskin kenarlar gösteren ve açık- orta koyu gri renkte, güçlü bir şekilde aşınmış, su ve hava koşullarıyla şekillenmiş granittir. Belirli mikro dağılımı belirleyen fiziksel parametreler su derinliği, mağara ve yarıklar şeklinde barınak miktarı, rüzgâr ve dalgalara maruz kalma ve kıyıdan uzaklıktır. Çoğu kayada yaşayan çiklitin doğal yaşam alanında bitkiler nadiren yetişir. Yine de bazı dayanıklı türler bir kaya çiklit akvaryumunu daha çekici hale getirmeye uygundur. Vallisneria, Ceratophyllum ve Najas sıklıkla Victoria Gölü'nün kumlu ve çamurlu kıyı habitatlarında bulunur. Malawi Gölü'ndeki balıkçıların koyu veya parlak renkli kaya çiklitlerini topluca belirtmek için kullandıkları Tumbuku dilindeki Mbuna terimi, biyologlar ve akvaryumcular tarafından benimsenmiştir. Benzer şekilde, güney Victoria Gölü'ndeki balıkçılar da Victoria kaya çiklitleri için toplu bir isim kullanmaktadır: Mbipi. Güneybatı göl bölgesindeki balıkçılar arasında en yaygın konuşulan dil olan Kisukuma dilinde Mbipi, "koyu renkli olanlar" anlamına gelir (Seehausen, 1996).

Dünyanın 9. Afrika'nın 3. büyük gölü olan Malawi Gölü'nün dünyadaki diğer göllerden daha fazla balık türüne sahip olduğu bildirilmektedir ve tanımlanan türlerin sayısı her taksonomik araştırmayla önemli ölçüde artmaktadır (Ribbink, 2001). Göl havzasında 14 aile temsil edilmektedir ve bunlardan Cichlidae ailesi tür zenginliği, çeşitliliği ve sayısal bolluğu açısından baskındır. Göl havzasındaki Cichlidae, iki ana filogenetik soydan oluşur: tilapiinler ve haplochrominler. Tilapiinler, Oreochromis ve Tilapia cinslerinden oluşur. Tilapia cinsinin tek temsilcileri, gölün kendisinden ziyade çevre lagünlerinde bulunan *Tilapia sparrmanii* ve *Tilapia rendalli* olmak üzere iki endemik olmayan türdür. Oreochromis, dört üyeden oluşan küçük, endemik bir tür sürüsüyle temsil edilir. Geriye kalan tüm çiklitler, 39 cins ve 700 ila 800 tür içeren haplochrominlerdir (Turner ve ark., 2001). Tüm haplochrominler, periferik lagünlerdeki *Pseudocrenilabrus philander* hariç, endemiktir. (Weyl ve ark., 2010).

Afrika Rift Gölleri jeolojik olarak uzun ömürlüdür. Yaklaşık 12 milyon yıl öncesine dayanan (Cohen ve ark., 1993) Tanganyika Gölü, Afrika Rift Gölleri'nin en eskisi olup Rusya'daki Baykal Gölü'nden sonra dünyanın en eski ve en derin ikinci gölüdür. Tanganyika Gölü yaklaşık 220.000 km²'lik bir su toplama alanını boşalır. Çok sayıda küçük ve iki büyük akarsu tarafından beslenir: Kuzeyde Kivu Gölü'nü boşaltan Rusizi ve Victoria Havzası'nın güneyinde Batı Tanzania'yı boşaltan Malagarasi. Bu ekosistem, dikkate değer bir faunaya ev sahipliği yapar. Afrika Büyük Göllerinin tamamı dünyaca ünlü çiklit balığı tür sürülerine ev

sahipliği yaparken, Tanganyika Gölü çiklit balığı tür sürülerine (250+ tür) ek olarak çiklit olmayan balık tür sürülerine (145+ tür) ve gastropodlar (60+ tür), çift kabuklular (15+ tür), ostrakodlar (84+ tür), dekapodlar (15+ tür), kopepodlar (69+ tür), sülükler (20+ tür) ve süngerler (9+ tür) dahil omurgasız organizmalara ev sahipliği yapmaktadır (Coulter, 1994). 1.300'den fazla bitki ve hayvan türüyle Tanganyika Gölü, dünyanın en zengin tatlı su ekosistemlerinden biridir. Neredeyse kapalı bir ortamda uzun süre bir arada yaşayan çok sayıda türün ilginç evrimsel kalıplar ve davranışlar göstermesi beklenebilir. Bunlar arasında morfolojik olarak benzer ancak genetik olarak farklı türler, genetik olarak benzer ancak morfolojik olarak farklı türler, yırtıcı hayvanlara karşı sağlam zırh geliştiren türler, mevcut her trofik nişi kullanmak için çene morfolojisinde çeşitlenen türler ve yuvalama, ağızda kuluçka ve yavru parazitliği gibi karmaşık üreme ve ebeveyn bakımı stratejileri benimsemiş türler yer alır. Karmaşık ve türetilmiş kalıplar ve davranışlar sergileyen çok sayıda türüyle Tanganyika Gölü, ekolojik, davranışsal ve evrimsel soruları araştırmak için doğal bir laboratuvarıdır (Allison ve ark., 2000).

Tropikal Batı Afrika'daki Zaire Irmağı (Kongo); bataklıklar, şelaleler, mangrow haliçleri ile birçok sucul canlı türüne yaşam alanları oluşturmaktadır. Bazı çiklit türleri ve *Nanochromis* türleri güçlü akıntılı alanlara uyum sağlamış türler arasındadır. Ayrıca, cam kedibalıklarında bu bölgenin türleri arasında yer almaktadır. Bu tür akvaryuların dizaynında, 25-27 °C aralığında su sıcaklığı, 7-7,5 pH aralığında su değerleri sağlanmalı, bol taş ve kaya parçaları ile dekore edilmeli ve uygun bölgelerde akıntı oluşturacak ve oksijen değerlerini arttıracak ve kayalar arasındaki alanlarında temizlenmesi sağlayacak filtreler kullanılmalıdır. Kum (beyaz tonlarda) ve çakıl taşlarından oluşan bir yatak, büyük taş (necef taşları gibi) ve kayaların, yerleştirilmesi yardımcı olacaktır. *Anubias* sp., *Bolbitis* sp. gibi kendini kayalara tuturabilen ve güçlü dal ve yaprak yapısına sahip olan bitkiler tercih edilmelidir. Uygun balık türleri arasında, Afrika cam kedibalığı (*Eutropiellus* sp.), kelebek çiklit (*Hemichromis* sp.), Kongo tetra (*Phenacogrammus* sp.), ters yüzen kedi balığı (*Synodontis* sp.) sayılabilir (Şekil 3) (Scott, 1998).



Şekil 3. Afrika kıtası tatlı su akvaryum balıklarına örnekler

Doğu Afrika Kayalık Gölü, Afrika'daki Albert gölü ve Tanganyika gölü oldukça derin göllerdir. Albert Gölü'nde 48 tür kaydedilmiştir; bunların arasında 37'si cichlid olmayan türler ve sadece 11'i cichlid olup, bunlardan yedisi haplochromine'dir. Çöküntü yapısındaki göller genellikle dik kıyılara sahiptir ve gölün su çizgisinin hem altı hem üstü kayalıktır. Kıyı bölgeleri ve gölün üst katmanlarında kumlu alanlarda bulunmaktadır. Bu göllerde yaşayan balıklar genellikle gölün 50 metrelik üst kısmında dağılım göstermektedirler. Balık faunasının çoğu çiklit türlerinden oluşmaktadır. Bu bölgenin akvaryumları düzenlenirken, 26 °C civarında su sıcaklığı ve pH 8.6-9 gibi değerler sağlanmalı ve çok akıntılı olmayan durgun su alanları oluşturulmalıdır. Akvaryumlarda bitki kullanımı önerilmemekte, yuva alanları oluşturacak kayalık alanlar ve kum

ağırlıkta olmalıdır. Mercan kumu, boş salyangoz kabukları, düz ve katmanlı kayalar, necef taşları doğal ve uygun dekorasyon materyalleridir. Uygun balık türleri ise, Frontosa çiklit (*Cyphotilapia* sp.), Dickfeldi çiklit (*Julidochromis* sp.), Duboisi çiklit (*Tropheus* sp.), kedi balığı (*Synodontis* sp.) (Scott, 1998; Snoeks ve ark., 2017).

Bu göllerdeki balık topluluklarının genel yapısını belirleyen temel faktörler derinlik ve substrat tipidir. Balıkların derinlik dağılımı oksijen tabakasıyla sınırlıdır. Bu nedenle daha derin göllerde (Tanganyika, Malawi, Kivu), balıklar göl hacminin sadece küçük bir kısmını, yani derinliği gölden göle değişen üst oksijenli tabakayı işgal eder. Tanganyika ve Malawi göllerinde, balık bileşimi derinlikle açıkça değişir ve her iki göl de tipik bir derin su bentik balık faunasına ev sahipliği yapar. Pelajik türler, yiyecek arayışında günlük dikey göçler gerçekleştirebilir. Substrat tipi, balık topluluğu yapısındaki farklılıkların yatay bileşenini büyük ölçüde belirler. Gerçekten de çoğu gölde, balık toplulukları çamurlu, kumlu, kayalık ve ara habitatlar arasında büyük ölçüde farklılık gösterir. Birçok çiklit türü belirli bir habitatla içsel olarak bağlantılıdır ve stenotop olarak adlandırılır; diğerleri çeşitli habitatlarda bulunur ve öritop olarak adlandırılır. Kayalık habitatları tercih eden balıklara litofilik; kumlu habitatlar için tipik olanlara ise psammofilik denir (Snoeks ve ark., 2017).

Doğu Afrika Mangrov Bataklığı özellikle ana ırmakların haliçlerinde yer alır. Mangrov ağaçlarının çoğu kökü havada yayılmakta ve yosunlarla kaplanmaktadır. Bu ağaçların yetiştiği bataklığın kumlu ve çamurlu yatağı gelgitler sonucu sürekli hareket halindedir. Bu habitatlara özgü çamur zıpzıpları (*Periophthalmus* sp.) suyun dışındaki çamurlu alanlarda da yaşayabilme yeteneğindedir (Şekil 4).



Şekil 4. *Periophthalmus barbarus*

Periophthalmus barbarus, Afrika'nın tropikal Atlantik kıyıları, Hint Okyanusu ve Batı Pasifik Okyanusu'na özgü bir çamur zıpzıptır. Afrika çamur balığı veya Atlantik çamur balığı olarak da bilinen *Periophthalmus barbarus*, mangrov ekosistemlerine ve gelgit çamur düzlüklerine son derece uyarlانmış, Gobiidae familyasına ait amfibik bir balıktır. Atlantik çamur balığı (*Periophthalmus barbarus*), Çoğu balık türünün aksine, *P. barbarus*, karada hareket etmesini sağlayan değiştirilmiş göğüs yüzgeçleri ve hem suda hem de karada nefes almasını sağlayan çift solunum sistemi gibi karasal aktivite için özel adaptasyonlar sergiler. Gelgit düzlükleri ve mangrov ormanları da dahil olmak üzere tatlı, deniz ve acı sularda yaşarlar ve sudan çıktıklarında çamur ve kum üzerinde kolayca hareket edebilirler. Çamur zıpzıptı, Angola, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Kamerun, Nijerya ve Gana dahil olmak üzere birçok Afrika ülkesinde bulunur. Bu bölgelerdeki dağılımları, yiyecek ve barınak mevcudiyetine bağlıdır. Ayrıca, kış uykusu kapasiteleri coğrafi dağılımlarını etkileyebilir. Su sıcaklığı 24-29 °C aralığında, pH değerleri 8 civarındadır. Akvaryum düzenlenmesinde suyun acı su karakteri tuz ilavesi ile sağlanmalıdır. Akvaryum dizaynında, kara ve suyun birleşimini görselleştirmek için açık renklerde kum, kayalar, neceftaşları, bataklık, ağaç kök gövde ve dalları, mangrov kökü ve dalları ve bitkisi (*Bruguiera* sp., *Rhisophora* sp., *Sonneratia* sp.), ölü mercan ve kabukları kullanılabilir (Blessing, 2024; Nathaniel ve ark., 2024).

3. Sonuç

Tatlı su akvaryum balıkları, sahip oldukları renk, vücut formu, davranış ve üreme özellikleriyle dünya genelinde önemli bir ekonomik ve rekreasyonel değere sahiptir. Bununla birlikte, bu türlerin akvaryum koşullarında başarılı biçimde yetiştirilebilmesi, yalnızca temel su kalitesi parametrelerinin uygun aralıklarda tutulmasına değil, aynı zamanda doğal yaşam alanlarının ekolojik özelliklerinin doğru biçimde anlaşılmasına bağlıdır. Türlerin köken aldığı ekosistemlerdeki su sıcaklığı, pH, sertlik, çözünmüş oksijen, akıntı hızı, substrat yapısı, bitki örtüsü, saklanma alanları ve besin kaynakları, uzun süren evrimsel süreçler sonucunda onların morfolojik, fizyolojik ve davranışsal özelliklerini şekillendirmiştir. Bu nedenle akvaryum düzenlemelerinde türlerin doğal habitat özelliklerinin dikkate alınması; sağlık, refah, büyüme, üreme ve yaşama oranı bakımından temel bir gereklilik olarak değerlendirilmelidir.

Ekonomik öneme sahip tatlı su akvaryum balıklarının doğal dağılım alanları incelendiğinde, tür çeşitliliğinin büyük ölçüde Asya, Amerika ve Afrika kıtalarında yoğunlaştığı görülmektedir. Asya kıtası; yavaş akan dereler, çeltik tarlaları, bataklıklar, nehir deltaları ve haliçler gibi birbirinden farklı habitatlarıyla Cyprinidae ve Osphronemidae başta olmak üzere çok sayıda familyaya yaşam alanı sağlamaktadır. Beta, gurami, zebra balığı, tetrazon ve çeşitli kedibalığı türleri, bölgedeki düşük oksijenli, bitki ve organik madde bakımından zengin ya da acı su karakterli ekosistemlere uyum göstermiştir. Özellikle labirent organına sahip türlerin oksijen düzeyi düşük sularda yaşamlarını sürdürebilmeleri, doğal habitat koşullarının türlerin anatomik ve fizyolojik adaptasyonları üzerindeki belirleyici rolünü açıkça ortaya koymaktadır.

Amerika kıtası, özellikle Amazon Havzası, Orta Amerika gölleri, kıyısız dereler ve haliç sistemleriyle akvaryum balıkları bakımından son derece zengin bir biyolojik çeşitliliğe sahiptir. Amazon'un kara su, berrak su ve taşkın alanları; tetra, melek balığı, diskus, cüce çiklit, Corydoras ve Loricariidae üyeleri gibi ticari değeri yüksek birçok türe doğal yaşam alanı oluşturmaktadır. Bu habitatlarda suyun genellikle yumuşak, asidik veya nötre yakın olması; ağaç kökleri, yaprak döküntüleri, kum, ince çakıl ve yoğun bitki örtüsüyle birlikte gölgeli alanların bulunması, bölgeye özgü türlerin akvaryum ortamındaki gereksinimlerinin belirlenmesinde yol göstericidir. Bunun yanında Orta Amerika'nın kayalık ve alkali gölleri ile kıyısız acı su sistemleri, farklı çevresel koşullara uyum sağlamış çiklitler, canlı doğuranlar ve kedibalıkları için özgün habitatlar sunmaktadır. Poeciliidae familyasına ait lepistes, moli, plati ve kılıçkuyruk gibi türlerin hem tatlı hem de acı su ortamlarında dağılım

gösterebilmesi, bu grubun geniş çevresel toleransını ve akvaryum yetiştiriciliğindeki başarısını açıklayan önemli bir özelliktir.

Afrika kıtası ise özellikle Victoria, Malawi ve Tanganyika gibi Büyük Rift Gölleri ile Kongo Nehri ve mangrov ekosistemleri bakımından dikkat çekmektedir. Bu göller, yüksek endemizm oranı ve özellikle Cichlidae familyasının gösterdiği olağanüstü türleşme nedeniyle dünya tatlı su ekosistemlerinin en önemli biyolojik çeşitlilik merkezleri arasında yer almaktadır. Su derinliği, oksijenli tabakanın kalınlığı, substrat tipi, kayalık veya kumlu alanların dağılımı ve mağara benzeri barınakların varlığı, Afrika göllerindeki balık topluluklarının yapısını doğrudan belirlemektedir. Kayalık habitatlara bağlı türler ile kumlu alanlara uyum sağlamış türlerin akvaryum koşullarında farklı çevresel düzenlemelere gereksinim duyması, doğal yaşam alanı bilgisinin tür bazlı yetiştiricilik uygulamalarındaki önemini göstermektedir. Benzer biçimde, Kongo Nehri'nin akıntılı ve oksijence zengin kesimleri ile Doğu Afrika mangrov bataklıklarının acı su özellikleri, bu bölgelerde yaşayan türlerin akvaryum ortamında farklı su kalitesi ve donanım koşullarına ihtiyaç duymasına neden olmaktadır.

Çalışmada ele alınan habitatlar birlikte değerlendirildiğinde, tatlı su akvaryum balıkları için tek tip bir yetiştiricilik veya akvaryum düzenleme yaklaşımının yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Türlerin doğal kökenleri dikkate alınmadan oluşturulan standart akvaryum koşulları; stres, saldırganlık, hastalıklara duyarlılık, yetersiz büyüme, üreme başarısında azalma ve davranış bozuklukları gibi sorunlara yol açabilir. Buna karşılık, suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri ile habitatın yapısal unsurlarının doğal koşullara benzetilmesi, balıkların doğal davranışlarını sergilemesine ve refah düzeylerinin yükselmesine katkı sağlayacaktır. Bu kapsamda, akvaryumların yalnızca estetik amaçlarla değil, türün ekolojik gereksinimlerini karşılayacak şekilde biyotop temelli olarak düzenlenmesi önem taşımaktadır.

Tatlı su balıklarının dünya genelinde en fazla tehdit altında bulunan omurgalı gruplarından biri olması, doğal habitatlara ilişkin bilgilerin önemini daha da artırmaktadır. Akvaryum ticaretinde yer alan türlerin bir bölümünün hâlen doğal kaynaklardan temin edilmesi, habitat kaybı, kirlilik, aşırı avcılık, iklim değişikliği ve istilacı türler gibi baskılarla birlikte değerlendirildiğinde, doğal popülasyonlar üzerinde ciddi riskler oluşturabilmektedir. Bu nedenle ekonomik değere sahip türlerin sürdürülebilir biçimde yetiştirilmesi, doğadan toplamanın azaltılması, koruma programlarının geliştirilmesi ve habitat özelliklerinin bilimsel verilerle tanımlanması gerekmektedir. Türlerin doğal yaşam alanlarının bilinmesi, yalnızca akvaryum yetiştiriciliğinin teknik başarısını artırmakla kalmayacak;

aynı zamanda koruma, türlerin yeniden üretimi ve doğal stokların sürdürülebilir yönetimi açısından da önemli katkılar sağlayacaktır.

Sonuç olarak, ekonomik değere sahip tatlı su akvaryum balıklarının doğal yaşam alanları; türlerin biyolojik özelliklerini, çevresel toleranslarını ve yetiştiricilik gereksinimlerini belirleyen temel unsurlardır. Asya'nın bitkisel ve düşük oksijenli durgun suları, Amerika'nın asidik kara suları ve farklı karakterdeki nehir sistemleri ile Afrika'nın sert, alkali ve kayalık gölleri, birbirinden oldukça farklı balık topluluklarının gelişmesine olanak sağlamıştır. Başarılı ve sürdürülebilir akvaryum yetiştiriciliği için her türün köken aldığı habitatın su kalitesi, substrat, bitki örtüsü, akıntı ve barınma özellikleri birlikte değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, balık sağlığının ve refahının korunmasına, üretim başarısının artırılmasına, doğal davranışların desteklenmesine ve tatlı su balık çeşitliliğinin sürdürülebilir biçimde korunmasına katkıda bulunacaktır.

Kaynaklar

- Allison, E. H., Paley, R. G. T., Ntakimazi, G., Cowan, V. J., & West, K. (2000). *Biodiversity assessment and conservation in Lake Tanganyika*. Pollution Control and Other Measures to Protect Biodiversity in Lake Tanganyika (RAF/92/G32).
- Beltrão, H., Magalhães, E. R. S., Benzaken, Z. S., & Sousa, R. G. C. (2021). Trafficking of ornamental fish in the Brazilian Amazon. *Boletim do Instituto de Pesca*, 47, e639. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2021.47.e639>
- Blessing, M. (2024). *Habitat preferences and environmental tolerances of Periophthalmus barbarus in mangrove ecosystems of the Niger Delta* [Unpublished manuscript].
- Barros, F.J.T., Rodrigues, E.L.C., Moura, M.C.S., Torres, R.A., Paula, E.A., & Sousa, L.M. (2023). Weight-Length and Length-Length Relationships of the Endangered Zebra Pleco *Hypancistrus zebra* (Siluriformes, Loricariidae) from the Xingu River, Amazon, Brazil. *Hindawi Journal of Applied Ichthyology*, 5158180, 7 pages <https://doi.org/10.1155/2023/515818>
- Brandão, M. L., Dorigão-Guimarães, F., Bolognesi, M. C., Gauy, A. C. S., Pereira, A. V. S., Vian, L., Carvalho, T. B., & Gonçalves-de-Freitas, E. (2021). Understanding behaviour to improve the welfare of an ornamental fish. *Journal of Fish Biology*, 99, 726–739. <https://doi.org/10.1111/jfb.14802>
- Brinkmann, W. L. F. (1986). Hydrochemistry of the Rio Negro. In H. Sioli (Ed.), *The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin* (pp. 3–12). Springer.
- Cohen, A. S., Soreghan, M. J., & Scholz, C. A. (1993). Estimating the age of formation of lakes: An example from Lake Tanganyika, East African Rift system. *Geology*, 21(6), 511–514.
- Cooke, S. J., Allison, E. H., Beard, T. D., Jr., Arlinghaus, R., Arthington, A. H., Bartley, D. M., Cowx, I. G., Fuentesvillla, C., Leonard, N. J., Lorenzen, K., Lynch, A. J., Nguyen, V. M., Youn, S.-J., Taylor, W. W., & Welcomme, R. L. (2016). On the sustainability of inland fisheries: Finding a future for the forgotten. *Ambio*, 45, 753–764. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0787-4>
- Corfield, J., Diggles, B., Jubb, C., McDowall, R. M., Moore, A., Richards, A., & Rowe, D. K. (2007). *Review of the impacts of introduced ornamental fish species that have established wild populations in Australia*. Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts.

- Coulter, G. W. (Ed.). (1994). *Lake Tanganyika and its life*. Oxford University Press.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N., & Van der Laan, R. (Eds.). (2023). *Eschmeyer's catalog of fishes: Genera, species, references*. California Academy of Sciences.
- Galib, S. M. (2015). Fish fauna of the Brahmaputra River, Bangladesh: Richness, threats and conservation needs. *Journal of Fisheries*, 3(3), 285–292.
- Jain, A., Surnar, S., Saini, V. P., & Ojha, M. L. (2019). Biodiversity of indigenous ornamental fish in Waki River system of Southern Rajasthan. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(4), 293–298.
- Jayarathne, R., & Surasinghe, T. (2010). General ecology and habitat selectivity of freshwater fishes of the Rawan Oya, Kandy, Sri Lanka. *Sabaragamuwa University Journal*, 9(1), 11–43.
- Kalous, L., Patoka, J., & Kopecký, O. (2015). European hub for invaders: Risk assessment of freshwater aquarium fishes exported from the Czech Republic. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 45(3), 239–245. <https://doi.org/10.3750/AIP2015.45.3.03>
- Kullander, S. O. (1986). *Cichlid fishes of the Amazon River drainage of Peru*. Swedish Museum of Natural History.
- Lucinda, P. H. F. (2003). Family Poeciliidae (livebearers). In R. E. Reis, S. O. Kullander, & C. J. Ferraris, Jr. (Eds.), *Check list of the freshwater fishes of South and Central America* (pp. 555–581). EDIPUCRS.
- Lévêque, C., & Paugy, D. (2017). Geographical distribution and affinities of African freshwater fishes. In D. Paugy, C. Lévêque, & O. Otero (Eds.), *The inland water fishes of Africa: Diversity, ecology and human use* (pp. 65–93). IRD Éditions; Royal Museum for Central Africa.
- Mohapatra, A., Ray, D., Tudu, P. C., & Mishra, S. S. (2014). Range extension and first report of *Monodactylus kottelati* (Perciformes: Monodactylidae) from Chilika Lagoon, east coast of India. *Marine Biodiversity Records*, 7, e11. <https://doi.org/10.1017/S1755267214000013>
- Nathaniel, A. M., Soberekon, I. J., Gamage, I. E., Eli, A. A., & Raimi, M. O. (2024). Fecundity estimation of Atlantic mudskipper *Periophthalmus barbarus* in Ogbo-Okolo Mangrove Forest of Santa Barbara River, Bayelsa State, Niger Delta, Nigeria [Preprint]. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2024.02.01.578404>
- Öz, M., Şahin, D., Öz, Ü., & Aral, O. (2024). Tatlı su akvaryum balıklarının üreme davranışları, ortamı ve materyal seçimleri: Su ürünleri ve ziraatte yenilikçi yaklaşımlar: Sürdürülebilirlik, teknoloji ve ekolojik stratejiler. Akademisyen Yayınevi. <https://doi.org/10.37609/akya.3304.c9201>

- Padmalal, D., & Maya, K. (2014). *Sand mining: Environmental impacts and selected case studies*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9144-1>
- Premdass, K., Lekeshmanaswamy, M., Anusiya Devi, K., & Vasuki, C. A. (2016). Studies on the biodiversity of freshwater ornamental fishes, Tamil Nadu, India. *International Journal of Zoology and Applied Biosciences*, 1(1), 15–26.
- Renjithkumar, C. R., & Roshni, K. (2026). Demographic patterns of an endemic cichlid, *Etroplus suratensis*, across five rivers in the Western Ghats biodiversity hotspot, India. *Aquatic Research*, 9(1), 63–77. <https://doi.org/10.3153/AR2600>
- Ribbink, A. J. (2001). Lake Malawi. In R. L. Welcomme & T. Petr (Eds.), *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries*. FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- Scott, P. W. (1998). *Bütün yönleriyle akvaryum* (Ö. Tek, Çev.). Dost Kitabevi Yayınları. (Orijinal eser 1995 yılında yayımlanmıştır)
- Seehausen, O. (1996). *Lake Victoria rock cichlids: Taxonomy, ecology, and distribution*. Verduijn Cichlids.
- Sermwatanakul, A. (2019). Capacitating local farmers to enhance global marketing of Thailand's national aquatic animal, the Siamese fighting fish. *Fish for the People*, 17(2), 42–45.
- Sharma, M. (2020). Ornamental fish rearing and breeding: A new dimension to aquaculture entrepreneurship in Himachal Pradesh. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 8(2), 157–162.
- Snoeks, J., Lévêque, C., Fermon, Y., & Duponchelle, F. (2017). Fish communities in East African Rift lakes. In D. Paugy, C. Lévêque, & O. Otero (Eds.), *The inland water fishes of Africa: Diversity, ecology and human use* (pp. 261–280). IRD Éditions; Royal Museum for Central Africa.
- Şahbaz, H. (2020). Amazon Nehri Havzası'nda sürdürülebilir sosyoekonomik kalkınmayı tehdit eden unsurlar. *Afet ve Risk Dergisi*, 3(2), 208–235.
- Thongprajukaew, K., Takaeh, S., Esor, N., Saekhow, S., Malawa, S., Nuntapong, N., Hahor, W., & Choodum, A. (2023). Optimal water volume for transportation of male Siamese fighting fish (*Betta splendens*). *Aquaculture Reports*, 28, 101430. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101430>
- Turner, G. F., Seehausen, O., Knight, M. E., Allender, C. J., & Robinson, R. L. (2001). How many species of cichlid fishes are there in African lakes?

Molecular Ecology, 10(3), 793–806. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2001.01200.x>

- Watson, C., DiMaggio, M., Hill, J., Tuckett, Q., & Yanong, R. P. E. (2019). *Evolution, culture, and care for Betta splendens* (UF/IFAS Extension Circular FA212). University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences.
- Weyl, O. L. F., Ribbink, A. J., & Tweddle, D. (2010). Lake Malawi: Fishes, fisheries, biodiversity, health and habitat. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 13(3), 241–254. <https://doi.org/10.1080/14634988.2010.504695>
- Williamson, D. (1996). A native fish primer: Livebearers, killifish, and minnows. *American Currents*, 22(3), 22–28.

2. Bölüm

Canlı Doğuranlar: Biyolojik Özellikleri, Üreme Stratejileri ve Akvaryum Yetiştiriciliğindeki Önemi

Dilek ŞAHİN¹

ÖZET

Canlı doğuran akvaryum balıkları, özellikle Poeciliidae familyası içerisinde yer alan lepistes (*Poecilia reticulata*), moli (*Poecilia sphenops*), plati (*Xiphophorus maculatus*) ve kılıçkuyruk (*Xiphophorus hellerii*) gibi türlerle temsil edilen, süs balıkları yetiştiriciliği içerisinde üretim kolaylığı ve yüksek üreme kapasitesi gibi özellikleri nedeniyle hem akvaryum sektöründe hem de bilimsel araştırmalarda önemli yer tutan küçük teleost balıklardır. Canlı doğuranlarda döllenme dişi vücudu içinde gerçekleşir; erkek bireylerde anal yüzgecin modifikasyonu sonucu oluşan gonopodyum sperm aktarımında görev alır. Dişi bireylerin spermatozeugmata veya sperm paketleri biçiminde aktarılan spermleri üreme kanalında belirli süre canlı tutabilmesi, erkek birey ortamdan uzaklaştırıldıktan sonra dahi ardışık doğumların gerçekleşmesine olanak sağlar. Bu özellik, hem ticari hem de deneysel üreme çalışmaları açısından kritik öneme sahiptir. Bu kitap bölümünde canlı doğuran akvaryum balıklarının taksonomik konumu, morfolojik özellikleri, üreme biyolojisi, gonopodyum yapısı, sperm depolama özelliği ve bakım-yetiştiricilik ilkeleri gibi konular literatürler ışığında ele alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Süs balıkları, Canlı doğuranlar, Poeciliidae, gonopodium, üreme biyolojisi, yetiştiricilik.

¹Doç. Dr., Sinop Üniversitesi Meslek Yüksekokulu,
dsahin@sinop.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4454-9030>

ABSTRACT

Livebearing aquarium fishes are small teleost fishes represented particularly by species within the family Poeciliidae, such as guppy (*Poecilia reticulata*), molly (*Poecilia sphenops*), platy (*Xiphophorus maculatus*), and swordtail (*Xiphophorus hellerii*). Owing to their ease of propagation and high reproductive capacity, these species occupy an important position both in the ornamental fish industry and in scientific research. In livebearing fishes, fertilization occurs internally within the female body; in males, the gonopodium, formed through the modification of the anal fin, functions in sperm transfer. The ability of females to retain sperm transferred in the form of spermatozeugmata or sperm packets within the reproductive tract for a certain period enables successive parturitions even after males have been removed from the environment. This characteristic is of critical importance for both commercial and experimental breeding studies. In this book chapter, the taxonomic position, morphological characteristics, reproductive biology, gonopodial structure, sperm storage capacity, and husbandry and culture principles of livebearing aquarium fishes are discussed in light of the relevant literature.

Keywords: Ornamental fishes, livebearers, Poeciliidae, gonopodium, reproductive biology, culture.

1. Giriş

Süs balıkları yetiştiriciliği, akuakültür sektörünün ekonomik, görsel özellik taşıyan ve bilimsel yönleri güçlü olan alt dallarından biridir. Bu sektör içerisinde canlı doğuran akvaryum balıkları, hem hobi akvaryumculuğunda hem de ticari üretim işletmelerinde en yaygın yetiştirilen tür grupları arasında yer almaktadır. Canlı doğuranlar, genel olarak küçük vücut boyutları, renk ve form çeşitliliği, hızlı eşeyssel olgunlaşma, yıl boyunca üretilebilme ve farklı bakım koşullarına uyum gösterebilme özellikleriyle dikkat çeker (Rodríguez-Machado vd., 2024; Cojocariu vd., 2026). Canlı doğuranlar, süs balığı sektöründe yüksek talep gören, üretimi nispeten kolay ve pazarlama değeri renk, boy, form ve tür tercihleriyle şekillenen önemli bir gruptur. Dünya genelinde süs balığı ticareti çok sayıda tatlı su türünü kapsamakta; canlı doğuranlar bu pazarın başlangıç seviyesinden ileri seleksiyon hatlarına kadar geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmektedir (Tolon, 2018).

Süs balıkları yetiştiriciliğinde 'canlı doğuran' terimi çoğunlukla Poeciliidae familyasının üyeleri için kullanılmaktadır. Bu türler yumurtalarını dış ortama bırakmak yerine döllenmiş yumurtaların dişi vücudu içerisinde gelişmesi ve yavruların serbest yüzebilir bireyler olarak doğmasıyla karakterizedir (Constantz, 1989).

Canlı doğuran balıklar yalnızca ticari akvaryum üretimi açısından değil, bilimsel araştırmalar açısından da önemlidir. Özellikle lepistes (*Poecilia reticulata*), kısa generasyon süresi, belirgin eşeyssel dimorfizmi ve kolay kontrollü üretimi sayesinde deneysel biyoloji açısından en fazla çalışılan canlı doğuran türlerden biridir (Cojocariu vd., 2026; Houde, 1997; Magurran, 2005; Mousavi-Sabet vd., 2014). Bu nedenle canlı doğuranların biyolojik özelliklerini anlamak, hem uygulamalı süs balığı yetiştiriciliği hem de temel biyoloji açısından önemli bir gerekliliktir.

Canlı doğuranlar, akvaryum balıkları yetiştiriciliğinde biyolojik özellikleri, üretim kolaylıkları ve pazar çeşitliliği nedeniyle stratejik öneme sahip bir gruptur. Poeciliidae familyasının lepistes, moli, plati ve kılıçkuyruk gibi yaygın üyeleri; iç döllenme, gonopodium, gebelik, sperm depolama, hızlı cinsel olgunlaşma ve yüksek yavru verimi gibi özellikleriyle hem hobi hem de ticari üretim için uygun türlerdir.

Literatürler, canlı doğuranların yalnızca kolay üreyen akvaryum balıkları olarak değil, aynı zamanda davranış ekolojisi, evrimsel biyoloji, toksikoloji, osmoregülasyon ve ekolojik araştırmaları için model organizmalar olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Lepistes bu alanda en güçlü model türlerden biri olmakla birlikte, moli, plati ve kılıçkuyruk da üretim ve araştırma açısından önemli potansiyele sahiptir (Bierbach vd., 2024; Boaru vd., 2021;

Cojocariu vd., 2026; de Lira vd., 2021; Krak, 2023). Bu kitap bölümünün amacı, canlı doğuran akvaryum balıklarını sistematik, biyolojik ve ekolojik yönleriyle bütüncül biçimde incelemektir.

2. Genel Biyolojik Özellikler

Canlı doğuran akvaryum balıklarının büyük bölümü Cyprinodontiformes takımı içerisinde yer alan Poeciliidae familyasına dahildir. Bu familya, Amerika kıtasında doğal yayılım gösteren ve çok sayıda tatlı su, acı su ve bazı ekstrem tuzluluk koşullarına uyum sağlamış türleri içeren geniş bir teleost grubudur (Rodríguez-Machado vd., 2024).

Poeciliidae familyası içerisinde akvaryumculuk bakımından en yaygın türler lepistes (*Poecilia reticulata*), moli türleri (*Poecilia sphenops*, *P. latipinna*, *P. velifera*), plati (*Xiphophorus maculatus*), kılıçkuyruk (*Xiphophorus hellerii*) ve gambusia türleridir. Bu türlerde erkek bireyin anal yüzgeci çiftleşme organı olan gonopodyuma dönüşür. Bu yapı, poeciliidlerin tanımlanmasında ve cinsiyet ayrımında temel morfolojik karakterlerden biridir (Evans vd., 2011; Nelson vd., 2016).

Canlı doğuran akvaryum balıkları genel olarak küçük ve orta boylu, hareketli, yüksek adaptasyon kapasitesine sahip türlerdir. Vücut formu türlere göre değişmekle birlikte çoğu türde lateral olarak hafif basık, hızlı yüzmeye uygun ve sosyal davranışlara elverişli bir yapı görülür. Bu balıklar akvaryum ortamında genellikle üst ve orta su kolonunu aktif biçimde kullanır. Renklenme, canlı doğuran türlerin en belirgin özelliklerinden biridir. Özellikle erkek lepisteslerde kuyruk ve vücut desenleri son derece çeşitlidir. Bilimsel çalışmalar sonucunda düz renkli, benekli, mozaik, tuxedo, albino, metalik, yelken yüzgeçli, lyretail ve kılıç kuyruk gibi çok sayıda form geliştirilmiştir. Bu fenotipik çeşitlilik, canlı doğuranların süs balığı pazarındaki değerini doğrudan artırmaktadır (Şahin, 1999).

Eşeyssel dimorfizm bu grupta oldukça belirgindir. Erkek bireyler çoğunlukla daha küçük, daha ince yapılı, daha renkli ve gonopodyum taşıyan bireylerdir. Dişi bireyler ise genellikle daha iri, daha soluk renkli, karın bölgesi daha dolgun ve anal yüzgeci yelpaze biçiminde olan bireylerdir. Kılıçkuyrukta erkek bireyin kuyruk yüzgecinin alt kısmında bulunan kılıç benzeri uzantı, türün en bilinen sekonder eşeyssel karakteridir (Çizelge 1) Mousavi-Sabet vd., 2014; Shahjahan vd., 2013; Tamaru vd., 2001).

Canlı doğuranlarda yaşam süresi tür, bakım koşulları, sıcaklık, beslenme ve genetik yapıya bağlı olarak değişir. Lepistes gibi küçük türlerde yaşam süresi çoğunlukla 1,5-3 yıl arasında iken, moli ve kılıçkuyruk gibi daha iri türlerde uygun koşullarda daha uzun süreli yaşama rastlanabilir. Yüksek sıcaklık

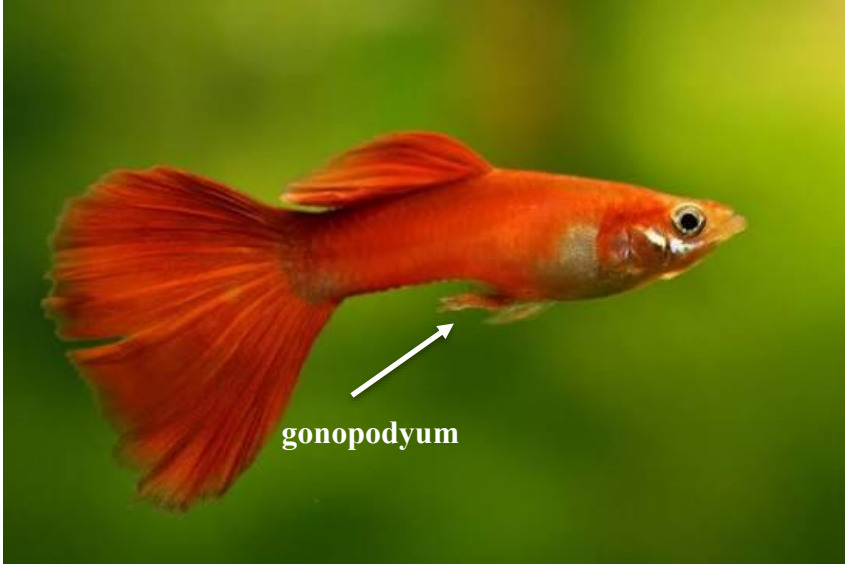
metabolizmayı hızlandırarak büyümeyi ve üreme döngüsünü hızlandırabilir; ancak uzun dönemde yaşam süresini kısaltabilir. (Cojocariu vd., 2026, Reznick vd., 2006).

Çizelge 1. Akvaryumculukta yaygın canlı doğuran türler ve temel özellikleri

Tür	Bilimsel ad	Genel boy	Ayırt edici özellik
Lepistes	<i>Poecilia reticulata</i>	3-6 cm	Erkeklerde yoğun renklenme ve gösterişli kuyruk
Moli	<i>Poecilia sphenops</i>	5-12 cm	Daha iri vücut, bazı formlarda yelken yüzgeç
Kılıçkuyruk	<i>Xiphophorus hellerii</i>	8-12 cm	Erkekte kuyrukta kılıç benzeri uzantı
Plati	<i>Xiphophorus maculatus</i>	4-6 cm	Kompakt vücut, çok sayıda renk varyetesi

3. Temel Üreme Özellikleri

Canlı doğuranlarda üreme stratejisinin ayırt edici noktası, döllenmenin dış ortamda değil dişi bireyin üreme kanalında gerçekleşmesidir. Bu tür üreme şekline ovovivipar adı verilir. Canlı doğuran balıkların erkek bireylerinde görülen en önemli morfolojik adaptasyonlardan biri gonopodyumdur. Gonopodyum, anal yüzgecin modifikasyonu ile oluşan ve sperm aktarımında görev yapan çiftleşme organıdır. Bu yapı, erkek bireyin dişi bireye sperm aktarabilmesini sağlayarak iç döllenmenin morfolojik temelini oluşturur. Poeciliid balıklarda erkekler gonopodyum aracılığıyla spermatogameta olarak adlandırılan sperm paketlerini dişi genital açıklığına veya üreme kanalına aktarabilir (Langerhans, 2011). Erkek bireylerde anal yüzgeç ışınlarının değişime uğramasıyla oluşan gonopodium, sperm transferinde işlev gören temel yapıdır. Terán vd. (2022), Poeciliidae familyasının gonopodium varlığıyla karakterize edildiğini ve bu yapının erkeklerde anal yüzgecin 3., 4. ve 5. ışınlarının modifikasyonu sonucunda oluştuğunu belirtmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Gonopodyum (<https://animalia.bio/guppy>)

Canlı doğuranların yavruları doğumda ovipar türlerin erken larvalarına kıyasla daha gelişmiş durumdadır. Yavrular genellikle yüzme, yem arama ve predatörlerden kaçınma gibi davranışları doğumdan kısa süre sonra gösterebilir. Bu özellik, akvaryum üretiminde yavru yaşama oranını artıran önemli bir avantajdır. Shahjahan vd. (2013), lepistes yavrularının doğumdan sonra serbest yüzebildiğini, beslenebildiğini ve tehlikelerden kaçınabildiğini bildirmiştir.

Bu üreme biçiminin ticari üretim açısından sonucu, canlı doğuranların nispeten küçük hacimli sistemlerde sürekli yavru sağlayabilmesidir. Bununla birlikte dişilerin sık doğum yapması ve bazı türlerde sperm depolama yeteneğinin bulunması, üretim planlamasında erkek-dişi ayrımı, anaç rotasyonu ve yavru ayrımı gibi uygulamaları zorunlu hale getirir (Iskandar vd., 2021; Tamaru vd., 2001).

4. Morfolojik Özellikler ve Eşeyssel Dimorfizm

Canlı doğuranlarda eşeyssel dimorfizm belirgindir. Genellikle erkekler daha küçük, daha renkli ve gonopodium taşıyan bireylerdir; dişiler ise daha iri, karın bölgesi daha geniş ve gebelik döneminde belirgin karın dolgunluğu gösteren bireylerdir (Bierbach vd., 2024; T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2015) (Şekil 1). Bu farklılıklar yalnızca cinsiyet ayrımı için değil, aynı zamanda anaç seçimi, seleksiyon, damızlık yönetimi ve ticari pazarlama açısından da önemlidir. Gonopodium, poeciliid erkeklerinin en ayırt edici morfolojik karakteridir. Canlı doğuran akvaryum balıklarının en ayırt edici biyolojik özelliği, iç dölleme

sonucunda gelişen embriyoları canlı yavrular hâlinde dünyaya getirmeleridir. Bu özellik, özellikle Poeciliidae familyasına ait lepistes, moli, plati ve kılıçkuyruk türlerinde belirgindir. Bu türlerde erkek bireyde özelleşmiş bir çiftleşme organı bulunur; spermier dişi üreme kanalına aktarılır, dölleme dişi vücudu içinde gerçekleşir ve yavrular doğduklarında serbest yüzebilir durumdadır.

Canlı doğuranların üreme başarısı; eşeyssel olgunluk yaşı, erkek-dişi oranı, su sıcaklığı, beslenme düzeyi, stres, genetik yapı ve stok yoğunluğu gibi çok sayıda faktör tarafından belirlenir. Uygun koşullar altında birçok canlı doğuran tür yıl boyunca yavru verebilir. Bu durum, bu türlerin ticari üretimde süreklilik sağlamasına olanak tanır.

Lepisteslerde morfolojik gelişim hızlıdır. Mousavi-Sabet vd. (2014), *Poecilia reticulata* yavrularında doğum anında vücut boyunun yaklaşık 4,5-5,0 mm olduğunu, 30. günde 11,9-13,5 mm'ye ulaştığını; anal yüzgeç değişiminin 23. günde başladığını, erkeklerde kaudal yüzgeç renklenmesinin 28. günde görüldüğünü, 40. günde erkek ve dişilerin gonopodium, renk deseni ve boy özelliklerine göre ayrılabilirdiğini ve 50. günde bireylerin çoğunun cinsel olgunluğa ulaştığını bildirmiştir.

Molilerde dişilerin erkeklerden daha büyük olması yaygın bir özelliktir. *Poecilia sphenops* için hazırlanan ekolojik tür bilgisinde erkeklerin yaklaşık 8 cm, dişilerin ise 12 cm'ye ulaşabildiği; erkeklerde sperm aktarımına yarayan gonopodium bulunduğu ve türün gümüş, siyah ve sarı-turuncu tonlarını içeren renk varyasyonları gösterebildiği belirtilmiştir. Kılıçkuyrukta ise erkek bireylerde kaudal yüzgecin alt ışınlarının uzaması sonucu oluşan “kılıç” görünümü, türün en önemli dış morfolojik ayırt edici karakteridir (Tamaru vd., 2001; Krak, 2023).

5. Başlıca Canlı Doğuran Türler

5.1. Lepistes (*Poecilia reticulata*)

Lepistes, canlı doğuran akvaryum balıkları içerisinde en yaygın bilinen ve yetiştirilen türlerden biridir. Küçük vücut yapısı, yüksek renk varyasyonu, kısa nesil süresi ve kolay üretilebilirliği nedeniyle hem hobi akvaryumculuğunda hem de bilimsel araştırmalarda önemli bir türdür. Erkek lepistesler genellikle dişilere göre daha küçük fakat daha parlak renkli ve daha gösterişli kuyruk yapısına sahiptir (Şekil 2).



Şekil 2. Erkek ve Dişi Lepistes (*Poecilia reticulata*)
(<https://animalia.bio/pt/guppy>)

Lepistes balıklarında renk ve yüzgeç yapı ve desenlerine göre çok sayıda kobra, filkulak, yelpaze, mozaik vb. olarak adlandırılan varyeteler bulunmaktadır (Şekil 3). Lepisteslerde erkek renklenmesi ve kuyruk formu cinsel seçim açısından önem taşır. Dişiler genellikle renk, desen, hareketlilik ve vücut kondisyonu gibi sinyallere göre erkek seçebilir. Buna karşılık parlak renklenme doğal ortamda predasyon riskini de artırabilir. Bu nedenle lepistes, cinsel seçim ile doğal seçim arasındaki dengeyi incelemek için klasik bir model organizmadır (Houde, 1997; Magurran, 2005).





Şekil 3. Lepistes varyelerine örnekler (<https://animalia.bio/pt/guppy>)

Doğal yayılışı kuzeydoğu Güney Amerika ve Trinidad-Tobago ile ilişkilendirilmekle birlikte, akvaryum ticareti, biyolojik mücadele için kullanımları ve adaptasyon yeteneği nedeniyle doğal yayılış alanı dışında çok sayıda ülkede kaydedilmiştir (Cojocariu vd., 2026; Terán vd., 2022). Türün renk varyasyonları, kuyruk tipleri, kısa generasyon süresi ve kolay üretimi, lepistesleri hem hobi akvaryumculuğunda hem de bilimsel araştırmalarda önemli hale getirmiştir.

Lepistes üretiminde kısa gebelik süresi ve yüksek doğum sıklığı avantaj sağlar. Shahjahan vd. (2013), laboratuvar koşullarında lepisteslerin kış ayları dışında yıl boyunca üreyebildiğini, gebelik süresinin 25-35 gün arasında değiştiğini ve ortalama 28,1 gün olduğunu, bir doğumda 12-60 yavru alınabildiğini bildirmiştir. Bu özellikler türün küçük ölçekli akvaryum üretiminden ticari üretime kadar geniş bir yelpazede değerlendirilebilmesini sağlar.

5.2. Moli (*Poecilia sphenops*)

Moliler, *Poecilia* cinsi içerisinde yer alan, tatlı su ve acı su ortamlarına uyum gösterebilen, renk ve vücut formu bakımından geniş varyasyonlar sunan canlı doğuranlardır. Moli türleri canlı doğuranlar içerisinde dayanıklılıkları, farklı su koşullarına toleransları ve iri vücut yapılarıyla öne çıkar. Siyah moli, ay moli, yelken yüzgeçli moli ve balon moli gibi çok sayıda varyete akvaryumculukta

yaygındır (Şekil 4). Moliler genellikle hafif alkali ve mineralce zengin sularda daha iyi performans gösterir.



Şekil 4. Moli varyetelerine örnekler (<https://animalia.bio/pt/guppy>)

Poecilia sphenops doğal olarak Meksika'dan Kolombiya'ya uzanan Orta Amerika ve kuzey Güney Amerika bölgelerinde yayılış gösterebilmekte, ayrıca akvaryum ticaretiyle farklı bölgelere taşınabilmektedir. Moli türleri omnivor beslenme eğilimine sahiptir; alg ve bitkisel materyal tüketimi belirgindir, ancak sucul

omurgasızlar, detritivorlar ve sivrisinek larvaları da diyet içerisinde yer alabilir. Bu nedenle moli yetiştiriciliğinde yüksek bitkisel içerikli yemlerin kullanımı ve su kalitesinin korunması önem taşır. Türün dayanıklılığı, çeşitli su koşullarına uyum sağlaması ve üretim kolaylığı, ticari süs balığı yetiştiriciliğinde onu cazip kılar. Molilerde üreme başarısı çevresel koşullardan etkilenir. Pradhan ve Sharma (2025), *Poecilia sphenops* üreme davranışında habitat tipi, fotoperiyot, su kimyası, pH ve sıcaklık gibi faktörlerin kur davranışı, gebelik süresi ve yavru gelişimi üzerinde etkili olduğunu ifade etmiştir. Her ne kadar bu kaynak daha genel derleme niteliğinde olsa da, moli üretiminde çevresel standardizasyonun önemini desteklemektedir.

5.3. Kılıçkuyruk (*Xiphophorus hellerii*)

Kılıçkuyruk, *Xiphophorus* cinsi içerisinde ticari önemi yüksek bir canlı doğuran türdür. Erkek bireylerde kaudal yüzgecin alt kısmındaki ışınların uzamasıyla oluşan kılıç benzeri yapı, türün ayırt edici morfolojik özelliğidir (Şekil 5). Kılıçkuyruklar platilere göre daha iri ve hareketli balıklardır; bu nedenle daha geniş yüzme alanına ihtiyaç duyarlar. Tamaru vd. (2001), kılıçkuyruğun ticari üretimi için taksonomi, biyoloji, üreme, gebelik, yavru büyütme, stok yoğunluğu, besleme, su kalitesi, hasat, boylama, paketleme ve hastalık yönetimi gibi konuları kapsayan bir üretim çerçevesi sunmuştur.



Şekil 5. Dişi ve erkek kılıçkuyruk

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Xiphophorus_hellerii_red_male_female_01.jpg)

Kılıçkuyruk doğal olarak Meksika ve Orta Amerika ile ilişkilendirilir; ancak akvaryum ticareti nedeniyle farklı ülkelerde doğal ortamlara giriş yapabilmektedir (Terán vd., 2022; Krak, 2023). Krak (2023), *Xiphophorus helleri* türünün tatlı su kökenli bir tür olmakla birlikte belirli düzeyde tuzluluk toleransı gösterebildiğini ve deneysel koşullarda kademeli tuzluluk artışına karşı fizyolojik yanıtlar verdiğini incelemiştir. Bu durum, türün farklı su kimyası koşullarına uyum kapasitesinin üretim ve çevresel risk değerlendirmeleri açısından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Kılıçkuyrukta ticari üretim amacıyla cinsiyet kontrolü ve renk-form seleksiyonu da önem taşır. Ortega-Salas vd. (2013), laboratuvar koşullarında *Xiphophorus helleri* türünde hormon uygulamalarının cinsiyet dönüşümü, büyüme ve yaşama oranları üzerindeki etkilerini incelemiş ve farklı uygulamalarda yüksek erkekleşme oranları bildirmiştir. Ancak güncel üretim uygulamalarında hormon kullanımının etik, gıda güvenliği, çevresel ve mevzuat boyutları dikkatle değerlendirilmelidir.

5.4. Plati (*Xiphophorus maculatus*)

Platiler, *Xiphophorus* cinsinin akvaryumculukta yaygın kullanılan canlı doğuran üyeleridir. Renk varyeteleri, kısa generasyon süresi, kolay üretim ve barışçıl davranış özellikleri nedeniyle özellikle başlangıç düzeyi akvaryumcular için önerilen türler arasında yer alır (Nayak vd., 2022). Kırmızı, sarı, turuncu, mavi, benekli ve desenli çok sayıda varyetesi bulunmaktadır (Şekil 6).





Şekil 6. Plati varyetelerine örnekler (<https://animalia.bio/pt/guppy>)

Küçük ve orta hacimli akvaryumlarda uygun stok yoğunluğu sağlandığında başarılı biçimde yetiştirilebilir. Platiler sürü davranışı gösteren, karma akvaryumlara uygun ve üretimi kolay balıklardır. Dişiler uygun çevresel koşullarda düzenli aralıklarla yavru doğurabilir. Bu özellik, küçük ölçekli ticari üretimde platiyi ekonomik açıdan cazip türlerden biri hâline getirir. Plati yetiştiriciliğinde lepistes ve molilere benzer biçimde anaç seçimi, cinsiyet oranı,

doğum sonrası yavru koruması ve uygun yemleme temel üretim basamaklarını oluşturur. Iskandar vd. (2021), guppy, black molly ve platy türlerinde oosit geliştirici katkı kullanımının yavrulama sıklığını artırabileceğini bildirmiştir. Bu tür çalışmalar, canlı doğuranlarda yalnızca genel bakım koşullarının değil, aynı zamanda anaç besleme ve üreme fizyolojisine yönelik müdahalelerin de ticari üretim verimliliğini etkileyebileceğini göstermektedir.

6. Üreme Biyolojisi

Canlı doğuran balıklarda üreme davranışları türlere göre çeşitlilik gösterir. Erkek bireyler dişilere yaklaşarak renklerini ve yüzgeçlerini sergileyebilir, vücut titreşimleri yapabilir veya ani gonopodyal temas girişimlerinde bulunabilir. Lepisteslerde erkek renklenmesi, desen yapısı ve kur davranışı dişi tercihi üzerinde önemli rol oynar (Houde, 1997).

Dişi tercihi ve çoklu çiftleşme, poeciliid üreme sistemlerinin önemli bileşenleridir. Çoklu çiftleşen dişilerde gebelik süresi, yavru sayısı ve genetik çeşitlilik gibi özellikler etkilenebilir. Evans vd. (2000), lepisteslerde çoklu çiftleşmenin bazı üreme avantajları sağlayabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte yoğun erkek baskısı dişiler açısından stres kaynağı olabilir. Bu nedenle yetiştiricilikte doğal davranışların sürmesine izin veren ancak aşırı çiftleşme baskısını azaltan dengeli sosyal düzenlemeler tercih edilmelidir.

Canlı doğuranlarda üreme biyolojisi, iç döllenme ve dişi vücudu içinde embriyo gelişimi temelinde şekillenir. Erkek birey, gonopodium aracılığıyla spermleri dişiye aktarır. Döllenme dişi üreme sisteminde gerçekleşir ve embriyolar doğuma kadar dişi içerisinde gelişir. Bu süreç, üreticinin dış ortama bırakılan yumurta, mantarlaşma, yumurta predasyonu veya yumurta bakım gereksinimi gibi ovipar türlerdeki bazı sorunlarla daha az karşılaşmasını sağlar (Shahjahan vd., 2013; Tamaru vd., 2001; T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2015).

Lepistes türünde gebelik süresinin genellikle yaklaşık dört hafta civarında olduğu, ancak sıcaklık, beslenme, anaç kondisyonu ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebildiği bildirilmiştir (Shahjahan vd., 2013). Moli türünde bazı kaynaklar gebelik süresinin yaklaşık 4-6 hafta arasında değişebileceğini belirtmektedir (Pradhan & Sharma, 2025). Canlı doğuranların gebelik süresi, üretim planlamasında yavru alma aralığı, anaç dinlendirme ve yavru tanklarının hazırlanması açısından kritik bir parametredir.

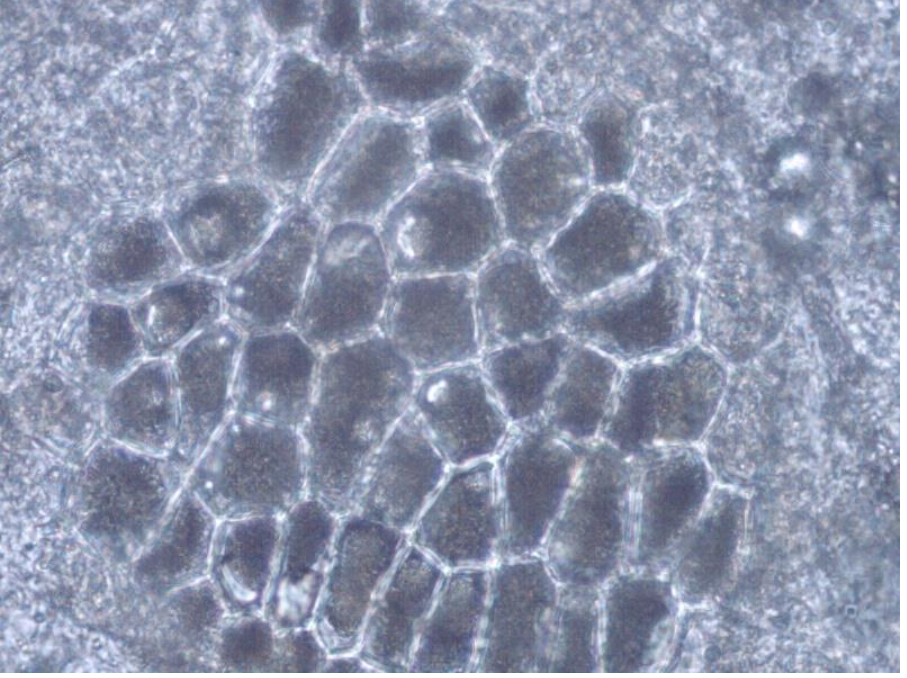
Canlı doğuran dişilerde sperm depolama, üretim biyolojisinin önemli unsurlarından biridir. Dişi bireyler, erkekle çiftleşmeden sonra spermi belirli süre kullanabilir ve erkek ortamdan uzaklaştırıldıktan sonra dahi ardışık yavrular verebilir. Bu özellik üretim açısından avantajlıdır; ancak damızlık hatlarının

kontrolü, soy takibi ve selektif üretim açısından dikkat edilmesi gereken bir durumdur (Chitra & Krishnaveni, 2013; Iskandar vd., 2021).

Canlı doğuran balıklar kısa sürede eşeyssel olgunluğa ulaşabilen türlerdir. Lepisteslerde bireyler çoğunlukla 2-3 aylık yaşta üreme yeteneği kazanabilir. Plati, moli ve kılıçkuyruklarda bu süre tür, sıcaklık, beslenme ve büyüme hızına bağlı olarak değişebilir.

Cinsiyet ayrımı gonopodyum gelişimiyle kolaylaşır. Erkeklerde anal yüzgeç gonopodyuma dönüşürken, dişilerde anal yüzgeç yelpaze biçiminde kalır. Dişiler genellikle daha iri ve dolgun vücut yapısına sahipken, erkekler daha ince, daha renkli ve bazı türlerde daha gösterişli yüzgeçlere sahiptir. Cinsiyet ayrımının doğru yapılması, kontrollü üretim ve genetik hatların korunması açısından önemlidir. Erkek-dişi oranı, üreme başarısı ve refah üzerinde doğrudan etkilidir. Ticari ve hobi üretimlerinde sıklıkla bir erkek için iki-üç dişi önerilir. Bunun amacı, erkeklerin sürekli çiftleşme girişimleriyle dişiler üzerinde oluşturabileceği stresi azaltmak ve gebelik başarısını artırmaktır. Aşırı erkek yoğunluğu dişi yıpranmasını, yaralanmayı, saklanma ihtiyacını ve doğum başarısızlığını artırabilir (Tamaru vd., 2001; T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2015). Yavru sayısı tür, dişi büyüklüğü, yaş, beslenme durumu ve genetik yapı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Genç ve küçük dişiler daha az yavru doğururken, iyi beslenmiş ve iri dişiler daha yüksek yavru sayısına ulaşabilir. Lepisteslerde bir doğumda 10-100 yavru görülebilir; ancak bu aralık bakım koşullarına ve anaç özelliklerine göre değişmektedir. Moli ve kılıçkuyruklarda iri dişiler de yüksek sayıda yavru verebilir.

Canlı doğuran balıkların üreme biyolojisindeki en dikkat çekici özelliklerden biri dişi bireylerin çiftleşme sonrasında spermleri belirli bir süre canlı ve döllenme yeteneğini koruyacak biçimde depolayabilmesidir. Poeciliidlerde erkek tarafından aktarılan spermler çoğu zaman spermatözogmata adı verilen organize sperm paketleri hâlinde bulunur. Akvaryumculuk dilinde bu yapıların işlevi çoğu zaman 'sperm paketi' olarak açıklanır (Şekil 7).



Şekil 7. Sperm paketi (orjinal)

Sperm depolama, dişinin daha önce gerçekleşmiş çiftleşmelerden aldığı spermleri üreme kanalında veya ovaryumla ilişkili bölgelerde muhafaza etmesi ve ilerleyen dönemlerde yeni yumurta gruplarını bu spermlerle dölemesi anlamına gelir. Bu nedenle dişi birey, erkek birey ortamdan uzaklaştırıldıktan sonra dahi haftalar veya aylar boyunca yavru doğurabilir. Bu olay bazen hatalı biçimde 'erkeksiz doğum' olarak yorumlansa da biyolojik olarak önceki çiftleşmeden kalan spermlerin kullanılmasıdır.

Lepisteslerde sperm depolama özelliği özellikle iyi bilinmektedir. Dişi lepistesler tek veya sınırlı sayıdaki çiftleşmeden sonra birden fazla doğum gerçekleştirebilir. Aral ve Şahin (2016), erkek bireylerin uzaklaştırıldığı koşullarda dişi lepisteslerin sperm rezervlerini kullanarak uzun süre yavru verebildiğini bildirmiştir. Bu durum, canlı doğuranlarda üreme performansı değerlendirilirken erkeklerin ortamdan uzaklaştırılması sonrasında görülen doğumların da önceki çiftleşmelerle ilişkili olabileceğini göstermektedir.

Sperm depolama ticari üretim için önemli avantajlar sağlar. Bir dişi birey tek bir çiftleşme sonrasında ardışık doğumlar yapabildiğinden, üretim sürekliliği daha kolay sağlanır. Bununla birlikte genetik seleksiyon, saf hat üretimi veya kontrollü melezleme çalışmalarında bu özellik dikkatle yönetilmelidir. Dişi bireyin daha önce hangi erkeklerle çiftleştiği bilinmiyorsa, doğan yavruların

babalık bilgisi karışabilir. Bu nedenle kontrollü üretimde bakire dişilerin seçilmesi, cinsiyet ayrımının erken yapılması ve üretici eşleştirmelerinin kayıt altına alınması önemlidir.

Deneyssel çalışmalarda sperm depolama metodolojik açıdan da kritik bir faktördür. Örneğin besleme, humik madde katkısı, su kalitesi veya üreme performansı üzerine yapılan çalışmalarda dişi bireyler deneme öncesinde erkeklerle birlikte tutulmuşsa, sonraki yavrulamalar mevcut deneyssel koşulların doğrudan etkisinden ziyade önceki çiftleşmelerden kaynaklanan sperm rezerviyle ilişkili olabilir. Bu nedenle canlı doğuranlarla yürütölen üreme araştırmalarında deneme başlangıcındaki eşeyssel geçmiş mutlaka belirtilmelidir.

7. Embriyonik Gelişim, Yavru Büyütme ve Beslenme

Canlı doğuran yavruları doğduklarında ovipar türlerin erken larvalarına kıyasla daha ileri gelişim düzeyindedir. Bu nedenle ilk yem alma ve yüzme davranışları hızlıdır. Shahjahan vd. (2013), yeni doğan lepestes yavrularının saydam veya koyu renkli, ince vücut yapısına sahip olduğunu; ağız çenelerinin gelişmiş bulunduğunu ve doğumdan sonra yüzme, beslenme ve tehlikeden kaçınma yeteneği gösterdiğini belirtmiştir.

Lepistes yavrularının morfolojik gelişimi üretim açısından izlenebilir aşamalar sunar. Mousavi-Sabet vd. (2014), doğumdan sonraki 30 gün içerisinde vücut boyunda belirgin artış olduğunu; anal yüzgeç değişimi, kaudal renklenme ve gonopodium gelişiminin belirli dönemlerde ortaya çıktığını bildirmiştir. Bu bilgi, yavruların cinsiyete göre ayrılacağı zamanın belirlenmesi ve istenmeyen çiftleşmelerin önlenmesi açısından önemlidir.

Canlı doğuranlarda yavrular doğar doğmaz serbest yüzebilir ve dış ortamda aktif biçimde davranış gösterebilir. Ancak erişkin bireylerin yavruları yemesi sık görölen bir durumdur. Bu nedenle yavru korunması üretim başarısının en kritik aşamalarından biridir. Bitkili akvaryumlar, yavruluklar, delikli ayırıcılar veya ayrı büyütme tankları bu amaçla kullanılabilir (Öz vd., 2024; Öz vd., 2025). Dişilerin doğum öncesinde küçük yavruluklara uzun süre konulması stres oluşturabilir. Bu nedenle doğum tankları mümkün olduğunca yeterli hacme sahip olmalı, saklanma alanları içermeli ve su kalitesi kararlı tutulmalıdır. Doğumdan sonra dişi birey ana tanka alınmalı; yavrular ise büyütme tankında yoğunluk kontrolü yapılarak yetiştirilmelidir. Yavru büyütmede su kalitesi, yemleme sıklığı ve stok yoğunluğu belirleyici faktörlerdir. Yavrular amonyak ve nitrite karşı hassastır. Bu nedenle biyolojik filtrasyonun olgunlaşmış olması, düzenli dip çekimi, kontrollü su değişimleri ve aşırı yemlemeden kaçınma gerekir. Yavrular hızlı büyüdükçe boylama yapılmalı ve büyük bireylerin küçük bireyleri baskılaması önlenmelidir. (Nayak vd., 2022; T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2015).

Canlı doğuran balıklar genel olarak omnivor beslenme özelliği gösterir. Doğal ortamlarında algler, küçük omurgasızlar, detritus, mikroorganizmalar ve bitkisel materyallerle beslenebilirler. Akvaryum koşullarında ise ticari pul yemler, mikro granül yemler, canlı yemler, dondurulmuş yemler ve bitkisel takviyeler kullanılabilir.

Lepistes ve plati gibi türler karma içerikli yemlerle başarılı şekilde yetiştirilebilir. Molilerde bitkisel içerik daha önemli olduğundan spirulina, alg unu veya bitkisel ham maddeler içeren yemler yararlı olabilir. Kılıçkuyruk ve plati türlerinde de dengeli protein, yağ asidi, vitamin ve mineral içeriği büyüme ve renklenmeyi destekler. Ayrıca plati türünde beyaz kurt (*Enchytraeus* sp.) ile beslemenin büyümeye olumlu katkı sağladığı bildirilmektedir (Şahin vd., 2017).

Üreme döneminde anaç dişilerin yeterli protein, enerji, esansiyel yağ asitleri, vitaminler ve mineraller yönünden desteklenmesi yavru sayısı ve yavru kalitesi açısından önemlidir. Yetersiz besleme düşük kondisyon, düşük yavru sayısı, zayıf yavru gelişimi ve doğum sonrası yaşama oranında azalma ile sonuçlanabilir.

Yavrular doğumdan kısa süre sonra beslenmeye başlayabilir. İlk dönemde *Artemia nauplii*, mikro yemler, infusoria, çok ince öğütülmüş ticari yemler ve yüksek sindirilebilirliğe sahip toz yemler kullanılabilir. Yavruların mide hacmi küçük olduğundan sık aralıklarla, az miktarlarda yemleme yapılmalı; yem artıkları su kalitesini bozmayacak şekilde kontrol edilmelidir. (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2015). Yavru döneminde yem partikül büyüklüğü ve yemleme sıklığı, büyüme hızı ve yaşama oranı üzerinde belirleyicidir.

Canlı doğuranlar genel olarak karma yemleri kolay kabul eden, yem seçiciliği düşük ve üretim koşullarına iyi uyum sağlayan balıklardır. Bununla birlikte yem kalitesi, büyüme, renklenme, kondisyon, gonad gelişimi, yavru sayısı ve yavru yaşama oranı üzerinde belirgin etkiye sahiptir. Özellikle ticari üretimde düşük maliyetli fakat dengeli formüle edilmiş yem kullanımı, hem üretim verimliliği hem de su kalitesi açısından önemlidir.

Anka vd. (2016), lepistes yavrularında farklı formüle yemlerin büyüme ve yaşama oranı üzerindeki etkilerini incelemiş; balık unu ve karides unu içeren formülasyonun uzunluk artışı, ağırlık artışı ve yaşama oranı açısından daha iyi sonuç verdiğini bildirmiştir. Çalışmada en yüksek yaşama oranının %95 ile formüle yem grubunda, kontrol ticari yem grubunda ise %80 olduğu belirtilmiştir. Bu sonuç, canlı doğuran üretiminde yerel hammaddelerle hazırlanan uygun formülasyonların ticari yemlere alternatif olabileceğini göstermektedir.

Üreme dönemindeki anaç beslemesi, yavru üretim performansında kritik bir faktördür. Chitra ve Krishnaveni (2013), siyah moli dişilerinde probiyotik katkılı yemlerin fekondite, yavru üretimi, yavru yaşama oranı ve gonadosomatik indeks üzerinde olumlu etkiler sağlayabildiğini; %0,4 düzeyindeki probiyotik katkının

diğer deneme grupları ve kontrole göre daha iyi sonuç verdiğini bildirmiştir. Bu bulgu, süs balığı yetiştiriciliğinde probiyotiklerin yalnızca sağlık yönetimi için değil, üreme performansının desteklenmesi için de değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Canlı doğuranlarda besleme stratejisi türün doğal beslenme eğilimine göre ayarlanmalıdır. Moliler alg ve bitkisel materyal tüketimine yatkın olduğundan bitkisel içerikli yemlerden yararlanır. Lepistes ve plati gibi türler de karma diyetlere uyum gösterir. Yavru döneminde yüksek sindirilebilirlik, küçük partikül boyutu ve sık yemleme; büyütme döneminde ise dengeli protein-enerji oranı ve suyu kirletmeyen yemleme rejimi önceliklidir.

8. Yetiştiricilik Sistemleri ve Su Kalitesi Yönetimi

Canlı doğuran balıklar dayanıklı türler olarak kabul edilse de başarılı yetiştiricilik için uygun çevresel koşulların sağlanması zorunludur. Su sıcaklığı, pH, çözünmüş oksijen, toplam amonyak azotu, nitrit, nitrat, sertlik ve organik madde düzeyi sağlık, büyüme ve üreme performansını doğrudan etkiler.

Genel olarak canlı doğuranlar için uygun sıcaklık aralığı 23-28 °C olarak kabul edilebilir. Lepistes ve plati türleri çoğunlukla 24-26 °C aralığında iyi performans gösterirken, moli ve kılıçkuyruk türleri biraz daha yüksek sıcaklıklara tolerans gösterebilir. pH genellikle nötr ile hafif alkali aralıkta tutulmalıdır. Özellikle moliler mineralce zengin ve hafif alkali sularda daha sağlıklı gelişim gösterebilir.

Akvaryumlarda biyolojik filtrasyon canlı doğuranların sağlığı için temel unsurdur. Balık metabolizması, dışkı ve tüketilmeyen yemlerin ayrışması sonucunda amonyak/amonyum bileşikleri oluşur. Amonyak, yüksek pH ve sıcaklık koşullarında daha toksik hâle gelir. Bu nedenle düzenli su değişimi, yeterli filtrasyon, uygun stok yoğunluğu ve kontrollü yemleme canlı doğuran yetiştiriciliğinin temel ilkeleri arasında yer alır.

Canlı doğuranlar sosyal ve hareketli türlerdir. Akvaryum içerisinde yeterli yüzme alanı, saklanma bölgeleri, bitkisel düzenlemeler ve görsel bariyerler bulunması stresin azaltılmasına yardımcı olur. Özellikle üretim tanklarında dişilerin erkek baskısından kaçabileceği mikrohabitatlar oluşturulmalıdır. (Bierbach vd., 2024).

Bierbach vd. (2024), Poeciliidae türleri için bilimsel balık bakım standartlarına odaklanmış ve özellikle lepistes ile moli türleri için yetiştirme protokolleri önermiştir. Bu tür protokoller, deneysel çalışmaların tekrarlanabilirliğini artırmak, refah standartlarını iyileştirmek ve laboratuvarlar arasında uygulama birliği sağlamak açısından önemlidir.

Ticari kılıçkuyruk üretiminde su kalitesi, stok yoğunluğu, yemleme ve hasat yönetimi bir bütün olarak ele alınmalıdır. Tamaru vd. (2001), *Xiphophorus hellerii* üretiminde kültür sistemi, damızlık seçimi, ticari ölçekli üretim, büyütme stok yoğunluğu, su kalitesi, hasat, boylama ve nakliye süreçlerinin birbirini tamamlayan üretim aşamaları olduğunu belirtmiştir. Bu yaklaşım, canlı doğuran üretiminin yalnızca doğum alma işleminden ibaret olmadığını; pazara sunulabilir, sağlıklı ve standart boyda birey elde etmeyi hedefleyen entegre bir süreç olduğunu gösterir.

Moliler gibi bazı canlı doğuranlar acı su koşullarına tolerans gösterebilir. *Poecilia sphenops* için optimum koşullar arasında pH 7,0-8,5, sertlik 15-30 dH ve sıcaklık 21-28°C aralığı bildirilmiştir. Kılıçkuyrukta da tuzluluk toleransına yönelik deneysel veriler, türün kademeli salinite değişimlerine belirli ölçüde uyum sağlayabildiğini göstermiştir (Krak, 2023). Bununla birlikte tuzluluk uygulamaları tür, hat, yaş ve adaptasyon hızına göre planlanmalı; ani değişimlerden kaçınılmalıdır.

9. Sağlık, Refah ve Stres Yönetimi

Canlı doğuran akvaryum balıkları genel olarak dayanıklı olmalarına rağmen uygunsuz çevre koşullarında hastalıklara duyarlı hâle gelebilir. En sık karşılaşılan sorunlar arasında beyaz benek hastalığı, yüzgeç erimesi, mantar enfeksiyonları, iç ve dış parazitler, bakteriyel enfeksiyonlar, doğum sonrası zayıflama ve stres kaynaklı kondisyon düşüklüğü yer alır. Hastalıkların önemli bir bölümü kötü su kalitesi, ani sıcaklık değişimleri, aşırı stoklama, yetersiz beslenme ve sosyal stresle ilişkilidir. Bu nedenle sağlık yönetiminde temel yaklaşım tedaviden önce koruyucu uygulamalara dayanmalıdır. Yeni balıkların karantinaya alınması, ekipman hijyeni, düzenli gözlem, ölü balıkların hızlı uzaklaştırılması ve hasta bireylerin izolasyonu temel biyogüvenlik uygulamalarıdır. (Bierbach vd., 2024; Tamaru vd., 2001; T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2015).

Bierbach vd. (2024), bilimsel amaçlı poeciliid bakımında standart protokollerin kullanılmasını önermiştir. Bu protokoller; tank hacmi, sosyal yapı, çevresel zenginleştirme, yemleme, su kalitesi izleme, sağlık değerlendirme ve etik bakım uygulamalarının standardizasyonunu kapsar. Deneysel çalışmalar açısından bu yaklaşım, hem hayvan refahını artırır hem de araştırma sonuçlarının tekrarlanabilirliğini güçlendirir.

Üretim tanklarında dişilerin doğum döneminde stresten korunması önemlidir. Doğum öncesi dişiyi çok küçük yavruluklara uzun süre hapsedmek, doğum gecikmesi, yavru kaybı veya anaçta yaralanma riskini artırabilir. Bu nedenle yavruluklar kısa süreli kullanılmalı; bitkili, saklanma alanı bol ve düşük stresli doğum ortamları tercih edilmelidir (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2015).

Hastalık yönetiminde koruyucu yaklaşım esastır. Yeni gelen balıkların karantina altına alınması, ekipman hijyeni, canlı yem kaynaklarının kontrolü, aşırı yemlemeden kaçınma, ölü balıkların hızla uzaklaştırılması ve düzenli su değişimi temel biyogüvenlik uygulamalarıdır. Ticari üretimde hasat, boylama ve nakliye aşamalarında mekanik yaralanmaları azaltacak ekipman ve işlem süreleri kullanılmalıdır (Tamaru vd., 2001).

10. Sonuç

Canlı doğuran akvaryum balıkları, süs balıkları yetiştiriciliğinde biyolojik, ekonomik ve bilimsel açıdan önemli bir gruptur. Lepistes, moli, plati ve kılıçkuyruk gibi türler; kolay üretilirlikleri, yüksek renk ve form çeşitlilikleri, kısa nesil süreleri ve ticari değerleri nedeniyle akvaryumculukta yaygın biçimde yetiştirilmektedir.

Bu türleri diğer birçok akvaryum balığından ayıran temel özellikler iç döllenme, gonopodyum aracılığıyla sperm aktarımı, sperm paketleri/spermatozeugmata, dişi bireylerde sperm depolama ve canlı yavru doğurma mekanizmalarıdır. Özellikle sperm depolama, hem ticari üretimde ardışık doğumların açıklanması hem de deneysel çalışmalarda üreme verilerinin doğru yorumlanması açısından kritik önemdedir.

Başarılı canlı doğuran yetiştiriciliği için su kalitesi yönetimi, dengeli besleme, uygun cinsiyet oranı, yavru koruma, hastalık kontrolü ve refah odaklı bakım uygulamaları bütüncül olarak değerlendirilmelidir. Gelecekte bu türler üzerinde yapılacak çalışmaların, sürdürülebilir süs balığı üretimi, kontrollü seleksiyon, yem katkı maddeleri, renklenme, üreme biyolojisi ve balık refahı alanlarına önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.

Kaynaklar

- Anka, I. Z., Jothi, J. S., Sarker, J., Talukder, A., & Islam, M. S. (2016). Growth performance and survival of guppy (*Poecilia reticulata*): Different formulated diets effect. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 2(3), 451-457.
- Aral, O., & Şahin, D. (2016). Sperm storage and sperm reserve usage in female guppy (*Poecilia reticulata*). *Journal of Academic Documents for Fisheries and Aquaculture*, 2, 4.
- Bierbach, D., Schutz, C., Scherer, U., & Pacher, K. (2024). Standards for scientific fish keeping: Poeciliid fishes with special focus on the guppy (*Poecilia reticulata*) and mollies (*P. mexicana*, *P. latipinna*, *P. formosa*, Cyprinodontiformes, Poeciliidae). *Bulletin of Fish Biology*, 20, 71-85.
- Boaru, A., Struţi, D., & Georgescu, B. (2021). Poeciliidae fish as a model organism. *Poeciliid Research*, 11(1), 12-17.
- Chitra, G., & Krishnaveni, N. (2013). Effect of probiotics on reproductive performance in female livebearing ornamental fish *Poecilia sphenops*. *International Journal of Pure and Applied Zoology*, 1(3), 249-254.
- Cojocariu, L. C., Cîrmăciu, C. T., Bobeică, R. G., Ungureanu, I., Negură, D. C., Stan, H. I., Păsărin, B., & Radu-Rusu, R. M. (2026). Guppy fish (*Poecilia reticulata*) and its use in scientific research: A short narrative review. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*, 59(1), 505-514.
- Constantz, D.G. (1989). Reproductive Biology of Poeciliid Fishes, p. 33-50. In: Meffe, G.K. & F.F. Snelson Jr. (eds). *Ecology and Evolution of Livebearing Fishes (Poeciliidae)*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey
- de Lira, J. J. P. R., Yan, Y., Levasseur, S., Kelly, C. D., & Hendry, A. P. (2021). The complex ecology of genitalia: Gonopodium length and allometry in the Trinidadian guppy. *Ecology and Evolution*, 11, 4564-4576.
- Evans, J. P., Magurran, A. E., & Bisazza, A. (2000). Multiple benefits of multiple mating in guppies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(18), 10074-10076.
- Houde, A. E. (1997). *Sex, color, and mate choice in guppies*. Princeton University Press.
- Iskandar, A., Rafiuddin, M. A., & Sudrajat, A. O. (2021). Improvement of livebearer fish reproductive performance using Oocyte Developer (OODEV). *E3S Web of Conferences*, 322, Article 02001.
- Krak, A. M. (2023). Investigating the salinity tolerance of the swordtail (*Xiphophorus hellerii*) [Master's thesis, DePaul University].

- Langerhans, R. B. (2011). Genital evolution. In J. P. Evans, A. Pilastro, & I. Schlupp (Eds.), *Ecology and evolution of poeciliid fishes* (pp. 228-240). University of Chicago Press.
- Magurran, A. E. (2005). *Evolutionary ecology: The Trinidadian guppy*. Oxford University Press.
- Mousavi-Sabet, H., Azimi, H., Eagderi, S., Bozorgi, S., & Mahallatipour, B. (2014). Growth and morphological development of guppy *Poecilia reticulata* (Cyprinodontiformes, Poeciliidae) larvae. *Poeciliid Research*, 4(1), 24-30.
- Nayak, S. K., Kumar, S., Mogalekar, H. S., & Kumar, A. (2022). Conditioning and breeding of livebearer fishes. *Vigyan Varta*, 3(7), 87-90.
- Ortega-Salas, A. A., Reyes-Bustamante, H., & Reyes, B. H. (2013). Sex reversal, growth, and survival in the swordtail fish *Xiphophorus helleri* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) under laboratory conditions. *Cuadernos de Investigación UNED*, 5(2), 1-5.
- Öz, M., Şahin, D., Öz, Ü., & Aral, O. (2024). Tatlı su akvaryum balıklarının üreme davranışları, ortamı ve materyal seçimleri: Su ürünleri ve ziraatte yenilikçi yaklaşımlar: Sürdürülebilirlik, teknoloji ve ekolojik stratejiler. Akademisyen Yayınevi. <https://doi.org/10.37609/akya.3304.c9201>
- Öz, Ü., Öz, M., & Şahin, D. (2025). Akvaryum balıklarının tatlısu habitatları için zemin materyali olan kayaç yapılar: Su ürünleri değerlendirmeleri. Yaz Yayınları.
- Pradhan, P., & Sharma, U. (2025). Molly fish breeding behavior (*Poecilia sphenops*). *International Journal of Creative Research Thoughts*, 13(5), c75-c79.
- Reznick, D., Bryant, M., Holmes, D., & Ghalambor, C. (2006). The evolution of senescence and post-reproductive lifespan in guppies (*Poecilia reticulata*). *PLoS Biology*, 4(1), Article e7.
- Rodríguez-Machado, S., Elías, D. J., McMahan, C. D., Gruszkiewicz-Tolli, A., Piller, K. R., & Chakrabarty, P. (2024). Disentangling historical relationships within Poeciliidae (Teleostei: Cyprinodontiformes) using ultraconserved elements. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 190, Article 107965.
- Şahin, D., Öz, M., Karşı, Z., Aral, O. & Bahtiyar, M. (2017). Effect of Frozen White Worm (*Enchytraeus* sp.) on Growth of Platy (*Xiphophorus maculatus* Günther, 1866). *Turkish Journal of Aquatic Sciences*, 32(2): 71-75. <https://doi.org/10.18864/TJAS201706>.
- Şahin, Y. (1999). *A'dan Z'ye Akvaryum*. İnkılap Yayınevi.

- Shahjahan, R. M., Ahmed, M. J., Begum, R. A., & Rashid, M. A. (2013). Breeding biology of guppy fish, *Poecilia reticulata* (Peters, 1859), in the laboratory. Journal of the Asiatic Society of Bangladesh, Science, 39(2), 259-267.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. (2015). Canlı doğuran akvaryum balıkları. Denizcilik Alanı, Balıkçılık ve Su Ürünleri Modülü.
- Tamaru, C. S., Cole, B., Bailey, R., Brown, C., & Ako, H. (2001). A manual for commercial production of the swordtail, *Xiphophorus helleri* (CTSA Publication No. 128). University of Hawaii Sea Grant Extension Service.
- Terán, G. E., Koerber, S., Stazonelli, J. C., Aguilera, G., & Mirande, J. M. (2022). Any colour you like: New records of ornamental livebearers (Poeciliidae: Cyprinodontiformes) from freshwaters of Argentina. Ichthyological Contributions of PecesCriollos, 80, 1-8.
- Tolon, M. T. (2018). Determination of hobbyist preferences for livebearer ornamental fish attributes by conjoint analysis. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 18, 119-126.

3. Bölüm

Sert Kabuklu Meyvelerin Biyoaktif Bileşikleri ve İnsan Sağlığına Etkileri

Ersin GÜLSOY¹, Mustafa Kenan GEÇER²

1.GİRİŞ

Sert kabuklu meyveler, zengin besin öğeleri ve biyoaktif bileşik içerikleri sayesinde sağlıklı beslenmenin temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ceviz, badem, fındık, Antep fıstığı, kaju, pekan cevizi, makademya ve Brezilya cevizi gibi türler; yüksek kaliteli bitkisel protein, doymamış yağ asitleri, diyet lifi, vitaminler, mineraller ve çeşitli fitokimyasallar bakımından zengin olmaları nedeniyle fonksiyonel gıda olarak değerlendirilmektedir.

Son yıllarda beslenme alışkanlıklarının kronik hastalıkları önlemedeki rolü daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır. Bu durum, sert kabuklu meyvelere olan ilgiyi artırmıştır. Artık bu meyveler yalnızca besleyici olmalarıyla değil, sağlığı koruyucu etkileriyle de dikkat çekmektedir. Bu yönüyle sert kabuklu meyveler, güncel bilimsel araştırmaların önemli konuları arasında yer almaktadır (Gervasi ve ark., 2021; Ros ve ark., 2021).

Biyoaktif bileşikler, temel besin öğelerinin ötesinde sağlığa katkı sağlayan doğal bileşenlerdir. Fizyolojik işlevleri düzenleyebilir ve insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturabilirler. Sert kabuklu meyveler bu bileşikler açısından oldukça zengindir. Fenolik bileşikler, tokoferoller, fitosteroller, karotenoidler, melatonin ve doymamış yağ asitleri bunların başlıcalarıdır. Bu maddeler güçlü antioksidan ve antiinflamatuvar özelliklere sahiptir. Oksidatif stresi azaltır, hücre hasarı sınırlar ve metabolik süreçleri düzenlerler. Ayrıca bu bileşikler bir arada bulunduklarında sinerjik etki gösterir. Bu etkileşim, sert kabuklu meyvelerin fonksiyonel değerini tek tek etkilerinin ötesine taşır (Gervasi ve ark., 2021; Gonçalves ve ark., 2023).

Epidemiyolojik çalışmalar, randomize kontrollü klinik araştırmalar ve meta-analizler, düzenli sert kabuklu meyve tüketiminin çeşitli sağlık yararlarıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu yararlar arasında kardiyovasküler hastalık riskinin azalması, serum lipid profilinin iyileşmesi, glisemik kontrolün desteklenmesi ve

¹ Prof.Dr.; Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Iğdır, Türkiye Sorumlu yazar:ersin.gulsoy@igdir.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-4217-0695

² Doç.Dr.; Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tohum Bilimi ve Teknolojisi Bölümü, Bolu, Türkiye, mustafakenangeceer@ibu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-1959-9909

inflamasyon belirteçlerinin düşmesi sayılabilir. Ek olarak, bu meyvelerin bağırsak mikrobiyotasını düzenlediği, bilişsel fonksiyonları koruduğu ve yaşlanmaya bağlı bazı fizyolojik değişimleri yavaşlattığı da bildirilmiştir. Ancak tüm bu olumlu etkiler, sert kabuklu meyvelerin dengeli bir beslenme modelinin parçası olarak düzenli tüketilmesi durumunda ortaya çıkar. Bu nedenle bu meyveler tek başına tedavi edici olarak görülmemelidir (Ros ve ark., 2021; Gervasi ve ark., 2021).

Sert kabuklu meyvelerin biyoaktif bileşik profili sabit değildir. Tür, çeşit, yetiştirme koşulları, iklim, toprak özellikleri, hasat zamanı, depolama koşulları ve işleme yöntemleri bu profili önemli ölçüde etkiler. Özellikle kavurma, kurutma ve depolama süreçleri, fenolik bileşikler, tokoferoller ve yağ asidi kompozisyonunda değişimlere yol açabilir. Bu nedenle, sert kabuklu meyvelerin sağlık üzerindeki etkilerini doğru değerlendirebilmek için biyoaktif bileşiklerin kendi varlığı tek başına yeterli değildir. Aynı zamanda bu bileşikleri etkileyen üretim ve işleme faktörlerinin de göz önünde bulundurulması gerekir (Mandalari ve ark., 2021; Gonçalves ve ark., 2023).

2. SERT KABUKLU MEYVELERDE BULUNAN BAŞLICA BİYOAKTİF BİLEŞİKLER

Sert kabuklu meyveler, enerji ve temel besin öğeleri sağlamanın ötesinde, insan sağlığını destekleyen çok sayıda biyoaktif bileşik de içerir. Bitkilerde büyüme, gelişme ve çevresel stresle mücadelede görev alan bu bileşikler, insan vücudunda antioksidan, antiinflamatuvar, hipokolesterolemik ve nöroprotektif etkiler gösterir. Sert kabuklu meyvelerin başlıca biyoaktif bileşenleri arasında fenolik bileşikler, tokoferoller, fitosteroller, karotenoidler, melatonin ve doymamış yağ asitleri bulunur. Bu bileşiklerin tek tek etkilerinin yanı sıra bir arada oluşturdukları sinerjik etki, sert kabuklu meyvelerin fonksiyonel değerini önemli ölçüde artırır (Alasalvar ve ark., 2020; Gonçalves ve ark., 2023).

Sert kabuklu meyvelerin biyoaktif bileşik kompozisyonu sabit değildir. Tür, genotip, yetiştirme ekolojisi, iklim koşulları, olgunluk düzeyi, hasat zamanı ve hasat sonrası uygulamalar bu kompozisyonunda önemli farklılıklara yol açabilir. Özellikle kavurma, kurutma ve depolama gibi işlemler, fenolik bileşiklerin miktarını ve antioksidan kapasiteyi değiştirebilir. Ayrıca birçok fenolik bileşiğin meyvenin ince dış kabuğunda yoğunlaşması, işleme yöntemlerinin besinsel kalite üzerindeki etkisini daha da önemli kılmaktadır (Bodoira ve Maestri, 2020; Gonçalves ve ark., 2023).

Her sert kabuklu meyve türünün kendine özgü bir biyoaktif bileşik profili vardır. Örneğin ceviz, ellagitanenler, melatonin ve α -linolenik asit açısından zengin; badem yüksek α -tokoferol içeriğiyle öne çıkar. Antep fıstığı lutein ve zeaksantin gibi karotenoidler açısından iyi bir kaynaktır. Fındık ise yüksek tokoferol ve fenolik

bileşik içeriğiyle dikkat çeker. Pekan cevizi, yüksek toplam fenolik madde ve proantosiyanınin içeriği sayesinde en güçlü antioksidan kapasiteye sahip türlerden biri olarak bilinir (Alasalvar ve ark., 2020; Gonçaves ve ark., 2023).

Sert kabuklu meyvelerdeki biyoaktif bileşiklerin sağlık üzerindeki etkileri, yalnızca bu bileşiklerin miktarına bağlı değildir. Aynı zamanda biyoyararlanımları ve birbirleriyle olan etkileşimleri de belirleyicidir. Son yıllardaki çalışmalar, fenolik bileşikler, tokoferoller, fitosteroller ve doymamış yağ asitlerini bir arada değerlendirmenin, tek bir bileşiğe odaklanan yaklaşımlardan daha anlamlı sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle sert kabuklu meyveler, farklı biyolojik mekanizmaları aynı anda etkileyebilen çok bileşenli fonksiyonel gıdalar olarak kabul edilmektedir (Gervasi ve ark., 2021; Gonçaves ve ark., 2023).

Tablo 1. Sert kabuklu meyvelerde bulunan başlıca biyoaktif bileşikler ve öne çıkan biyolojik özellikleri

Sert kabuklu meyve	Başlıca biyoaktif bileşikler	Öne çıkan biyolojik özellik
Ceviz (<i>Juglans regia</i> L.)	Ellagitanninler, melatonin, α -linolenik asit	Antioksidan, nöroprotektif
Badem (<i>Prunus dulcis</i>)	α -Tokoferol, flavonoidler	Antioksidan
Fındık (<i>Corylus avellana</i> L.)	α -Tokoferol, fenolik asitler	Kardiyoprotektif
Antep fıstığı (<i>Pistacia vera</i> L.)	Lutein, zeaksantin, γ -tokoferol	Antioksidan, göz sağlığını destekleyici
Kestane (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	Gallik asit, ellajik asit, C vitamini	Antioksidan
Pekan cevizi (<i>Carya illinoensis</i>)	Proantosiyanıninler, ellajik asit	Güçlü antioksidan aktivite

Kaynak: Alasalvar ve ark. (2020); Gervasi ve ark. (2021); Gonçaves ve ark. (2023).

2.1. Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, bitkilerin ikincil metabolitleri arasında yer alan doğal maddelerdir. Yapılarında bir veya daha fazla hidroksil grubu bağlı aromatik halka içerirler. Bitkilerde UV ışınları, patojenler, kuraklık ve diğer çevresel stres koşullarına karşı savunmada görev alırlar. İnsan beslenmesinde ise güçlü antioksidan özellikleriyle en çok araştırılan biyoaktif bileşik gruplarından biridir (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015; Bodoira ve Maestri, 2020). Serbest radikalleri etkisiz hale getirme, metal iyonlarını şelatlama ve oksidatif hasarı azaltma gibi biyolojik aktiviteleri sayesinde fenolik bileşiklerin kronik hastalıkların önlenmesinde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir (Ros ve ark., 2021; Gervasi ve ark., 2021).

Sert kabuklu meyveler fenolik bileşikler açısından zengin doğal kaynaklardır. Ancak fenolik kompozisyon ve miktar türden türe önemli ölçüde değişir. Bu farklılıklar yalnızca genetik yapıya bağlı değildir; yetiştirme ekolojisi, iklim, toprak

özellikleri, hasat zamanı, olgunluk düzeyi ve hasat sonrası uygulamalar da belirleyicidir (Bodoira ve Maestri, 2020; Gonçalves ve ark., 2023). Ayrıca fenolik bileşiklerin büyük bir kısmı meyvenin ince dış kabuğunda yoğunlaşır. Bu nedenle kabuk soyma, kavurma ve depolama gibi işlemler, toplam fenolik madde miktarını ve antioksidan kapasiteyi önemli ölçüde etkileyebilir (Alasalvar ve ark., 2020; Bodoira ve Maestri, 2020).

Fenolik bileşikler genel olarak dört ana grupta incelenir: fenolik asitler, flavonoidler, tanenler ve lignanlar. Sert kabuklu meyvelerde en yaygın fenolik asitler arasında gallik asit, ellajik asit, protokateşik asit, vanilik asit, siringik asit, kafeik asit, p-kumarik asit ve ferulik asit bulunur. Flavonoid grubunda ise kateşin, epikateşin, kuersetin, kaempferol ve bunların çeşitli glikozitleri öne çıkar. Türlerle bakıldığında, cevizde ellagitanenlerin, fındıkta flavan-3-oller ve fenolik asitlerin, bademde flavonoidler ve fenolik asitlerin, Antep fıstığında ise gallik asit türevleri ile flavonoidlerin baskın olduğu görülmektedir (Bodoira ve Maestri, 2020; Gervasi ve ark., 2021; Mandalari ve ark., 2021).

Fenolik bileşiklerin biyolojik etkileri yalnızca serbest radikalleri uzaklaştırmakla sınırlı değildir. Bu bileşikler hücresel sinyal iletim yollarını düzenleyebilir, inflamatuvar sitokin üretimini baskılayabilir ve endojen antioksidan enzimlerin aktivitesini artırabilir. Ayrıca lipid peroksidasyonunu azaltma, damar endotel fonksiyonlarını koruma ve oksidatif DNA hasarını sınırlama gibi mekanizmalar aracılığıyla kardiyovasküler hastalıklar, tip 2 diyabet, bazı kanser türleri ve nörodejeneratif hastalık riskini azaltmaya katkı sağlayabilirler (Ros ve ark., 2021; Gervasi ve ark., 2021). Ancak bu olumlu etkiler, sert kabuklu meyvelerin dengeli ve çeşitli bir beslenme modeli içinde düzenli tüketilmesiyle ilişkilidir.

Son yıllardaki çalışmalar, fenolik bileşiklerin biyolojik etkinliğinin yalnızca toplam fenolik madde miktarına bağlı olmadığını göstermiştir. Fenolik profil, biyoyararlanım ve bağırsak mikrobiyotası tarafından üretilen metabolitler de bu etkinlikte belirleyicidir. Örneğin, cevizdeki ellagitanenler bağırsak mikrobiyotası tarafından ürolitinlere dönüştürülür. Bu metabolitler antiinflamatuvar ve antioksidan özellikler gösterir. Bu nedenle, sert kabuklu meyvelerin sağlık üzerindeki etkileri değerlendirilirken yalnızca toplam fenolik içeriğe değil, fenolik bileşiklerin ayrıntılı profiline ve biyoyararlanımına da bakılması gerektiği vurgulanmaktadır (Mandalari ve ark., 2021; Gonçalves ve ark., 2023).

Tablo 2. Sert Kabuklu Meyvelerde Yaygın Olarak Belirlenen Başlıca Fenolik Bileşikler

Sert kabuklu meyve	Fenolik asitler	Flavonoidler	Diğer fenolik bileşikler
Ceviz (<i>Juglans regia</i> L.)	Gallik asit, ellajik asit, protokateşik asit, vanilik asit	Kateşin, epikateşin, kuersetin	Ellagitanenler (pedunkulagin, tellimagrandin), juglon türevleri
Badem (<i>Prunus dulcis</i>)	Gallik asit, klorojenik asit, p-kumarik asit	Kateşin, epikateşin, kuersetin, kaempferol	Proantosiyanidinler
Fındık (<i>Corylus avellana</i> L.)	Gallik asit, kafeik asit, ferulik asit, sinapik asit	Kateşin, epikateşin, kuersetin	Proantosiyanidinler
Antep fıstığı (<i>Pistacia vera</i> L.)	Gallik asit, protokateşik asit, kafeik asit	Kateşin, epikateşin, eriodiktol, luteolin glikozitleri	Proantosiyanidinler
Kestane (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	Gallik asit, ellajik asit, şırıngik asit	Kateşin, rutin, kuersetin	Ellagitanenler
Pekan cevizi (<i>Carya illinoensis</i>)	Gallik asit, ellajik asit	Kateşin, epikateşin	Proantosiyanidinler, ellagitanenler

Kaynak: Bolling (2017); Del Rio ve ark. (2013); Bodoira ve Maestri (2020); Alasalvar ve ark. (2020); Gervasi ve ark. (2021); Mandalari ve ark. (2021); Gonçalves ve ark. (2023)

2.2. Tokoferoller

Tokoferoller, E vitamini ailesinin doğal üyeleridir ve yağda çözünen en önemli antioksidan bileşikler arasında yer alır. Kimyasal yapılarına göre α -, β -, γ - ve δ -tokoferol olmak üzere dört farklı izomerleri vardır. Bitkilerde özellikle yağ bakımından zengin tohum ve meyvelerde yüksek miktarlarda bulunurlar. Bu bileşikler, hücre zarlarındaki çoklu doymamış yağ asitlerini serbest radikallerin oksidatif hasarına karşı korur ve böylece hücre sel bütünlüğün sürdürülmesinde kritik rol oynar (Brigelius-Flohé ve Traber, 1999; Shahidi ve de Camargo, 2016).

Sert kabuklu meyveler, doğal E vitamini kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Ancak tokoferol miktarı ve izomer dağılımı türden türe belirgin şekilde değişir. Badem, yüksek α -tokoferol içeriğiyle en zengin doğal E vitamini kaynaklarından biri olarak öne çıkar; fındık da önemli miktarda α -tokoferol içerir. Ceviz, Antep fıstığı ve pekan cevizinde ise γ -tokoferol baskın izomerdir. Bu izomer, özellikle reaktif azot türlerini uzaklaştırmadaki etkinliğiyle dikkat çeker (Ryan ve ark., 2007; Shahidi ve de Camargo, 2016). Beslenme çalışmalarına göre, badem α -tokoferol alımına, ceviz ve Antep fıstığı ise γ -tokoferol alımına önemli katkı sağlar.

Tokoferoller, biyolojik sistemlerde zincir kırıcı antioksidanlar olarak çalışır. Lipit peroksidasyonu sırasında oluşan peroksil radikallerini etkisiz hale getirir, böylece

membran fosfolipitlerinin oksidatif yıkımını önler ve hücre zarı stabilitesini korurlar. Okside olmuş tokoferol molekülleri, askorbik asit ve glutatyon gibi diğer antioksidan sistemler tarafından yeniden indirgenebilir. Bu sayede antioksidan savunma mekanizması kesintisiz sürer (Brigelius-Flohé ve Traber, 1999; Shahidi ve de Camargo, 2016).

Son yıllardaki çalışmalar, tokoferollerin yalnızca antioksidan olmadığını göstermektedir. Gen ekspresyonunun düzenlenmesi, inflamatuvar yanıtın kontrolü ve bağışıklık sisteminin desteklenmesi gibi biyolojik süreçlerde de görev alırlar. Özellikle α -tokoferol, endotel fonksiyonlarının korunmasına ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) partiküllerinin oksidasyonunun azaltılmasına katkı sağlar. γ -Tokoferol ise reaktif azot türevlerini uzaklaştırma kapasitesiyle tamamlayıcı biyolojik fonksiyonlar üstlenir (Brigelius-Flohé ve Traber, 1999; Shahidi ve de Camargo, 2016). Ancak tokoferollerin sağlık üzerindeki etkileri, tek başlarına değil; fenolik bileşikler, fitosteroller ve doymamış yağ asitleriyle birlikte oluşturdukları doğal matris içinde değerlendirilmelidir.

Tokoferol düzeyleri; genotip, çevresel koşullar, olgunluk dönemi ve hasat sonrası uygulamalardan önemli ölçüde etkilenir. Özellikle yüksek sıcaklıkta uzun süreli depolama ve oksijenle temas, tokoferollerin parçalanmasını hızlandırır. Uygun depolama koşulları ve kontrollü işleme yöntemleri ise bu bileşiklerin korunmasına katkı sağlar. Ayrıca kuraklık ve yüksek sıcaklık gibi çevresel stres faktörleri, bazı sert kabuklu meyve türlerinde tokoferol sentezini artırabilir. Bu durum, bitkinin oksidatif strese karşı geliştirdiği adaptif bir yanıt olarak değerlendirilmektedir (Shahidi ve de Camargo, 2016).

Tablo 3. Sert Kabuklu Meyvelerde Tokoferol İzomerleri ve Başlıca Biyolojik Etkileri

Sert kabuklu meyve	Baskın tokoferol izomeri	Diğer izomerler	Başlıca biyolojik etkiler
Ceviz (<i>Juglans regia</i> L.)	γ -Tokoferol	α -, δ -Tokoferol	Lipit peroksidasyonunun azaltılması, antioksidan savunmanın desteklenmesi
Badem (<i>Prunus dulcis</i>)	α -Tokoferol	γ -Tokoferol (düşük düzey)	Doğal E vitamini kaynağı, hücre zarının korunması
Fındık (<i>Corylus avellana</i> L.)	α -Tokoferol	γ -Tokoferol	Antioksidan etki, LDL oksidasyonunun sınırlandırılması
Antep fıstığı (<i>Pistacia vera</i> L.)	γ -Tokoferol	α -Tokoferol	Reaktif azot türlerinin uzaklaştırılması, antioksidan etki

Kestane (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	α -Tokoferol	γ -Tokoferol (iz miktarda)	Antioksidan etki ve hücrel koruma
Pekan cevizi (<i>Carya illinoensis</i>)	γ -Tokoferol	α -Tokoferol	Oksidatif stresin azaltılması

Kaynak: Shahidi ve de Camargo (2016); Brigelius-Flohé ve Traber (1999); Ryan ve ark. (2006).

2.3. Fitosteroller

Fitosteroller, bitkilerin hücre zarında bulunan, kimyasal yapı olarak kolesterole benzeyen doğal sterol bileşikleridir. Başlıcaları β -sitosterol, kampesterol ve stigmasteroldur. Bitkilerde hücre zarı bütünlüğünün korunması, zar akışkanlığının düzenlenmesi ve çevresel streslere adaptasyonda görev alırlar. İnsan beslenmesinde ise fitosteroller, özellikle kolesterol metabolizması üzerindeki olumlu etkileriyle en çok araştırılan biyoaktif bileşik gruplarından biridir (Moreau ve ark., 2002; Jones ve AbuMweis, 2009).

Sert kabuklu meyveler, bitkisel yağlarla birlikte fitosterollerin önemli doğal kaynakları arasındadır. Ceviz, badem, fındık, Antep fıstığı ve pekan cevizinde β -sitosterol baskın fitosterol olarak öne çıkar. Daha düşük miktarlarda kampesterol ve stigmasterol de bulunur. Fitosterol miktarı; tür, genotip, yetiştirme koşulları ve özellikle yağ içeriğine göre değişir. Genellikle yağ oranı yüksek olan sert kabuklu meyveler, daha yüksek toplam fitosterol içeriğine sahiptir (Phillips ve ark., 2005; Ryan ve ark., 2007).

Fitosterollerin en iyi bilinen biyolojik etkisi, ince bağırsakta kolesterol ile rekabet ederek emilimini azaltmalarıdır. Yapısal benzerlikleri sayesinde misel oluşumu sırasında kolesterolün yerini alırlar ve böylece bağırsaktan kolesterol emilimini sınırlarlar. Bunun sonucunda serum toplam kolesterol ve LDL kolesterol düzeylerinde düşüş görülür. Bu nedenle fitosteroller, kardiyovasküler hastalık riskini azaltmaya yönelik beslenme stratejilerinde önemli bileşenler olarak kabul edilir (Jones ve AbuMweis, 2009; Ras ve ark., 2014).

Fitosterollerin kolesterol düşürücü etkilerinin yanı sıra antioksidan, antiinflamatuvar ve immünomodülatör özellikleri olduğu da bilinmektedir. Deneysel çalışmalar, bu bileşiklerin inflamatuvar sitokin üretimini baskılayabildiğini, oksidatif stres belirteçlerini azaltabildiğini ve hücre zarı fonksiyonlarının korunmasına katkı sağlayabildiğini göstermiştir. Ancak bu bulguların büyük kısmı hücre kültürü ve hayvan deneylerine dayanmaktadır. İnsanlar üzerindeki biyolojik etkilerin daha iyi anlaşılabilmesi için uzun süreli klinik araştırmalara gereksinim vardır (Moreau ve ark., 2002; Ostlund, 2002).

Sert kabuklu meyvelerin fitosterol içeriği, işleme ve depolama koşullarından da etkilenebilir. Kavurma ve uzun süreli depolama sırasında fitosterollerin bir kısmı okside olarak fitosterol oksidasyon ürünlerine dönüşebilir. Bu nedenle ürün kalitesinin korunması için uygun depolama koşullarının sağlanması ve yüksek

sıcaklık uygulamalarının dikkatle kontrol edilmesi önerilir. Günümüzde fitosteroller, fonksiyonel gıda geliştirme çalışmalarında ve kardiyovasküler sağlığı desteklemeye yönelik beslenme yaklaşımlarında önemli biyoaktif bileşenler olarak değerlendirilmektedir. (Piironen ve ark., 2002; Ryan ve ark., 2007).

Tablo 4. Sert Kabuklu Meyvelerde Başlıca Fitosteroller ve Biyolojik Etkileri

Sert kabuklu meyve	Baskın fitosteroller	Diğer fitosteroller	Başlıca biyolojik etkiler
Ceviz (<i>Juglans regia</i> L.)	β -Sitosterol	Kampesterol, stigmasterol	Kolesterol emiliminin azaltılması, kardiyovasküler sağlığın desteklenmesi
Badem (<i>Prunus dulcis</i>)	β -Sitosterol	Kampesterol, stigmasterol	LDL-kolesterolün düşürülmesine katkı, antioksidan etki
Fındık (<i>Corylus avellana</i> L.)	β -Sitosterol	Kampesterol, stigmasterol	Kardiyoprotektif etki, kolesterol metabolizmasının düzenlenmesi
Antep fıstığı (<i>Pistacia vera</i> L.)	β -Sitosterol	Kampesterol, stigmasterol	Kolesterol emiliminin azaltılması, antiinflamatuvar etki
Kestane (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	β -Sitosterol	Kampesterol	Hücre zarı bütünlüğünün korunması, antioksidan etki
Pekan cevizi (<i>Carya illinoensis</i>)	β -Sitosterol	Kampesterol, stigmasterol	Kardiyovasküler sağlığın desteklenmesi

Kaynak: Moreau ve ark. (2002); Phillips ve ark. (2005); Jones ve AbuMweis (2009); Ryan ve ark. (2006); Ras ve ark. (2014).

2.4. Diğer Biyoaktif Bileşikler

Fenolik bileşikler, tokoferoller ve fitosteroller, sert kabuklu meyvelerde en çok çalışılan biyoaktif grupları olsa da bu meyveler başka önemli bileşikler de içerir. Bunlar arasında karotenoidler, melatonin, skualen ve bazı biyoaktif peptitler sayılabilir. Bu bileşiklerin miktarları tür, genotip ve yetiştirme koşullarına göre değişir. Bu bileşiklerin antioksidan kapasiteye ve sağlık üzerindeki etkilere katkıda bulundukları düşünülmektedir (Shahidi ve de Camargo, 2016; Ros ve ark., 2021).

Karotenoidler, yağda çözünen doğal pigmentlerdir ve sarı, turuncu ile yeşil renkli bitkisel dokularda bulunurlar. Sert kabuklu meyveler arasında Antep fıstığı, lutein ve zeaksantin açısından özellikle zengindir. Bu iki ksantofil, makulada yoğunlaşarak mavi ışığın zararlı etkilerini azaltır ve retina dokusunu oksidatif hasara karşı korur. Düzenli lutein ve zeaksantin alımının, yaşa bağlı makula dejenerasyonu ve bazı görme bozukluklarının riskini azaltmaya katkı sağlayabileceği bilinmektedir (Perry ve ark., 2009; Meléndez-Martínez ve ark., 2022).

Melatonin, bitkilerde doğal olarak sentezlenen indolamin yapısında bir bileşiktir ve güçlü antioksidan özellik gösterir. Sert kabuklu meyveler arasında özellikle ceviz bu açıdan öne çıkan türlerden biridir. Melatoninin serbest radikalleri uzaklaştırdığı, oksidatif stresi azalttığı ve sirkadiyen ritmin düzenlenmesine katkı sağladığı bilinmektedir. Deneysel çalışmalar ayrıca melatoninin nöroprotektif ve antiinflamatuvar özelliklerini de ortaya koymuştur. Ancak sert kabuklu meyvelerden alınan melatoninin insan sağlığı üzerindeki uzun dönem etkilerinin daha ayrıntılı klinik çalışmalarla desteklenmesi gerekir (Reiter ve ark., 2005; Reiter ve ark., 2014).

Sert kabuklu meyvelerde daha düşük miktarlarda bulunan diğer biyoaktif bileşikler arasında skualen, polifenol türevleri, koenzim Q benzeri bileşikler ve çeşitli biyoaktif peptitler yer alır. Bu bileşiklerin antioksidan savunmayı destekleme, hücrel sinyal yollarını düzenleme ve inflamatuvar yanıtı kontrol etme gibi işlevlere katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Ancak bu bileşikler üzerine yapılan çalışmalar, fenolik bileşikler ve tokoferollere kıyasla daha sınırlıdır. Bu bileşiklerin biyoyararlanımları ve fizyolojik etkilerinin daha kapsamlı araştırılması gerekmektedir (Shahidi ve de Camargo, 2016; Ros ve ark., 2021).

Son yıllardaki araştırmalar, sert kabuklu meyvelerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerinin tek bir bileşikten kaynaklanmadığını göstermektedir. Bu etkiler, fenolik bileşikler, tokoferoller, fitosteroller, karotenoidler ve diğer fitokimyasalların oluşturduğu doğal matrisin sinerjik etkisinden gelir. Bu nedenle sert kabuklu meyvelerin beslenmedeki değeri değerlendirilirken, tek tek bileşiklerden çok bütüncül biyoaktif profil dikkate alınmalıdır (Shahidi ve de Camargo, 2016; Ros ve ark., 2021).

Tablo 5. Sert kabuklu meyvelerde bulunan diğer biyoaktif bileşikler ve başlıca biyolojik özellikleri

Biyoaktif bileşik	Kimyasal grubu	Başlıca bulunduğu sert kabuklu meyveler	Temel biyolojik işlevi
Lutein	Karotenoid	Antep fıstığı	Retina ve makula sağlığının desteklenmesi, antioksidan etki
Zeaksantin	Karotenoid	Antep fıstığı	Makulanın korunması, mavi ışığa karşı koruma
Melatonin	İndolamin	Ceviz	Antioksidan, nöroprotektif ve sirkadiyen ritmin desteklenmesi

Skualen	Triterpen	Fındık, Antep fıstığı	Hücre zarı stabilitesi ve antioksidan savunmanın desteklenmesi
Biyoaktif peptitler	Peptit	Ceviz, badem, fındık	ACE inhibitör aktivite ve antioksidan potansiyel

Kaynak: Perry ve ark. (2009); Reiter ve ark.,(2005); Reiter ve ark. (2014); Shahidi ve de Camargo (2016); Meléndez-Martínez ve ark. (2022)

3. SERT KABUKLU MEYVELERİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Sert kabuklu meyveler, içerdikleri fenolik bileşikler, tokoferoller, fitosteroller, karotenoidler, melatonin ve doymamış yağ asitleri sayesinde insan sağlığı üzerinde çok yönlü etkilere sahiptir. Bu bileşiklerin tek tek etkilerinin yanı sıra, doğal gıda matrisi içinde birlikte bulunmaları sinerjik etkileşimler oluşturur ve sağlık yararlarını artırır. Son yıllardaki epidemiyolojik çalışmalar, randomize kontrollü klinik araştırmalar ve meta-analizler, düzenli sert kabuklu meyve tüketiminin kardiyovasküler hastalıklar, tip 2 diyabet, obezite, nörodejeneratif hastalıklar ve bazı kanser türlerinin riskini azalttığını göstermektedir. Ancak bu olumlu etkiler, sert kabuklu meyvelerin dengeli ve çeşitli bir beslenme modelinin parçası olarak tüketilmesiyle ortaya çıkar. Tek başlarına herhangi bir hastalığın tedavisi olarak görülmemelidir (Ros ve ark., 2021; Guasch-Ferré ve ark., 2023).

3.1. Kardiyovasküler Sağlık

Sert kabuklu meyve tüketimi ile kardiyovasküler hastalık riski arasındaki ilişki, en güçlü bilimsel kanıtlara sahip konulardan biridir. Düzenli tüketimin toplam kolesterol ve LDL kolesterolü düşürdüğü, damar endotel fonksiyonlarını iyileştirdiği ve inflamasyonu azalttığı bilinmektedir. Bu etkiler birden fazla mekanizmanın birleşiminden kaynaklanır. Fitosteroller kolesterol emilimini azaltır, tokoferoller LDL oksidasyonunu sınırlar, fenolik bileşikler antioksidan etki gösterir, doymamış yağ asitleri ise lipid metabolizmasını düzenler. Bu mekanizmalar birbirini tamamlar (Ros ve ark., 2021; Guasch-Ferré ve ark., 2023).

3.2. Diyabet ve Metabolik Sağlık

Sert kabuklu meyveler, düşük glisemik indeksleri, yüksek lif içerikleri ve sağlıklı yağ profilleriyle glisemik kontrolü destekleyebilir. Klinik çalışmalar, düzenli tüketimin insülin duyarlılığını artırabildiğini, tokluk hissini uzatarak enerji alımını dengeleyebildiğini ve tip 2 diyabet riskini azaltabildiğini göstermektedir. Bu etkilerin tek bir bileşikten değil, fenolik bileşikler, fitosteroller ve doymamış yağ

asitlerinin ortak etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Salas-Salvadó ve ark., 2014; Guasch-Ferré ve ark., 2023).

3.3. Antioksidan ve Antiinflamatuvar Etkiler

Oksidatif stres ve kronik düşük düzeyli inflamasyon, birçok kronik hastalığın gelişiminde önemli rol oynar. Sert kabuklu meyvelerdeki fenolik bileşikler, tokoferoller ve karotenoidler serbest radikalleri etkisiz hale getirir, oksidatif hasarı sınırlar ve inflamatuvar sitokin üretimini düzenleyerek hücrel savunmayı destekler. Düzenli tüketimin, oksidatif stres belirteçlerini azalttığı ve antioksidan savunma sistemini iyileştirdiği bilinmektedir (Shahidi ve de Camargo, 2016; Ros ve ark., 2021).

3.4. Beyin Sağlığı ve Nöroprotektif Etkiler

Sert kabuklu meyvelerde bulunan melatonin, fenolik bileşikler ve doymamış yağ asitlerinin sinir sistemi üzerinde koruyucu etkiler gösterebileceği bilinmektedir. Özellikle cevizdeki α -linolenik asit ve melatonin ile Antep fıstığındaki lutein ve zeaksantin, oksidatif stresi azaltarak bilişsel fonksiyonların korunmasına katkı sağlayabilir. Bu bulgular nörodejeneratif hastalıkların önlenmesi açısından umut vericidir. Ancak bu alanda daha fazla uzun dönemli klinik çalışmaya ihtiyaç vardır (Reiter ve ark., 2014 ;Ros ve ark., 2021).

3.5. Bağırsak Mikrobiyotası Üzerine Etkileri

Son yıllardaki çalışmalar, sert kabuklu meyvelerdeki polifenoller ve diyet lifinin bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Fenolik bileşikler, bağırsak mikroorganizmaları tarafından daha küçük metabolitlere dönüştürülerek biyoyararlanımı artırır. Diyet lifi ise yararlı bakterilerin gelişimini destekler ve kısa zincirli yağ asitlerinin oluşumuna katkı sağlar. Bu durum, bağırsak sağlığının korunması, inflamasyonun azaltılması ve metabolik dengenin desteklenmesi açısından önemlidir (Mandalari ve ark., 2021; Guasch-Ferré ve ark., 2023). Genel olarak, sert kabuklu meyvelerin sağlık üzerindeki olumlu etkileri tek bir bileşiğe bağlı değildir. Aksine, bu meyvelerin doğal matrisi (fenolik bileşikler, tokoferoller, fitosteroller, karotenoidler, melatonin ve sağlıklı yağ asitleri) birçok biyolojik mekanizmayı aynı anda etkileyerek koruyucu özellik gösterir. Bu nedenle güncel beslenme rehberleri, sert kabuklu meyvelerin düzenli ve porsiyon kontrollü tüketimini sağlıklı beslenme modellerinin önemli bir parçası olarak önermektedir (Ros ve ark., 2021; Guasch-Ferré ve ark., 2023).

Tablo 6. Sert Kabuklu Meyvelerdeki Biyoaktif Bileşiklerin Başlıca Sağlık Etkileri

Biyoaktif bileşik	Temel etki mekanizması	Başlıca sağlık yararları
Fenolik bileşikler	Antioksidan, antiinflamatuvar, serbest radikal temizleme	Kardiyovasküler sağlığın desteklenmesi, glisemik kontrol, oksidatif stresin azaltılması
Tokoferoller	Lipit peroksidasyonunun önlenmesi, hücre zarının korunması	Antioksidan savunma, LDL oksidasyonunun azaltılması
Fitosteroller	Bağırsakta kolesterol emiliminin azaltılması	LDL-kolesterolün düşürülmesi, kardiyovasküler riskin azaltılması
Karotenoidler	Serbest radikal temizleme, ışık kaynaklı oksidatif hasarın azaltılması	Göz ve retina sağlığının desteklenmesi
Melatonin	Oksidatif stresin azaltılması, nöroproteksiyon	Uyku ritminin ve sinir sistemi fonksiyonlarının desteklenmesi
Doymamış yağ asitleri	Lipit metabolizmasının düzenlenmesi, inflamasyonun azaltılması	Kardiyovasküler ve metabolik sağlığın desteklenmesi

Kaynak: Jones ve AbuMweis (2009); Reiter ve ark. (2014); Shahidi ve de Camargo (2016); Del Rio ve ark. (2013); Meléndez-Martínez ve ark. (2022); Ros (2021)

4. SONUÇ

Sert kabuklu meyveler, yüksek besin değerlerinin yanı sıra fenolik bileşikler, tokoferoller, fitosteroller, karotenoidler, melatonin ve diğer biyoaktif bileşenleriyle fonksiyonel gıdalar arasında önemli bir yere sahiptir. Bu bileşikler; antioksidan, antiinflamatuvar, hipokolesterolemik ve nöroprotektif özellikleri sayesinde kardiyovasküler hastalıklar, tip 2 diyabet, metabolik bozukluklar ve nörodejeneratif hastalıklar gibi kronik hastalıkların önlenmesine katkı sağlayabilir. Ancak sert kabuklu meyvelerin sağlık üzerindeki olumlu etkileri tek bir bileşiğe bağlı değildir. Bu etkiler, içerdikleri bileşiklerin doğal gıda matrisi içinde oluşturduğu sinerjik etkileşimden kaynaklanmaktadır.

Son yıllardaki epidemiyolojik çalışmalar, randomize kontrollü klinik araştırmalar ve meta-analizler, düzenli ve dengeli sert kabuklu meyve tüketiminin sağlıklı beslenme modellerinin önemli bir parçası olduğunu göstermektedir. Ancak biyoaktif bileşiklerin miktarı ve biyoyararlanımı; tür, genotip, yetiştirme koşulları, çevresel faktörler, hasat zamanı ve hasat sonrası uygulamalara bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Bu nedenle, yalnızca tüketim miktarına değil, ürün kalitesini korumaya yönelik yetiştirme, depolama ve işleme uygulamalarına da dikkat edilmelidir.

Gelecekteki çalışmaların, farklı sert kabuklu meyve türlerinde biyoaktif bileşiklerin biyoyararlanımı, bağırsak mikrobiyotası ile etkileşimleri ve moleküler etki mekanizmalarına odaklanması beklenmektedir. Omik teknolojiler, metabolomik yaklaşımlar ve kontrollü klinik çalışmaların yaygınlaşması, bu meyvelerin insan sağığı üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı anlaşılmasına katkı sağılayacaktır. Bu yeni bulgular, fonksiyonel gıda geliştirme, kişiselleştirilmiş beslenme uygulamaları ve halk sağığı stratejileri açısından önemli bilimsel ve pratik katkılar sunacaktır.

KAYNAKÇA

- Alasalvar, C., Salas-Salvadó, J., & Ros, E. (2020). Bioactives and health benefits of nuts and dried fruits. *Food Chemistry*, 314, 126192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126192>
- Bodoira, R., & Maestri, D. (2020). Phenolic compounds from nuts: Extraction, chemical profiles, and bioactive properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(34), 9270–9288. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b07160>
- Bolling, B. W. (2017). Almond polyphenols: Methods of analysis, contribution to food quality, and health promotion. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2), 346–368. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12260>
- Brigelius-Flohé, R., & Traber, M. G. (1999). Vitamin E: Function and metabolism. *The FASEB Journal*, 13(10), 1145–1155. <https://doi.org/10.1096/fasebj.13.10.1145>
- Del Rio, D., Rodriguez-Mateos, A., Spencer, J. P. E., Tognolini, M., Borges, G., & Crozier, A. (2013). Dietary (poly)phenolics in human health: Structures, bioavailability, and evidence of protective effects. *Antioxidants & Redox Signaling*, 30(14), 1693–1714.
- Gervasi, T., Barreca, D., Laganà, G., Mandalari, G., & diğerleri. (2021). Health benefits related to tree nut consumption and their bioactive compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 5960. <https://doi.org/10.3390/ijms22115960>
- Gonçalves, B., Borges, O., Costa, H. S., Bennett, R., Santos, M., & Silva, A. P. (2023). Composition of nuts and their potential health benefits—An overview. *Foods*, 12(5), 942. <https://doi.org/10.3390/foods12050942>
- Guasch-Ferre, M., Tessier, A. J., Petersen, K. S., Sapp, P. A., Tapsell, L. C., Salas-Salvado, J., ... & Kris-Etherton, P. M. (2023). Effects of nut consumption on blood lipids and lipoproteins: a comprehensive literature update. *Nutrients*, 15(3), 596.
- Jones, P. J. H., & AbuMweis, S. S. (2009). Phytosterols as functional food ingredients: Linkages to cardiovascular disease and cancer. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 12(2), 147–151. <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e32831ef60d>
- Mandalari, G., Barreca, D., Gervasi, T., Roussel, M. A., Klein, B., Feeney, M. J., & Carughi, A. (2021). Pistachio nuts (*Pistacia vera* L.): Production, nutrients, bioactives and novel health effects. *Plants*, 11(1), 18.
- Meléndez-Martínez, A. J., Mandić, A. I., Bantis, F., Böhm, V., Borge, G. I. A., Brnčić, M., ... & O'Brien, N. (2022). A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: Status quo, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(8), 1999-2049.

- Moreau, R. A., Whitaker, B. D., & Hicks, K. B. (2002). Phytosterols, phytostanols, and their conjugates in foods: Structural diversity, quantitative analysis, and health-promoting uses. *Progress in Lipid Research*, 41(6), 457–500. [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(02\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(02)00006-1)
- Ostlund, R. E. (2002). Phytosterols in human nutrition. *Annual Review of Nutrition*, 22, 533–549. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.22.020702.075220>
- Perry, A., Rasmussen, H., & Johnson, E. J. (2009). Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and nuts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(1), 9–15.
- Phillips, K. M., Ruggio, D. M., & Ashraf-Khorassani, M. (2005). Phytosterol composition of nuts and seeds commonly consumed in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(24), 9436–9445. <https://doi.org/10.1021/jf051505h>
- Piironen, V., Toivo, J., & Lampi, A. M. (2002). Plant sterols in cereals and cereal products. *Cereal Chemistry*, 79(1), 148–154.
- Ras, R. T., Geleijnse, J. M., & Trautwein, E. A. (2014). LDL-cholesterol-lowering effect of plant sterols and stanols across different dose ranges: A meta-analysis of randomized controlled studies. *The British Journal of Nutrition*, 112(2), 214–219. <https://doi.org/10.1017/S0007114514000750>
- Reiter, R. J., Manchester, L. C., & Tan, D. X. (2005). Melatonin in walnuts: influence on levels of melatonin and total antioxidant capacity of blood. *Nutrition*, 21(9), 920–924.
- Reiter, R. J., Tan, D. X., & Galano, A. (2014). Melatonin: Exceeding expectations. *Physiology*, 29(5), 325–333.
- Ros, E., Singh, A., & O’Keefe, J. H. (2021). Nuts: natural pleiotropic nutraceuticals. *Nutrients*, 13(9), 3269.
- Ryan, E., Galvin, K., O’Connor, T. P., Maguire, A. R., & O’Brien, N. M. (2007). Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(3), 85–91.
- Salas-Salvado, J., Guasch-Ferre, M., Bullo, M., & Sabate, J. (2014). Nuts in the prevention and treatment of metabolic syndrome. *The American journal of clinical nutrition*, 100, 399S–407S.
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects. *Journal of Functional Foods*, 18, 820–897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Shahidi, F., & De Camargo, A. C. (2016). Tocopherols and tocotrienols in common and emerging dietary sources: Occurrence, applications, and health benefits. *International journal of molecular sciences*, 17(10), 1745.

4. Bölüm

Ruminant Beslemede Tek Hücre Proteini: Sürdürülebilir Bir Yem Kaynağı

Yaşar Deray SAYGI¹

1. Giriş

Dünya nüfusunun hızla artması, kentleşmenin yaygınlaşması ve yaşam standartlarının yükselmesine bağlı olarak hayvansal kaynaklı gıdalara olan talep her geçen yıl artmaktadır. Bu durum hayvancılık sektörünün daha verimli ve sürdürülebilir üretim sistemlerine yönelmesini zorunlu kılmaktadır. Ancak hayvansal üretimde verim artışının sağlanabilmesi büyük ölçüde kaliteli ve ekonomik yem kaynaklarının teminine bağlıdır (FAO, 2023). Günümüzde yem giderleri, hayvancılık işletmelerinde toplam üretim maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmakta olup özellikle protein kaynaklı yem hammaddelerindeki fiyat artışları üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Soya küspesi ve balık unu gibi geleneksel protein kaynaklarında yaşanan arz dalgalanmaları, artan maliyetler ve çevresel kaygılar, alternatif protein kaynaklarına yönelik araştırmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur (Poore & Nemecek, 2018).

Geleneksel protein yemlerinin üretimi, yüksek düzeyde arazi kullanımı ile birlikte önemli miktarda su ve enerji tüketimini de beraberinde getirmektedir. Özellikle soya üretiminin bazı bölgelerde ormansızlaşma, biyolojik çeşitlilik kaybı ve sera gazı emisyonlarının artışı ile ilişkilendirilmesi, daha sürdürülebilir protein kaynaklarının geliştirilmesine yönelik çalışmaları hızlandırmıştır (Pexas et al., 2023). Son yıllarda böcek unları, algler, tarımsal yan ürünler ve mikrobiyal kaynaklı proteinler alternatif yem kaynakları arasında öne çıkmaktadır. Bu alternatifler içerisinde tek hücre proteinleri (Single Cell Protein; SCP), sahip oldukları yüksek besin değeri ve sürdürülebilir üretim özellikleri nedeniyle dikkat çekmektedir.

Tek hücre proteinleri; bakteri, maya, küf ve mikroalg gibi mikroorganizmaların biyokütlelerinden elde edilen protein bakımından zengin ürünler olarak tanımlanmaktadır. Bu mikroorganizmalar kısa sürede yüksek miktarda biyokütle oluşturabilmekte ve farklı organik substratları değerlendirerek kaliteli protein üretebilmektedir. Tarımsal atıklar, gıda sanayii yan ürünleri ve çeşitli organik artıkların SCP üretiminde hammadde olarak

¹ Öğr. Gör. Dr., Kayseri Üni. Safiy Çıkrıkçıoğlu MYO. Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bahçe Tarımı programı. ORCID:0009-0003-7993-7671

değerlendirilebilmesi, bu teknolojiyi hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha cazip bir alternatif haline getirmektedir (Aidoo et al., 2023).

SCP kaynakları yalnızca yüksek protein içerikleriyle değil, aynı zamanda dengeli amino asit profilleri, vitaminler, mineraller ve çeşitli biyolojik aktif bileşenleri içermeleriyle de öne çıkmaktadır. Kullanılan mikroorganizma türüne bağlı olarak ham protein içerikleri %50–80 seviyelerine ulaşabilmekte ve bu değerler birçok geleneksel yem hammaddesinden daha yüksek olabilmektedir. Özellikle lizin ve metiyonin gibi bazı esansiyel amino asitler bakımından zengin olmaları, SCP'nin hayvan besleme açısından önemini artırmaktadır.

Ruminant hayvanlar, gelişmiş rumen mikrobiyal ekosistemleri sayesinde farklı protein kaynaklarını etkin şekilde değerlendirebilme yeteneğine sahiptir. Bu nedenle SCP'nin ruminant beslemedeki potansiyeli son yıllarda yoğun olarak araştırılmaktadır. Rumen mikroorganizmaları tarafından sentezlenen mikrobiyal protein, hayvanın amino asit gereksiniminin önemli bir bölümünü karşılamakta ve verim performansında belirleyici rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar, bazı SCP kaynaklarının rumen mikrobiyal aktivitesini desteklediğini, sindirilebilirliği iyileştirdiğini ve mikrobiyal protein sentezini artırabildiğini göstermektedir (Chaucheyras-Durand & Fonty, 2001; Desnoyers et al., 2009; Øverland & Skrede, 2017). Tek hücre proteinlerine yönelik ilginin artmasının temel nedenlerinden biri de sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olmalarıdır. Yaşam döngüsü analizlerinden elde edilen bulgular, SCP üretiminin geleneksel protein kaynaklarına göre daha düşük arazi gereksinimi sunduğunu ve aynı zamanda organik atıkların etkin bir şekilde değerlendirilmesine imkân sağladığını göstermektedir (Fernández-López et al., 2024). Böylece düşük ekonomik değere sahip yan ürünlerin yüksek kaliteli proteine dönüştürülmesi mümkün olmakta ve döngüsel biyoekonomi anlayışına katkı sağlanmaktadır.

Bunun yanı sıra hayvancılık sektörünün çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik geliştirilen stratejiler içerisinde SCP teknolojileri önemli bir yer edinmeye başlamıştır. Özellikle metan, metanol ve çeşitli endüstriyel yan ürünlerden yararlanılarak üretilen mikrobiyal proteinler, düşük karbon ayak izine sahip yem kaynakları olarak değerlendirilmektedir (Zhuang et al., 2024). Bu özellikleri nedeniyle SCP'nin gelecekte sürdürülebilir yem sistemlerinin önemli bileşenlerinden biri olması beklenmektedir. Her ne kadar SCP önemli avantajlar sunsa da yüksek üretim maliyetleri, teknolojik altyapı gereksinimleri, bazı ürünlerdeki yüksek nükleik asit düzeyleri ve mevzuatla ilgili kısıtlamalar gibi çeşitli zorluklar halen varlığını sürdürmektedir. Bununla birlikte biyoteknoloji ve endüstriyel fermentasyon alanlarında yaşanan gelişmeler, bu sorunların giderek azalacağına işaret etmektedir.

Bu çalışmada tek hücre proteinlerinin üretim yöntemleri, besinsel özellikleri, ruminant beslemede kullanım potansiyeli, rumen fermentasyonu ve hayvan performansı üzerindeki etkileri ile sürdürülebilir hayvancılık açısından önemi, güncel bilimsel çalışmalar temel alınarak ele alınacaktır.

2. Tek Hücre Proteinlerinin Kaynakları ve Üretim Yaklaşımları

Tek hücre proteinleri (Single Cell Protein; SCP), bakteri, maya, filamentöz mantar ve alg gibi mikroorganizmaların biyokütlelerinden elde edilen yüksek protein içerikli ürünlerdir. SCP kavramı ilk olarak 20. yüzyılın ortalarında artan küresel protein ihtiyacına çözüm arayışları kapsamında ortaya çıkmış, başlangıçta insan beslenmesine yönelik değerlendirilmiş olsa da zamanla hayvan besleme alanında önemli bir araştırma ve uygulama konusu haline gelmiştir (Anupama & Ravindra, 2000). Günümüzde SCP, yalnızca alternatif bir protein kaynağı olarak değil, aynı zamanda sürdürülebilir üretim sistemlerinin önemli bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Tek hücre proteinlerini geleneksel yem proteinlerinden ayıran en önemli özellik, mikroorganizmaların çok kısa sürede yüksek miktarda biyokütle oluşturabilmesidir. Uygun koşullar sağlandığında bazı bakteri türleri birkaç saat içinde biyokütlelerini iki katına çıkarabilmekte, bu da bitkisel ve hayvansal protein üretim sistemlerine kıyasla oldukça yüksek bir üretim verimliliği ortaya koymaktadır. Ayrıca üretimin yıl boyunca kesintisiz şekilde sürdürülebilmesi, düşük arazi ihtiyacı ve farklı organik atık kaynaklarının hammadde olarak değerlendirilebilmesi, SCP teknolojilerine olan ilgiyi giderek artırmaktadır (Øverland & Skrede, 2017).

SCP üretiminde kullanılan mikroorganizmalar, besinsel özellikleri bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. Bakteriler, yüksek çoğalma hızları ve kısa sürede yoğun biyokütle oluşturabilmeleri nedeniyle en dikkat çeken gruplar arasında yer almaktadır. Özellikle metanotrofik ve hidrojen oksitleyen bakteriler üzerine yapılan araştırmalar son yıllarda belirgin şekilde artış göstermiştir. *Methylococcus capsulatus* ve *Cupriavidus necator* gibi türler, yüksek protein içerikleri ve dengeli amino asit profilleri sayesinde hayvan beslemede potansiyel alternatifler olarak değerlendirilmektedir. Bu bakterilerden elde edilen biyokütlerde ham protein oranı çoğu zaman %60'ın üzerine çıkabilmekte, bazı durumlarda ise %80'e kadar ulaşabilmektedir (Matassa et al., 2020). Bununla birlikte, bakteriyel SCP'nin görece yüksek nükleik asit içeriği bazı kullanım alanlarında sınırlayıcı bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hayvan besleme uygulamalarında en yaygın kullanılan mikrobiyal kaynaklardan biri ise mayalardır. Özellikle *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*, *Kluyveromyces marxianus* ve *Yarrowia lipolytica* türleri ticari açıdan önem

taşımaktadır. Maya biyokütlesi yalnızca protein kaynağı olarak değil, içerdiği β -glukanlar, mannan oligosakkaritler ve çeşitli fonksiyonel bileşikler nedeniyle de dikkat çekmektedir. Bu özellikleri sayesinde maya ürünleri ruminant beslemede protein katkısının yanı sıra rumen düzenleyici yem katkısı olarak da kullanılabilir. Çeşitli araştırmalar *Saccharomyces cerevisiae*'nin rumen ortamında selülotik bakterilerin gelişimini desteklediğini ve rumen pH'sının dengelenmesine katkı sağladığını ortaya koymuştur (Aguilar-Toalá et al., 2022).

Filamentöz mantarlar da SCP üretiminde değerlendirilen önemli mikroorganizma grupları arasında yer almaktadır. *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Rhizopus* türleri yüksek protein içeriklerinin yanı sıra çeşitli enzimler ve metabolitler üretebilmeleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Özellikle *Fusarium venenatum* kaynaklı mikoproteinler son yıllarda hem insan hem de hayvan besleme alanında ilgi görmektedir (Wiebe, 2002). Mantar kökenli biyokütlelerin lif içeriklerinin bakterilere göre daha yüksek olması, ruminantlar açısından belirli avantajlar sağlayabilmektedir (Øverland & Skrede, 2017).

Mikroalgler SCP kaynakları arasında farklı ve önemli bir grubu oluşturmaktadır. *Spirulina* (*Arthrospira platensis*), *Chlorella vulgaris* ve *Scenedesmus* türleri, yüksek protein içeriklerinin yanı sıra karotenoidler, vitaminler, antioksidanlar ve çoklu doymamış yağ asitleri bakımından da zengindir. Türlerle bağlı olarak protein oranları %40 ile %70 arasında değişmekte olup bu özellikleri onları yalnızca bir protein kaynağı değil, aynı zamanda fonksiyonel bir yem bileşeni haline getirmektedir (Becker, 2007). Ayrıca mikroalglerin, süt ve et ürünlerinde yağ asidi profilini iyileştirme ve enterik metan emisyonlarını azaltma potansiyeli nedeniyle hayvancılıkta önemli bir alternatif olarak değerlendirildiği bildirilmektedir (Becker, 2007; Abedin & Taha, 2018; Roque et al., 2019).

SCP üretiminin ekonomik başarısını belirleyen en önemli unsurlardan biri kullanılan substrattır. Geleneksel üretim sistemlerinde şeker ve nişasta kaynakları yaygın olarak kullanılmış olsa da son yıllarda organik atıkların değerlendirilmesine dayanan üretim modelleri ön plana çıkmaktadır. Gıda sanayi yan ürünleri, melas, peynir altı suyu, meyve ve sebze işleme atıkları ile biyodizel üretiminden elde edilen gliserol gibi çeşitli yan ürünler mikroorganizma gelişimi için uygun substratlar olarak kullanılabilir (Ritala et al., 2017). Bu yaklaşım hem üretim maliyetlerini düşürmekte hem de atık yönetimine katkı sağlayarak döngüsel ekonomi hedeflerini desteklemektedir.

Endüstriyel ölçekte SCP üretimi büyük ölçüde fermentasyon teknolojilerine dayanmaktadır. Üretim süreci genellikle uygun mikroorganizmanın seçimi, besi ortamının hazırlanması, fermentasyonun yürütülmesi, biyokütlenin ayrıştırılması ve son ürünün işlenmesi aşamalarından oluşur. Kullanılan mikroorganizma

türüne bağlı olarak farklı üretim sistemleri tercih edilmektedir. Sıvı fermentasyon sistemleri en yaygın yöntemlerden biri olurken, katı faz fermentasyonu özellikle tarımsal yan ürünlerin değerlendirilmesinde önemli bir alternatif olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda ise gaz fermentasyonu teknolojileri dikkat çekici bir gelişim göstermiştir. Metan, hidrojen ve karbondioksit gibi gazların karbon kaynağı olarak kullanıldığı bu sistemler, hem yüksek verimli protein üretimine imkân sağlamakta hem de sera gazlarının değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır (Linder, 2019).

Biyoteknoloji alanında yaşanan gelişmeler, SCP üretim süreçlerinin sürekli olarak iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Metabolik mühendislik uygulamaları, yeni mikroorganizma suşlarının geliştirilmesi ve proses optimizasyon çalışmaları sayesinde üretim verimliliği artarken maliyetlerin de giderek düşmesi beklenmektedir (Matassa et al., 2020). Bu gelişmeler, tek hücre proteinlerinin gelecekte yalnızca alternatif bir yem hammaddesi olmaktan çıkarak sürdürülebilir hayvancılık sistemlerinde temel protein kaynaklarından biri haline gelebileceğine işaret etmektedir.

3. Ruminant Beslemede Tek Hücre Proteinleri: Kullanım ve Sindirim Üzerine Etkileri

Ruminant hayvanlar, gelişmiş rumen mikrobiyal ekosistemleri sayesinde çok farklı yem hammaddelerini etkin bir şekilde değerlendirebilmektedir. Bu özellik, alternatif protein kaynaklarının kullanımında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Son yıllarda geleneksel protein yemlerinin maliyetlerindeki artış ve daha sürdürülebilir üretim sistemlerine yönelim, tek hücre proteinlerinin (SCP) ruminant beslemedeki önemini artırmıştır. Özellikle soya küspesi gibi bitkisel protein kaynaklarına olan bağımlılığın azaltılması amacıyla yapılan çalışmalar, SCP'nin alternatif bir protein kaynağı olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir (Øverland & Skrede, 2017). SCP kaynakları mikroorganizma türüne bağlı olarak genellikle %40–80 arasında değişen ham protein içeriğine sahiptir. Bunun yanında esansiyel amino asitler bakımından zengin olmaları besleme açısından önemli bir avantaj oluşturmaktadır (Matassa et al., 2020). Ancak SCP'nin önemi yalnızca protein düzeyiyle sınırlı değildir; rumen mikrobiyal aktiviteyi destekleyerek yemden yararlanma ve hayvan performansı üzerinde de etkili olabilmektedir (Chaucheyras-Durand, F., & Fonty, G. 2001).

Rumen, bakteri, protozoa, mantar ve arkelerden oluşan oldukça karmaşık bir mikrobiyal yapıya sahiptir ve bu mikroorganizmalar yemleri fermente ederek uçucu yağ asitleri ve mikrobiyal protein üretmektedir. SCP kaynakları, içerdiği kolay yararlanılabilir azot bileşikleri sayesinde bu mikrobiyal aktiviteyi destekleyebilmektedir. Özellikle maya kökenli ürünlerin rumen ortamında

olumlu etkiler oluşturduğu, *Saccharomyces cerevisiae*'nin oksijen seviyesini azaltarak anaerobik koşulları desteklediği ve selülotik bakterilerin gelişimini teşvik ettiği bildirilmektedir (Chaucheyras-Durand & Fonty, 2001). Bu durum lif sindiriminin ve genel sindirilebilirliğin iyileşmesine katkı sağlayabilmektedir. Ayrıca bazı çalışmalar, maya türevlerinin mikrobiyal protein sentezini artırarak ince bağırsağa ulaşan kullanılabilir protein miktarını yükselttiğini ortaya koymuştur (Newbold et al., 1996).

Rumen fermentasyonu açısından değerlendirildiğinde SCP kaynaklarının uçucu yağ asidi üretimi ve pH stabilitesi üzerinde de etkili olabileceği bildirilmektedir. Özellikle maya bazlı ürünlerin fermentasyon dengesini destekleyerek sindirim ortamının daha stabil kalmasına katkı sağladığı ifade edilmektedir (Desnoyers et al., 2009). Bununla birlikte bazı bakteri ve mikroalg kökenli SCP'lerde hücre duvar yapısı nedeniyle sindirilebilirlik kısmen sınırlandırılabilir. Bu nedenle çeşitli işleme ve ön parçalama teknikleri ile biyoyararlanımın artırılmasına yönelik çalışmalar da önem kazanmaktadır (Matassa et al., 2020).

Genel olarak SCP kaynakları, rumen mikrobiyal aktiviteyi destekleyerek sindirim verimliliğini artırabilen ve sürdürülebilir hayvancılık hedeflerine katkı sağlayabilen alternatif protein kaynakları arasında değerlendirilmektedir. Bununla birlikte üretim maliyetleri, kalite standardizasyonu ve uygulama sınırlılıklarının giderilmesi, bu ürünlerin gelecekte daha yaygın kullanılabilmesi açısından önem taşımaktadır.

4. Tek Hücre Proteinlerinin Hayvan Performansı, Süt ve Et Üretimi Üzerine Etkileri

Ruminant işletmelerinde yeni yem hammaddelerinin değerlendirilmesinde hayvan performansı üzerindeki etkiler temel belirleyicilerden biridir. Tek hücre proteinleri (SCP), yüksek kaliteli protein yapısı, dengeli amino asit profili ve bazı durumlarda içerdii biyolojik aktif bileşenler sayesinde bu açıdan dikkat çeken alternatifler arasında yer almaktadır. Yapılan alışmalar, SCP'nin uygun oranlarda rasyonlara dahil edilmesiyle yem tüketimi, canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranında iyileşmeler sağlanabildiğini göstermektedir. Özellikle maya kökenli ürünlerin rumen mikrobiyal aktiviteyi destekleyerek lif sindirilebilirliğini artırması, performans üzerindeki olumlu etkilerin önemli nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Desnoyers et al., 2009). Bunun yanında bazı araştırmalar, maya ve bakteri temelli proteinlerin belirli oranlarda geleneksel protein kaynaklarının yerini alabileceğini ve performans kaybı oluşturmadığını, hatta bazı durumlarda günlük canlı ağırlık artışında %5–10 civarında artış sağlanabildiğini ortaya koymuştur (Øverland & Skrede, 2017).

Yem tüketimi ve yemden yararlanma açısından değerlendirildiğinde SCP kaynaklarının ekonomik açıdan da bazı avantajlar sunduğu görülmektedir. Özellikle yem maliyetlerinin yüksek olduğu sistemlerde, yem değerlendirme oranındaki küçük iyileşmeler bile işletme verimliliğine yansımaktadır. Maya kökenli ürünlerin rumen ortamını dengeleyerek iştahı desteklediği ve özellikle stres koşullarında kuru madde tüketimini artırabildiği bildirilmektedir (Chaucheyras-Durand & Fonty, 2001). Buna bağlı olarak besin maddelerinden yararlanma düzeyi artmakta ve daha verimli bir besleme süreci oluşmaktadır.

Süt verimi açısından bakıldığında, özellikle maya bazlı SCP uygulamalarının olumlu sonuçlar verdiği çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir. Yapılan derlemeler, *Saccharomyces cerevisiae* kullanımının süt veriminde ortalama %3–8 arasında artış sağlayabildiğini göstermektedir (Desnoyers et al., 2009). Bu durumun rumen pH dengesinin korunması, lif sindiriminin iyileşmesi ve mikrobiyal protein sentezinin artması gibi mekanizmalarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Mikroalg ve bakteri kökenli SCP kaynaklarına ilişkin veriler daha sınırlı olmakla birlikte, süt bileşimi üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğine dair bulgular bulunmaktadır.

Et ve süt kalitesi açısından SCP kaynaklarının özellikle mikroalg içerikleri nedeniyle yağ asidi profili üzerinde etkili olabildiği bilinmektedir. Omega-3 yağ asitlerindeki artış, EPA (Eikosapentaenoik asit) ve DHA (Dokosaheksaenoik asit) düzeylerinin yükselmesi ve omega-3/omega-6 oranındaki iyileşmeler, ürünlerin besin değerini artıran unsurlar arasında yer almaktadır (Shingfield et al., 2013). Benzer şekilde et verimi ve karkas özellikleri üzerine yapılan çalışmalar, SCP kullanımının büyüme performansını desteklediğini, yemden yararlanmayı iyileştirdiğini ve genel karkas kalitesini koruduğunu göstermektedir (Matassa et al., 2020). Ayrıca et lipid profilinde daha sağlıklı bir yapı ve doymuş yağ asitlerinde azalma gibi olumlu değişimler de bildirilmektedir (Becker, 2007).

Hayvan sağlığı açısından bakıldığında SCP'nin yalnızca bir protein kaynağı olmadığı, aynı zamanda bazı fonksiyonel etkiler de sağlayabildiği görülmektedir. Maya hücre duvarında bulunan β -glukanlar, mannan oligosakkaritler ve nükleotidler bağışıklık sistemi üzerinde destekleyici rol oynayabilmektedir. Bu bileşenlerin bağışıklık yanıtını güçlendirdiği, oksidatif stresi azalttığı ve bağırsak sağlığını olumlu yönde etkilediği bildirilmektedir (Aguilar-Toalá et al., 2022). Bu yönüyle SCP, özellikle yüksek verimli ve çevresel stres altındaki hayvanlarda performansın sürdürülebilirliğine katkı sağlayabilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde SCP kaynakları, uygun kullanım düzeylerinde hayvan performansı, süt ve et verimi ile sağlık parametreleri üzerinde olumlu etkiler gösterebilen alternatif protein kaynaklarıdır. Ancak bu etkilerin mikroorganizma türü, üretim yöntemi, rasyon yapısı ve hayvanın

fizyolojik durumu gibi faktörlere bağılı olarak değişebildiği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmaların, en uygun kullanım düzeylerinin belirlenmesine ve uzun dönemli performans sonuçlarının daha net ortaya konulmasına odaklanması önem taşıamaktadır.

5. Çevresel Sürdürülebilirlik ve Ekonomik Boyut

Küresel nüfusun artması ve hayvansal ürünlere olan talebin yükselmesi, hayvancılık sektöründe çevresel etkilerin daha fazla tartışılmasına neden olmuştur. Günümüzde arazi kullanımı, su tüketimi ve sera gazı emisyonları gibi faktörler, hayvansal üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği üzerinde doğrudan belirleyici olmaktadır. Özellikle yem üretimi bu etkinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Soya küspesi gibi yaygın kullanılan protein kaynaklarının üretimi yüksek miktarda arazi ve su gerektirmekte, bazı bölgelerde ise ormansızlaşma ve ekosistem kayıpları ile ilişkilendirilmektedir (Poore & Nemecek, 2018). Bu durum alternatif protein kaynaklarına olan ilgiyi artırmış ve tek hücre proteinlerini (SCP) sürdürülebilir üretim açısından önemli bir seçenek haline getirmiştir. SCP üretimi aynı zamanda döngüsel ekonomi yaklaşımıyla da uyumlu bir yapı sunmaktadır. Çünkü birçok mikroorganizma tarımsal artıklar, gıda sanayi yan ürünleri, peynir altı suyu, melas, biyodizel gliserolü ve çeşitli organik atık akımları üzerinde gelişebilmektedir. Bu sayede düşük değerli atıklar yüksek proteinli biyokütleyle dönüştürölmekte, hem atıkların değerlendirilmesi sağlanmakta hem de yeni bir yem hammaddesi ortaya çıkmaktadır (Ritala et al., 2017). Bu yaklaşım hem kaynak kullanımını daha verimli hale getirmekte hem de çevresel yükün azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Arazi ve su kullanımı açısından bakıldığında SCP üretim sistemlerinin geleneksel protein kaynaklarına göre daha avantajlı olduğu görölmektedir. Kontrollü fermentasyon süreçleri sayesinde çok daha küçük alanlarda yüksek miktarda protein üretilebilmekte ve birim protein başına düşen arazi ihtiyacı önemli ölçüde azalmaktadır. Benzer şekilde su tüketimi de kapalı ve geri kazanımlı sistemler sayesinde daha düşük seviyelere indirilebilmektedir. Bu özellikler SCP'yi özellikle doğal kaynakların kısıtlı olduğu bölgelerde daha dikkat çekici bir alternatif haline getirmektedir (Matassa et al., 2020).

Sera gazı emisyonları açısından değerlendirildiğinde, SCP üretiminin çevresel performansı kullanılan mikroorganizma türü ile üretim teknolojisine bağılı olarak değişkenlik göstermektedir. Bununla birlikte genel eğilim, geleneksel protein üretim sistemlerine kıyasla daha düşük emisyon potansiyeline sahip olduğu yönündedir (Pexas et al., 2023). Özellikle metan kullanan bakteriler, hidrojen oksitleyen mikroorganizmalar ve karbondioksit temelli biyolojik sistemler, gelecekte karbon döngüsüne katkı sağlayabilecek önemli üretim modelleri olarak

öne çıkmaktadır. Bu sistemler, sera gazlarının biyokütleye dönüştürülmesine imkân vererek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunmaktadır (Matassa et al., 2020).

Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde ise SCP teknolojilerinin önünde hâlen bazı önemli kısıtlar bulunmaktadır. Yüksek kurulum maliyetleri, enerji ihtiyacı, fermentasyon sistemlerinin altyapı gereksinimleri ve özellikle kurutma aşamasının maliyeti üretim giderlerini artıran temel unsurlar arasındadır. Ancak biyoteknolojik gelişmelerin ilerlemesi ve üretim ölçeğinin büyümesiyle birlikte bu maliyetlerin zaman içinde düşmesi beklenmektedir (Aidoo et al., 2023). Genel olarak yapılan ekonomik değerlendirmeler, SCP'nin uzun vadede geleneksel protein kaynaklarıyla rekabet edebilir bir seviyeye ulaşabileceğine işaret etmektedir (Matassa et al., 2020).

6. Ticari Gelişmeler ve Gelecek Perspektifleri

Son yıllarda tek hücre proteinleri (SCP) alanında yapılan çalışmaların yalnızca akademik düzeyde kalmayıp ticari uygulamalara da hızla yansıdığı görülmektedir. Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya'da farklı şirketler tarafından maya, bakteri ve mikroalg temelli üretim sistemleri endüstriyel ölçekte geliştirilmektedir. Özellikle metan bazlı bakteriyel protein üretimi, mikroalg yetiştiriciliği ve büyük ölçekli fermentasyon teknolojileri bu alanda öne çıkan uygulamalar arasında yer almaktadır (Ritala et al., 2017; Aidoo et al., 2023). Artan yatırım ilgisi, SCP'nin laboratuvar ortamından çıkıp daha geniş üretim sistemlerine geçişini hızlandırmaktadır.

Geleceğe bakıldığında SCP teknolojilerinin gelişimini birkaç temel faktörün şekillendireceği söylenebilir. Biyoteknolojik ilerlemeler, yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaşması, karbon nötr üretim yaklaşımları ve daha hassas besleme stratejileri bu sürecin merkezinde yer almaktadır. Genetik ve metabolik mühendislik çalışmaları sayesinde daha verimli mikroorganizma suşlarının geliştirilmesi, üretim kapasitesini artırma açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim süreçlerine entegre edilmesi ve CO₂ bazlı sistemlerin geliştirilmesi, çevresel performansın daha da iyileştirilmesine katkı sağlayabilir. Tüm bu gelişmeler birlikte değerlendirildiğinde, SCP'nin gelecekte sürdürülebilir hayvancılık sistemlerinde daha güçlü ve daha yaygın kullanılan bir alternatif haline gelmesi beklenmektedir (Matassa et al., 2020).

7. Sonuç

Son yıllarda tek hücre proteinleri (SCP) üzerine yürütülen çalışmaların sadece akademik yayınlarla sınırlı kalmadığı, giderek daha fazla endüstriyel uygulamaya dönüştüğü görülmektedir. Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya'da faaliyet gösteren farklı firmalar, maya, bakteri ve mikroalg temelli üretim sistemlerini büyük ölçekli tesislere taşımaya başlamıştır. Özellikle metan kullanan bakteriyel protein üretimi, mikroalg kültürleri ve endüstriyel fermantasyon süreçleri bu alanda öne çıkan başlıca uygulamalardır. Yatırımların artmasıyla birlikte SCP'nin laboratuvar aşamasından çıkıp ticari üretim düzeyine daha hızlı ulaştığı söylenebilir.

Gelecek açısından bakıldığında, bu teknolojinin yönünü belirleyecek birkaç önemli unsur öne çıkmaktadır. Biyoteknoloji alanındaki ilerlemeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim süreçlerine daha fazla dahil edilmesi, karbon salımını azaltmaya yönelik sistemler ve daha hedefe yönelik besleme yaklaşımları bunların başında gelmektedir. Genetik ve metabolik mühendislik sayesinde daha yüksek verimle çalışan mikroorganizmaların geliştirilmesi, üretim kapasitesini artırma açısından önemli bir avantaj sağlayacaktır. Ayrıca CO₂ temelli üretim sistemlerinin yaygınlaşması ve enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanması, çevresel açıdan daha dengeli bir yapı oluşturabilir. Tüm bu gelişmeler birlikte değerlendirildiğinde, SCP'nin ilerleyen yıllarda sürdürülebilir hayvancılıkta daha görünür ve daha yaygın kullanılan bir protein kaynağı haline gelmesi beklenmektedir.

Kaynaklar

- Abedin, M. A., & Taha, H. M. (2018). Microalgae as a sustainable source of animal feed. *Journal of King Saud University – Science*, 30(2), 255–263. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.11.006>
- Aguilar-Toalá, J. E., Santiago-López, L., Peres, C. M., Peres, C., Garcia, H. S., & Vallejo-Cordoba, B. (2022). Potential of microbial biomass as sustainable protein source. *Food Research International*, 152, 110918. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110918>
- Aidoo, R., Kwofie, E. M., Adewale, P., Lam, E., & Ngadi, M. (2023). Overview of single cell protein: Production pathway, sustainability outlook, and digital twin potentials. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 577–598. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.012>
- Anupama, & Ravindra, P. (2000). Value-added food: Single cell protein. *Biotechnology Advances*, 18(6), 459–479. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00045-8)
- Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25(2), 207–210. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- Chaucheyras-Durand, F., & Fonty, G. (2001). Establishment of cellulolytic bacteria and development of fermentative activities in the rumen of gnotobiotically reared lambs receiving the microbial additive *Saccharomyces cerevisiae*. *Reproduction Nutrition Development*, 41(1), 57–68. <https://doi.org/10.1051/rnd:2001111>
- Desnoyers, M., Giger-Reverdin, S., Bertin, G., Duvaux-Ponter, C., & Sauvant, D. (2009). Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *Journal of Dairy Science*, 92(4), 1620–1632. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1414>
- Fernández-López, L., González-García, P., Fernández-Ríos, A., Aldaco, R., Laso, J., Martínez-Ibáñez, E., Iglesias, E., Gutiérrez-Fernández, D., Pérez-Martínez, M. M., Marchisio, V., Figueroa, M., Baptista de Sousa, D. A., Méndez, D., & Margallo, M. (2024). *Life cycle assessment of single cell protein production: A review of current technologies and emerging challenges*. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 8, 100079. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2024.100079>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2023). *The state of food and agriculture 2023*. FAO.
- Matassa, S., Boon, N., Pikaar, I., & Verstraete, W. (2020). Microbial protein: Future sustainable food supply route with low environmental footprint.

- Microbial Biotechnology*, 13(2), 335–344. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13555>
- Newbold, C. J., Wallace, R. J., & McIntosh, F. M. (1996). Mode of action of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a feed additive for ruminants. *British Journal of Nutrition*, 76(2), 249–261. <https://doi.org/10.1079/BJN19960029>
- Øverland, M., & Skrede, A. (2017). Yeast-derived products for animal feed and human food: Growing importance in sustainable production systems. *Animal Feed Science and Technology*, 236, 174–188. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.016>
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Ritala, A., Häkkinen, S. T., Toivari, M., & Wiebe, M. G. (2017). Single cell protein—State-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2009. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>
- Roque, B. M., Salwen, J. K., Kinley, R., & Kebreab, E. (2019). Inclusion of Asparagopsis in ruminant diets reduces enteric methane emission and improves production. *PLOS ONE*, 14(11), e0224410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224410>
- Shingfield, K. J., Bonnet, M., & Scollan, N. D. (2013). Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. *Animal*, 7(Suppl. 1), 132–162. <https://doi.org/10.1017/S1751731112001681>
- Wiebe, M. G. (2002). *Myco-protein from Fusarium venenatum: A well-established product for human consumption*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 58, 421–427. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-0939-4>
- Zhuang, X., Zhang, Y., & Chen, H. (2024). Carbon-based microbial protein production systems for sustainable feed applications: Current status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 194, 114285. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114285>

5. Bölüm

Kimyasal Mücadeleye Alternatif Biyokontrol: Bakteriyel Antagonizmada Sekonder Metabolitler ve Etki Mekanizmaları

Sevda UÇAR¹, Şeyma ALIM², Neslihan DİKBAŞ²

Bitkiler sürekli olarak mantarlar, Oomycetes, nematodlar, bakteriler ve virüsler gibi çeşitli bitki patojenlerine maruz kalmaktadır. Bitki patojenleri, dünya çapında mahsul verimliliği için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Çeşitli patojenik hastalıklar nedeniyle yıllık mahsul verimi kayıpları %20 ila %40 arasında değişmektedir (Ayaz ve ark., 2023). Giderek artan nüfusa yeterli gıda sağlamak için, çeşitli mahsul hastalıklarını kontrol etmek üzere etkili bir yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır (Ayaz, 2021). Araştırmacılar, mahsul hastalıklarını kontrol etmek için çevre dostu bir strateji olarak faydalı mikroorganizmaların kullanımını araştırmaktadırlar.

Biyolojik mücadele, zararlı popülasyonunu makul bir seviyeye indirmek için ekolojik ve sürdürülebilir olarak etkili bir yöntemdir. Küresel gıda üretimini artırabilecek ve gıda tedarikinin güvenliğini garanti altına alabilecek çevre dostu uygulamaların kullanılabilmesi için mikrobiyal biyolojik mücadele ajanlarının (MBCA) uygulanması gerekmektedir. Biyoteknolojideki son gelişmeler, faydalı mikroorganizmaların bulunması, karakterize edilmesi, ürettikleri yan ürünlerin tanımlanması endüstriye sunulmalarını kolaylaştırmıştır. Çok çeşitli bakteri cinsleri, çeşitli bitki hastalıkları için biyolojik kontrol ajanları olarak büyük potansiyel göstermiştir (Zubair ve ark., 2021). Son yıllarda moleküler biyoloji ve -omik teknolojilerdeki hızlı gelişmeler, bakteriyel biyokontrolün genetik ve biyokimyasal temellerinin ayrıntılı biçimde aydınlatılmasına olanak sağlamıştır. Bu süreç yaklaşık 70 yılı aşkındır ve kimyasal kontrole alternatif olmak için umut vaat etmeye devam etmektedir.

Biyolojik kontrol süreçlerinin anlaşılması, mikrobiyolojik ve biyokimyasal araştırmalar yoluyla elde edilen bilgilere dayanan moleküler tekniklerin

¹ Arş. Gör. Dr., Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sivas. sucar@sivas.edu.tr. ORCID: 0000-0002-3612-457X

² Arş. Gör., Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Erzurum. seyma.alim@atauni.edu.tr. ORCID: 0000-0001-6684-7974

² Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Erzurum. neslidikbas@atauni.edu.tr. ORCID: 0000-0001-9096-2761

geliştirilmesi sayesinde, MBCA'lar tarafından kullanılan antagonistik süreçlerin anlaşılmasını geliştiren yeni yöntemlerin keşfi son zamanlarda mümkün olmuştur. Ayrıca, genom dizileme yoluyla elde edilen bilgi alanının genişlemesi sayesinde biyolojik kontrol tekniklerinin daha derinlemesine anlaşılması mümkün olmaktadır (Satam ve ark., 2023; McGaughan ve ark., 2024; Krishnamoorthi ve ark., 2024). Biyolojik kontrol ajanları, bitkileri patojen istilasına karşı korumak için çeşitli mekanizmalar kullanır. Bir veya birden fazla süreci kullanarak, bitki hastalığını azaltmak için patojenle doğrudan veya dolaylı olarak etkileşime girebilirler. Rizosfer bölgesindeki BCA'lar (biyolojik kontrol ajanları), alan ve kaynaklar için rekabet eder ve lipopeptitler, biyosülfaktanlar, bakteriyosinler, uçucu maddeler ve patojenlerin gelişimini veya metabolik aktivitesini yavaşlatarak antimikrobiyal etkiye sahip enzimler gibi farklı maddeler aracılığıyla patojenlerin patojenitesine müdahale eder (Babalola, 2010). BCA, enfeksiyonları başlatan sinyal moleküllerinin üretimini engelleyerek patojenlerin quorum sensing (QS) mekanizmasını bozabilir. Kitinazlar, pektinazlar ve laktonazlar gibi enzimler QS sinyal moleküllerini parçalayabilen QS inhibitörleri üretmektir. Bu inhibitörler patojen istilasını önler ve bitki hastalığı semptomlarının azalmasına yol açar (Saeki ve ark., 2020). Doğrudan etkileşimlere ek olarak, BCA'lar bir savunma tepkisini tetikleyerek veya bitki büyümesini teşvik ederek bitkileri dolaylı olarak koruyabilir (Bonaterra ve ark., 2022). Özellikle bitkinin rizofosferinde bulunan bitki hastalıkları için mikroorganizmaların biyolojik kontrol ajanı olarak kullanılması alternatif bir yaklaşımdır. Aslında, mikroorganizmalar toprağa tek başına veya bir grup (konsorsiyum) halinde verildiğinde, konuk bitkiyle etkileşime girer ve bitki büyümesini ve savunmasını etkileyen bir olaylar zincirini başlatır (Benaissa, 2024). Sonuç olarak konakçı, çeşitli patojenlere karşı bir savunma mekanizması görevi gören çok çeşitli biyokimyasal ve moleküler savunma süreçlerinden geçer. Ayrıca, faydalı mikroorganizmalar, besin ve su alımını artırarak veya bitki sağlığını korumak için hormonlar gibi kimyasallar üreterek bitki büyümesini teşvik edebilirler (Harman ve ark., 2021; Wei ve ark., 2024). Patojenler, faydalı mikroorganizmalar ve bitkiler arasındaki karmaşık etkileşimlerde birçok süreç rol oynar. Bu nedenle, biyolojik kontrolün sorumlusu olan mekanizmaları belirlemek büyük bir zorluktur (Köhl, 2019; Pandit, 2022). PGPR'nin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki faydalı etkileri iyi bilinmektedir (Wang ve ark., 2021; Santoyo ve ark., 2021; Chen ve Liu, 2024). Bitki köklerini kolonize etme ve bitki patojenlerinin çoğalmasına karşı etkili ikincil bileşikler üretme kapasiteleri nedeniyle, bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), bu rizofosfer antagonistleri arasında ilk saldırı hattında yer almaktadır.

Modern tarım sürekli olarak gelişmekte ve değişim geçirmektedir. Yüzyılımızda verimde önemli bir artışa olanak sağlayan kimyasal gübrelerin ve pestisit ürünlerinin kullanımının yaygınlaşmasından sonra, biyoteknolojinin ve yeni yetiştirme tekniklerinin yükselişi devam etmektedir (Montagu, 2019). Şimdilerde en önemli kaygı; 2050 yılına kadar yaklaşık 9 milyar insanı beslemektir. Bu bağlamda, en önemli sorunlardan biri, bitkilerden elde edilenler de dahil olmak üzere gıda üretim kapasitelerini çevreyi koruyarak genişletmektir. Belirli bir mahsulün üretimindeki artış, genellikle yetiştirme tekniklerinin iyileştirilmesiyle, özellikle de ana hastalıklara dirençli daha verimli çeşitlerin kullanımıyla bağlantılıdır (Liliane ve Charles, 2020; Lahlali ve ark., 2022). Verimlilik ve uluslararası ticaretteki sürekli artış, bazı hastalıkların görülme sıklığını artırarak daha fazla pestisit uygulanmasını gerektirmektedir. Bu pestisitler çevresel kirliliği artırır ve işlenmiş ekosistemde kimyasal kalıntılar biriktirir. Farklı ülkeler, kullanılan pestisitlerin yaklaşık %50 oranında azaltılmasını sağlayabilecek bir koruma planı oluşturmaya başlamıştır (Macfadyen ve ark., 2014). Genetik yollar gibi diğer alternatifler, pratik açıdan ilginç kontrol yöntemleri sunarken, patojene dirençli genlerin ortaya çıkma riskini de artırır. Mikroorganizmalar kullanılarak yapılan biyolojik kontroller gibi diğer alternatifler, sentetik kimyasalların kullanımıyla ilişkili kirliliği ve rahatsızlıkları en aza indirmek ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini büyük ölçüde azaltmak için olası bir yoldur (Usta, 2013).

Canlı varlıklardan elde edilen düşük moleküler boyutlu ikincil metabolitler, antimikrobiyaller, büyüme destekleyiciler, hastalık baskılayıcılar, enzim inhibitörleri, sağlık uyarıcıları ve patojenik mantarlar, bakteriler ve böceklerle karşı biyolojik kontrol ajanları dahil olmak üzere tipik terapötik, biyolojik ve tarımsal uygulamalara sahiptir (Gibson ve ark., 2014). Biyoaktif metabolitlerin elde edilmesi için sistematik stratejiler, moleküler kütüphanelerle eşleşmeyen biyolojik aktivitelere sahip bilinen ikincil metabolitlerin izolasyonunu ve tanımlanmasını veya çok yönlü biyolojik aktivitelere sahip bilinmeyen doğal moleküllerin aranmasını içerir. Bu seçeneklerin her ikisi için de, mikrobiyal dünya, kapsamlı kimyasal çeşitliliği nedeniyle büyük bir doğal molekül deposu sunmaktadır (Pawar ve ark., 2019).

Bu bölümüm temel amacı bakterilerle gerçekleştirilen biokontrol mekanizmalarını moleküler düzeyde sistematik bir biçimde omik teknolojiler ışığında mekanizmaların nasıl karakterize edildiğini ortaya çıkarmaktır. Antibiyotik üretimi, siderofor sentezi, litik enzim aktivitesi, uçucu organik bileşikler, kuorum algılama sistemleri ve bitki savunma yanıtlarının indüklenmesi gibi temel antagonistik süreçler moleküler perspektiften ele alınacaktır.

Kimyasal Mücadeleye Alternatif Olarak Biyokontrol

Biyolojik mücadele yöntemleri, tarım, ormancılık ve sera yetiştiriciliğinde zararlıların yönetimi kapsamında dünya çapında uygulanmaktadır. Biyolojik mücadele, bazen böcek ilaçlarına ve akarisitlere direnç geliştirmiş eklembacaklı zararlılarla mücadele etmek için kullanılmış olsa da, ilk biyolojik mücadele programları modern pestisit çağından öncesine dayanmaktadır. Yirminci yüzyıl boyunca tarımın yoğunlaşması, artan uluslararası ticaret ve bunun sonucunda zararlı türlerinin bitkiler ve ürünler üzerinde dünya çapında yayılmasıyla birlikte gerçekleşmiştir. Buna ek olarak, yeni ürünlerin tanıtılması ve tüketicilerin hastalısız ürünlere olan talebi, kimyasal kontrole aşırı bağımlılığa yol açmış ve zararlı direnci, ekonomik olmayan üretim maliyetleri, gıda zincirleri yoluyla biyolojik birikim, çevre kirliliği, biyoçeşitlilik kaybı ve insan sağlığı riskleri gibi iyi bilinen sonuçlara neden olmuş ve tarımda kullanılan kimyasalların sadece insanlar için değil, gıda döngüsü ve doğrudan veya dolaylı temas yoluyla büyük ekolojik sistemler için de fizyolojik zehirler olduğu tespit edilmiştir (Kulkarni, 2023).

Dünya nüfusundaki artış, hem nitelik hem de miktar açısından tarımsal ürünlere olan ihtiyacı önemli ölçüde artırmış ve bu da bitki hastalıklarıyla mücadelede kimyasal pestisit kullanımında önemli bir artışa yol açmıştır. Bazı zararlıları kontrol etmek için biyolojik mücadele yapmak mümkün olsa bile kolay uygulanması ve kısa sürede sonuç alınmasından dolayı, kimyasal mücadele tercih edilmektedir. İhtiyaçtan fazla insektisit kullanımı direnç sorunları ve doğal dengenin bozulması, toprak, su ve havanın toksikant olarak birikmesi ekolojik ve ekonomik sorunlara neden olmaktadır (Arya ve ark., 2025; Abd ve ark., 2025).

Tüketiciler, son yıllarda kimyasal fungusitlerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki yan etkileri konusunda oldukça endişeli hale gelmiştir. Bitkileri korumak için alternatif çözümler üzerine araştırmalar yoğunlaşmış ve dünya çapındaki araştırmacıların geniş ilgisini çekmiştir. Bu alternatifler arasında, faydalı mikroorganizmalar yoluyla biyolojik kontrol büyük bir önem kazanmış ve aralarında *Bacillus* , *Pantoea* , *Streptomyces* , *Trichoderma* , *Clonostachys* , *Pseudomonas* , *Burkholderia* ve bazı mayaların da bulunduğu çeşitli biyolojik kontrol ajanları (BCA'lar) bilimsel olarak taranmıştır (Lahlali ve ark., 2022).

Biyolojik mücadele, genel olarak "zararlıların ve hastalıkların etkilerini azaltmak için doğal veya genetiği değiştirilmiş organizmaların, genlerin veya gen ürünlerinin kullanımı" olarak tanımlanır (Collinge ve ark., 2022). Ayrıca Biyolojik mücadele, bir organizmanın başka bir organizmanın popülasyon yoğunluğunu azaltmak için kullanılması olarak tanımlanabilir ve bu nedenle hayvanların, yabani otların ve hastalıkların kontrolünü içerir. Biyolojik mücadeleye yönelik birçok yaklaşım kavramsal olarak 1) zararlı popülasyonunun

düzenlenmesi (klasik yaklaşım), 2) dışlayıcı koruma sistemleri (bitki veya hayvan üzerinde enfeksiyonu veya zararlı saldırısını engelleyen canlı bir mikroorganizma bariyeri) ve 3) öz savunma sistemleri (direnç ve bağışıklık) olarak kategorize edilebilir. Biyolojik mücadelenin ajanları arasında, zararlı veya hastalık etkeninin kendisi (patojenlerin avirulent suşları), antagonistler veya doğal düşmanlar veya kendini savunmak için yönetilen veya manipüle edilen (bağışıklık kazandırılan) bitki veya hayvan bulunur (Cook, 1988; Singh, 2022).

Biyokontrol Ajanı Olarak Bakteriler

Mikrobiyal biyolojik kontrol ajanları, bitki patojenlerini çeşitli yöntemlerle kontrol etmeye yardımcı olur; bunlar arasında bitkilerin patojenik mikroorganizmalara karşı direnç kazanması veya ön hazırlık yapması, alan ve besin maddeleri için rekabet etmesi veya patojen büyümesi için gerekli büyüme koşullarını bozmayı içeren diğer yöntemler yer alır. Çeşitli mikroorganizmaların antibiyotikler, enzimler ve bitki patojenlerini kontrol etmeye yardımcı olan çeşitli diğer metabolitler ve bileşikler ürettiği bilinmektedir. Bu özelliklere sahip mikroorganizmalar antagonist olarak kullanılırlar (Fenta ve ark., 2023). Hastalık kontrolü ve tarımsal verimin artırılması açısından, mikroorganizmalar (bakteriler, mantarlar ve virüsler), bitki hammaddeleri ve solucan gübresi gibi Mikrobiyal biyolojik kontrol ajanları (MBKA)'lar etkilidir. MBKA'lar bitki hastalıklarını kontrol etmek ve patojenleri uzaklaştırmak için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan MBKA'lar arasında *Agrobacterium* sp., *Bacillus* sp. ve *Pseudomonas* sp. gibi bakteriler; ve *Aspergillus* spp., *Ampelomyces* sp., *Candida* sp., *Coniothyrium* sp., *Gliocladium* sp. ve *Trichoderma* sp. gibi mantarlar yer almaktadır (Gawai, 2018).

Özellikle *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Burkholderia* spp. ve *Trichoderma* sp. gibi bazı antagonistik biyolojik kontrol ajanlarının (BCA'lar) *Agrobacterium radiobacter* var *radiobacter*, *Erwinia* sp., *Fusarium* sp., *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora* sp. ve *Pythium* sp. gibi yaprak ve toprak kaynaklı hastalıklara neden olan patojenlere karşı başarılı bir şekilde kullanılmasından sonra, biyolojik kontrol açısından umut verici başarılar ortaya çıkmıştır (Boro ve ark., 2022). Bu BKA'lar, parazitlik, rekabet, antimikrobiyal bileşiklerin salınımı ve patojen sporlarının, miselyumlarının, hücrelerinin ve endosporlarının yok edilmesi yoluyla patojenlerle etkileşime girerek bitki hastalıklarını etkili bir şekilde kontrol edebilir (Nehra ve ark., 2022).

Mikrobiyal antagonizmada sekonder metabolit üretimi

Antibiyotik Üretimi

Antibiyotikler, yarım yüzyıldan fazla bir süredir hem hastane hem de toplum sağlığında enfeksiyon kontrolünde devrim yaratmış ve kullanımları artık cerrahi ve kemoterapi gibi modern tıbbın büyük bir bölümünü de kaplamıştır (Singh ve ark., 2025).

Bazı kombinasyonlar klinik veya deneysel olarak etkilidir. İn silico olarak modelleme ve ikili etkileşim ağları kullanarak hangi antibiyotiklerin sinerjik veya antagonistik olacağını bile tahmin edebiliriz (Lv ve ark., 2022; Chaachouay, 2025). Antibiyotikler hücrenin çeşitli kısımlarını hedef alır ve belirli antibiotik kombinasyonlarının sinerjik olmak için nasıl birlikte çalıştığına dair çeşitli hipotezler ortaya atılmıştır. Ayrıca, sinerjik veya antagonistik reaksiyonlar sırasında antibiyotik monoterapisinde yer alanlardan tamamen bağımsız benzersiz genler, düzenleyici elementler veya tüm gen setleri yer alabilir (Sullivan ve ark., 2020). Biyoyararlanım modülasyonu, inhibitör inhibisyonu, ardışık blokaj, karşılıklı stabilizasyon, paralel yol inhibisyonu ve düzenleme modifikasyonu gibi deneysel verilere dayanarak, sinerjik ve antagonistik antibiyotik etkinliğini yönlendiren moleküler mekanizmaları açıklamak için ortaya atılan 6 model vardır (Stromsnes ve ark., 2021).

1960'larda, antibiyotik sinerjisini yönlendiren ilk etki mekanizmalarından biri, bir antibiyotiğin aktivitesinin diğerinin konsantrasyonunun artmasına izin verdiği 'Biyoyararlanım Modülasyonu' modeli olarak önerildi (Yeh ve ark., 2006). Bu model, bir antibiyotiğin diğerinin atılımını etkili bir şekilde azaltarak, atılım sistemleriyle rekabet ettiği durumlara da uygulanır. İnhibitör inhibisyonu; antibiyotik direnç stratejilerini maskeleyen ve başka bir antibiyotiğin etkinliğini geri kazandıran 'yardımcı' antibiyotiklerin klasik kavramını açıklar. Sıralı Blokaj modeli, antibiyotiklerin herhangi bir biyolojik yedekliliği atlamak veya bu yoldaki bir veya her iki ilacın aktivitesini güçlendirmek için aynı yolu hedeflediği ve böylece daha şiddetli bir fenotip kaybına neden olduğu kombinasyon tedavisi, bireysel antibiyotiklerin ve sinerjik kombinasyonların etki mekanizmalarını tanımlar. 'Karşılıklı Stabilizasyon' modeli, her bir antibiyotiğin diğerinin kendi hedefine bağlanmasını stabilize ettiği faydalı antibiyotik kombinasyonlarının etki mekanizmasını açıklamaktadır. 'Paralel Yol İnhibisyonu' modeli, çeşitli sınıflardan antibiyotikleri içeren kombinasyon tedavisi için bir etki mekanizması olarak önerilmiştir. Bu etki mekanizması, gözlemlenen bir fenotip için gerekli olan paralel yollardaki farklı hedeflere etki eden antibiyotiklere dayanmaktadır. 'Düzenleme Modifikasyonu' olarak adlandırılan yeni bir model, bir antibiyotiğin transkripsiyonel yanıtının diğerinin etkisini etkilediğinde ortaya çıkar. Bu model ilk olarak *E. coli*'de protein sentezini ve DNA sentezini inhibe eden bir dizi

antibiyotik arasındaki şiddetli antagonistik etkileşimler için geliştirilmiştir (Etebu ve Ariekpar, 2016; Sullivan ve ark., 2020; Nehra ve ark., 2022).

Fenazinler

Fenazinler, azot içeren heterosiklik aromatik bileşiklerdir ve özellikle mikroorganizmalar tarafından üretilen biyolojik olarak aktif sekonder metabolitler olarak bilinirler. Kimyasal olarak, iki benzen halkasının bir pirazin halkası üzerinden birleşmesiyle oluşan üç halkalı aromatik bir çekirdeğe sahiptirler. *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptomyces*, *Burkholderia* gibi bakteri türleri tarafından sentezlenirler. Bazı klinik ve biyolojik açıdan önemli fenazin türevleri: Pyocyanin, *Pseudomonas aeruginosa* tarafından üretilir, Mavi-yeşil pigment oluşturur ve oksidatif stres oluşturarak konak hücre hasarına neden olur. Piyosiyenin, Gram-negatif, aerobik, çubuk şeklinde bir bakteri olan *Pseudomonas aeruginosa* suşlarının %95'i tarafından üretilen, suda çözünebilen, mavi-yeşil, redoks aktif bir pigmenttir. *P. aeruginosa*, lipazlar, proteazlar ve ramnolipidler gibi çeşitli biyoteknolojik ürünlerin üretiminde ticari olarak önemlidir. Piyosiyenin ilk olarak 1860 yılında Fordos (1863) tarafından *P. aeruginosa* ile enfekte olmuş mavi renkli cerrahi pansumanlardan ekstrakte edilmiş ve farklı çözücülerdeki çözünürlüğü ve rengindeki pH'a özgü değişimler de dahil olmak üzere fiziksel özellikleri incelenmiştir. Bu pigment, irin ve yara pansumanlarına mavi renk verdiği için, Yunanca "irin" ve "mavi" kelimelerinden türetilen "piyosiyenin" olarak adlandırılmış ve laboratuvarında saf formda elde edilen ilk doğal fenazin olmuştur (Gonçalves ve Vasconcelos, 2021). Piyosiyenin kristal yapısı aydınlatılmıştır ve azot içeren bir fenazin türevidir olarak sınıflandırılmıştır. Bakteriyel pigmentin her molekülü, iki adet N -metil-1-hidroksifenazin alt biriminden oluşur (Jayaseelan ve ark., 2014). PAO1 ve PA14 gibi *P. aeruginosa* suşlarının yaklaşık %95'i, PCA'nın piyosiyenine dönüştürülmesi için gerekli olan iki yeni fenazin spesifik gen olan phzM ve phzS'nin ekspresyonu sayesinde piyosiyenin üretebilmektedir (Muller ve Merrett, 2014 ; Saleem ve ark., 2021).

Phenazine-1-carboxylic acid, antifungal aktivite gösterir ve tarımsal biyokontrol uygulamalarında önemlidir. Fenazin-1-karboksilik asidin pirinç başakçık çürüklüğü hastalığının etmeni olan *Fusarium proliferatum*'un büyümesini önemli ölçüde engellediği ve fumonisin biyosentezini baskıladığı bildirilmiştir (Huang ve ark., 2026). Fenazin-1-karboksilik asit olarak tanımlanan bileşik, Gram pozitif bakterilere ve aktinomisetlere karşı antimikrobiyal özellikler sergilemiştir (Jain ve Pandey, 2016).

Pirrolnitrin

Pirrolnitrin, bazı bakteriler tarafından üretilen klorlu bir fenilpirol türevidir antifungal bileşiktir (van Pée ve Ligon, 2000; Zameer ve ark., 2025). Özellikle Pirrolnitrin (PRN), tarımsal, farmasötik ve endüstriyel uygulamalar açısından muazzam antimikrobiyal öneme sahip mikrobiyal bir pirol halometabolitidir (Zameer ve ark., 2025). Bu bileşik ve türevleri, rizofosferik floresan veya floresan olmayan *Pseudomonas* türleri ile *Serratia* ve *Burkholderia*'dan izole edilmiştir (Pawar ve ark., 2019; Dukare ve ark., 2021) Geniş bir yelpazedeki fitopatogenik mantarlara karşı biyolojik kontrol sağladıkları ve böylece toprak ve tohum kaynaklı fitopatogenik hastalıklara karşı güçlü bitki koruma potansiyeli sundukları bilinmektedir (Dukare ve ark., 2021; Chantzis, 2025). Etki mekanizması, mantar hücrelerinde elektron transport zincirini bozarak hücresel solunumu inhibe etmeye dayanır. Bu nedenle geniş spektrumlu antifungal aktivite gösterir ve özellikle bitki patojeni mantarlara karşı etkilidir (Priyadarsni ve ark., 2023). Tarımsal biyokontrol uygulamalarında önemli bir rol oynar; ayrıca bazı dermatolojik antifungal ilaçların geliştirilmesine de öncülük etmiştir (Matio Kemkuignou ve ark., 2026).

Lipopeptidler (surfactin, iturin, fengisin)

Bitki büyümesini teşvik eden bakteriler (PGPR), antibiyotikler, litik enzimler, sideroforlar ve uçucu organik bileşikler içeren ikincil metabolitler üreterek mantarları inhibe eder. PGPR'ler zwittermisin A, kanosamin, fenazinler, viskosamid, butirolakton, 2,4-diasetilfloroglukinol, pyoluteorin, pirrolnitrin, siklik lipopeptitler, hidrojen siyanür vb. üretir. Bitki ürünlerinin veriminde azalmaya, bitki dokularının zayıflamasına, kök ve sürgünlerin uzunluğunun azalmasına ve dolayısıyla büyük ekonomik kayıplara neden olan *Aspergillus*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* ve *Alternaria* türleri gibi mantar patojenlerini inhibe ederler (Patwardhan ve ark., 2022).

Lipopeptidler (surfactin, iturin ve fengisin), başlıca *Bacillus subtilis* ve ilişkili *Bacillus* türleri tarafından üretilen yüzey aktif özellikte siklik peptit-lipit bileşikleridir (Sreelakshmi, 2024). Surfactin güçlü bir biyosürfaktan olup hücre membranında por oluşturarak etki gösterir. İturin grubu antifungal aktivitesiyle bilinir ve mantar hücre zarında geçirgenlik artışına neden olur. Fengisin ise özellikle filamentöz mantarlara karşı etkilidir ve fosfolipitlerle etkileşerek membran bütünlüğünü bozar (Ukaegbu ve ark., 2023). Bu lipopeptidler hem tarımsal biyokontrol ajanı olarak hem de biyoteknolojik ve farmasötik araştırmalarda antimikrobiyal, antiviral ve antitümör potansiyelleri nedeniyle önem taşımaktadır (Saiyam ve ark., 2024).

Antibiyotik biyosentez gen kümeleri (BGK)

Bir mikroorganizmanın belirli bir sekonder metaboliti üretmesini sağlayan, genom üzerinde fiziksel olarak birbirine komşu ve fonksiyonel olarak ilişkili gen topluluklarıdır (Zhan, 2022). Bu kümeler genellikle ana biyosentetik enzimleri (örneğin poliketid sentazlar ve nonribozomal peptid sentazlar), düzenleyici proteinleri, taşıyıcı sistemleri ve öz direnç (self-resistance) genlerini birlikte içerir (François ve ark., 2025). Özellikle *Streptomyces* türlerinde BGK'ler oldukça yaygındır ve klinik açıdan önemli birçok antibiyotikğin üretiminden sorumludur. Örneğin erythromycin ve vancomycin gibi antibiyotikler, karmaşık enzimatik basamakları kodlayan geniş gen kümeleri tarafından sentezlenir (Hou, 2022).

Günümüzde genom madenciliği (genome mining) yaklaşımlarıyla yeni ve sessiz BGK'ler keşfedilmekte, heterolog ekspresyon ve sentetik biyoloji teknikleri kullanılarak yeni antibiyotik adayları geliştirilmektedir (Hemmerling ve Piel, 2022). Bu nedenle BGK araştırmaları, artan antimikrobiyal direnç sorununa karşı yeni ilaçların bulunmasında stratejik bir öneme sahiptir.

Litik Enzim Üretimi

Litik enzimler bakteri ve mantarların hücre duvarında bulunan kitin, glukan selüloz ve protein (kitinaz, glukonaz, proteaz, ve selülaz vb.) gibi yapı maddelerini parçalar. Patojenin hücre duvarını enzimlerle parçalar, böylece patojenin büyümesine etki ederek (mikoparasitizm) yok eder. Tarımda bu enzimlerin kullanımı önemli avantajlar sağlar. Çevre dostudur, kimyasal pestisit kullanımını azaltır ve hedef patojenlere karşı seçicidir. Litik enzim üreten mikroorganizmalar önemli biyolojik mücadele yöntemi olarak kullanılır (Panicker ve Sayyed, 2022). Bakteriolitik enzimler, biyoteknoloji endüstrisinde hücreleri parçalamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Salazar ve Asenjo, 2007).

Kitinazlar

Selülozdan sonra Dünya'daki en bol biyopolimerlerden biridir. Kitin, eklem bacaklıların (kabuklular ve böcekler) kabukları, dış iskeletleri ve bağırsak astarları da dahil olmak üzere birçok organizmada bulunur. Ayrıca bazı mayalar da dahil olmak üzere birçok mantarın hücre duvarlarını oluşturur (Dikbaş ve ark., 2023). Mikrobiyal kitinazlar, birçok zararlı ve patojenin hücre duvarlarını zayıflatır ve parçalar, böylece antibakteriyel, antifungal, insektisit veya nematit öldürücü aktivite gösterirler. Kitinolitik enzimler, sentetik pestisit ve fungusitlerin uygulanmasından kaynaklanan çevresel ve insan sağlığına yönelik tehlikelerin üstesinden gelmek için daha belirgin ve önemli bir çözüm haline gelecektir. Bu nedenle, kitinolitik mikroorganizmalar, böcek ve mantar öldürücü kimyasalların

uygulanmasının daha zararlı uygulamalarının yerine geçebilecek umut vadeden biokontrol ajanlarıdır (Dikbaş ve ark., 2025; Uçar ve ark., 2026).

Glukanazlar

β -1,3-Glukanazlar, β -1,3-glukanların hidrolizinde rol oynayan ve önemli biyolojik ve endüstriyel öneme sahip temel enzimlerdir. Bu enzimler, bakteri, mantar, bitki ve hayvan dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan elde edilir ve her biri benzersiz substrat özgüllükleri ve biyokimyasal özellikler sergiler (Jiang ve ark., 2024). Bakteriler, mantarlar, omurgasızlar ve yüksek bitkiler de dahil olmak üzere çeşitli yaşam formlarında bulunan önemli enzimler olan β -1,3-glukanazlar, β -1,3-glukanları glikoz ve β -1,3-glukooligosakkaritlere hidrolize etme yetenekleri nedeniyle önemli bir ilgi görmüştür (Shi et al., 2020). *Aspergillus fumigatus* (Gao ve ark., 2023) *Trichoderma asperellum* (Ma ve ark., 2023) ve *Phanerochaete chrysosporium* (Matsuyama ve ark., 2020) gibi türler de dahil olmak üzere mayalar ve filamentli mantarlar bu enzimlerin önde gelen üreticileridir.

β -1,3-Glukanazlar, aktif bölgelerindeki korunmuş amino asit dizileri nedeniyle farklı glikozit hidrolaz (GH) ailelerine aittir. Substrat etkilerine göre ekzo- veya endo- tiplerine ayrılırlar. Ekzo- β -1,3-glukanazlar, glikoz ünitelerini indirgenmeyen uçlardan ayırırken, endo- β -1,3-glukanazlar glukan zincirini rastgele bölerek monosakkaritler ve oligosakkaritler üretir (Jiang ve ark., 2024). β -1,3-glukanazların ekzojen ekspresyonu önemli endüstriyel değere sahiptir. Seçilmiş konakçı hücreler içinde rekombinant ekspresyon sistemlerinin kullanılması, bu enzimlerin verimli üretimini sağlar. Genetik mühendisliğindeki gelişmeler, enzimin yapısını, işlevselliğini ve dayanıklılığını artırabilirken, üretimin ölçeklendirilmesi maliyetleri düşürebilir ve endüstriyel talepleri karşılayabilir. Ayrıca Daha yenilikçi, doğal ve ekonomik olarak rekabetçi endüstriyel süreçler için yeni, geliştirilmiş veya daha uyarlanabilir enzimlerin geliştirilmesi artık gereklidir. Bir fermantasyon sürecini mikrobiyal enzimlerin maksimum taleplerini karşılayacak şekilde ölçeklendirmek için hem kimya mühendisliği hem de mikrobiyal fizyoloji bilgisi gereklidir. Endüstriyel biyoteknolojideki gelişmeler, çeşitli hammaddeleri katma değerli ürünlere dönüştürmede son derece verimli enzimler yaratmaya odaklanmıştır (Khan, 2025; Dey ve ark., 2025; Sinshaw ve ark., 2025).

Proteazlar

Endüstriyel biyoproseslerin geliştirilmesi büyük ölçüde mikrobiyal enzimlere dayanmaktadır. Uzun yıllardır, enzimlerin ticari amaçlarla kullanımı oldukça yaygın bir uygulamadır. Teknolojik gelişmeler sonucunda çok sayıda yeni enzim

keşfedilmiştir (Sinshaw ve ark., 2025). Mikrobiyal enzimlerden kitinazlar, kitosanazlar, glukanaazlar, selülaazlar, lipazlar ve proteazlar gibi hidrolitik enzimler de *Bacillus* sp. suşları tarafından yaygın olarak üretilir. Bu bileşikler, mantar ve bakteri hücre duvarlarının ana bileşenlerini etkili bir şekilde hidrolize eder ve bitki patojenlerinin baskılanmasında rol oynar. Örneğin, *B. amyloliquefaciens* SP1 tarafından üretilen bir proteazın *Fusarium oxysporum*'un biyolojik kontrolünde etkili olduğu gösterilmiş (Guleria ve ark., 2016) ve hidrolaz aktivitesinin (proteaz, kitinaz, selülaaz, glukanaaz) *Botrytis cinerea*'nın neden olduğu biber gri küfünü kontrol etmede *B. velezensis*'in anahtar faktörü olarak tanımlanmıştır (Xue ve ark., 2023; Yang ve ark., 2025).

Siderofor Üretimi ve Demir Rekabeti

Dünya kabuğunda en bol bulunan dördüncü elementtir ve gezegendeki yaşamın büyük bir kısmı için gereklidir. Diğer birçok organizma gibi hemen hemen tüm bakteriler de solunum, DNA sentezi ve reaktif oksijen türlerinden korunma gibi temel hücresel süreçlerde yer alan redoks reaksiyonlarını katalize etmek için enzimlerde kofaktör olarak demire ihtiyaç duyarlar (Kramer ve ark., 2020). Demir ve demir türevleri (örneğin, hem veya demir-kükürt [Fe-S] kümeleri), nikotinamid adenin dinükleotid fosfat hidrit (NADPH) oksidazlar (NOX'lar), ksantin oksidaz, lipoksijenazlar (LOX'lar), sitokrom P450 enzimleri ve mitokondriyal elektron taşıma zincirinin alt birimleri gibi ROS üreten enzimlere dahil edilir ve bunların işlevi için gereklidir (Dixon ve Stockwell, 2014).

Demir eksikliğiyle başa çıkmak için bakteriler, bu temel eser elementi çevreden elde etmek için bir dizi mekanizma geliştirmiştir. Bu mekanizmalar arasında sitrat veya hem gibi organik moleküllere bağlı demirin alınması, membran bağlı alım sistemleri tarafından demirin emilmesi ve çevresel kaynaklardan demiri toplayan ve daha sonra spesifik reseptörler aracılığıyla aktif olarak alınan çözünür Fe^{3+} kompleksleri oluşturan ikincil metabolitler olan sideroforların salgılanması yer almaktadır (Klebba ve ark., 2021). Bilinen hemen hemen tüm bakteri türleri siderofor üretir ve bu da salgılanmalarını mikrobiyal dünyada demir elde etmenin en yaygın mekanizması haline getirir. Demir yüklü sideroforların alımı, Gram-negatif bakteriler ve Gram-pozitif bakteriler arasında farklılık gösterir; bunun temel nedeni, Gram-pozitif bakterilerin, demir yüklü sideroforların taşınması gereken dış zara sahip olmamasıdır (Schalk ve Guillon, 2013). Bakteriler genellikle muhtemelen farklı sideroforlara sahip etkileşimli suşlarla çeşitli konsorsiyumlarda yaşarlar ve her

birinin demir alımı için spesifik bir eşlenik reseptöre ihtiyacı vardır (Wei ve ark., 2025).

İki rakip suşun her ikisi de kendi özel sideroforlarını üretiyorsa, rekabetin sonucu üretilen siderofor miktarı, rakip sideroforların demir bağlama özellikleri ve siderofor üretiminin esnekliği ve zamansal dinamikleri de dahil olmak üzere bir dizi faktöre bağlı olabilir (Rajapitamahuni ve ark., 2023). Örneğin, *Pseudomonas* ve *Burkholderia* türleriyle yapılan deneyler, sideroforlar arasındaki demir bağlama özelliklerindeki göreceli farklılıkların rekabetin sonucunu belirlediğini göstermiştir. Düzenleyici düzeyde, *P. aeruginosa*'nın *Staphylococcus aureus* ile rekabette siderofor üretimini artırdığı (Harrison ve ark., 2008), *B. cenocepacia* ile rekabette ise *P. aeruginosa*'nın genel pyoverdinin üretimini değil, erken büyüme evresindeki üretim hızını artırdığı ve bunun da *P. aeruginosa*'ya rekabet avantajı sağladığı bulunmuştur (Kramer ve ark., 2020).

Uçucu Organik Bileşikler (VOC'ler)

VOC Biyosentezi

Bakteri türleri, bazıları bitki savunması, büyüme ve gelişme ile ilgili metabolik ve diğer düzenleyici yolları modüle ederek mikroorganizmalar ve bitkiler arasındaki iletişimde önemli rol oynayan uçucu organik bileşikler (VOC'ler) yayar. VOC'ler, yüksek buhar basınçları ve ortam sıcaklığında hava ve su dolu gözeneklerden difüzyon yetenekleri nedeniyle toprak ve havada uzun mesafeler kat edebilen düşük molekül ağırlıklı (<300 Da) bileşiklerdir (Rani ve ark., 2023). VOC'ler, glikoliz, lipoliz, proteoliz, fermentasyon, yağ asidi biyosentezi ve kükürt metabolizması gibi katabolik yollarla üretilir (Weisskopf ve ark., 2021).

Hem mantarlar hem de bakteriler, düşük molekül ağırlıklı alkoller, aldehytler, esterler, terpenoidler, tiyoller ve kolayca buharlaşan diğer küçük moleküllerin karışımları halinde birçok uçucu organik bileşik (VOC) yayarlar. VOC'lerin belirlenmesinin (ayrılması ve tanımlanması) çoğu artık gaz kromatografisi-kütle spektrometrisine (GC-MS) dayanmaktadır (Bennett ve ark., 2012). Mikrobiyal VOC profilleri hem karmaşık hem de dinamiktir: üretilen bileşikler ve bollukları, üreten türe, koloninin yaşına, su mevcudiyetine, substrata, sıcaklığa ve diğer çevresel parametrelere göre değişir. VOC'ler türe özgüdür ve salınımları büyüme ortamı, pH, sıcaklık, kuluçka süresi ve diğer mikroorganizmalarla etkileşim gibi çevresel koşullara bağlıdır (Rani ve ark., 2023). Bazı bakteriyel VOC'lerin kontrollü koşullar altında güçlü antimikrobiyal, nematit öldürücü, pestisit, bitki savunması, indüklenmiş tolerans ve bitki büyümesini teşvik edici aktiviteler gösterdiği bildirilmiştir.

Bakteriyel VOC'ler genellikle hidrokarbonlar, aldehitler, ketonlar, esterler, organik asitler ve kükürt veya azot içeren bileşikler, alkoller ve terpenler gibi sınıflara aittir. Toprak bakterileri tarafından yayılan en yaygın olarak incelenen VOC'ler arasında yağ asidi türevleri (alkoller, alkanlar ve alkenler dahil), aromatik bileşikler, terpenler, azot bazlı bileşikler (indol gibi) ve kükürt içeren bileşikler (dimetil disülfid gibi) yer almaktadır (Tyc ve ark., 2017).

Bakteriler genellikle çeşitli uçucu organik bileşikler üretir ve bunların bazıları komşu organizmaları etkiler. Burada, farklı bakteri cinsleri tarafından üretilen VOC'lerin tarımda patojen kontrolü, büyüme teşviki, abiyotik stres toleransı ve bitkilerde ISR(uyarılmış sistemik direnç)' nin yanı sıra hücreler arası iletişimdeki uygulamaları örnek olarak; *P. chlororaphis* tarafından üretilen uçucu organik bileşikler (2-nonanon, 2-heptanon, 2-undekanon ve dimetil disülfid), mantarların (*R. solani*), sineklerin (*Drosophila melanogaster*) ve nematodların (*Caenorhabditis elegans*) büyümesini engellemiştir (Popova ve ark., 2014). Endofit *Bacillus subtilis* DZSY21'den elde edilen VOC'ler ayrıca mısır patojeni *Curvularia lunata*'ya karşı antifungal aktivite gösterdiği bildirilmiştir. *Bacillus pumilus* tarafından üretilen VOC'lerin, *A. alternata*, *F. oxysporum*, *C. lunata*, *C. cladosporioides* ve *P. italicum*'un neden olduğu hasat sonrası bozulmayı baskıladığı gösterilmiştir (Morita ve ark., 2019). Bu bakteri tarafından üretilen en baskın antifungal VOC'ler 5-metil-2-heptanon, metil izobütül keton, etanol ve (S)-(-)-2-metilbütülamın idi (Morita ve ark., 2019).

Bacillus 'lar, spor oluşumunu ve çimlenmeyi güçlü bir şekilde inhibe eden izopentil asetat ve 2-heptanon karışımı bir VOC üretmiş; 2-metil bütirik asit ise *C. lunata*'nın spor oluşumunu inhibe etmiş ve mısır bitkilerinde hastalık indeksini %44'e kadar azalttığı belirlenmiştir (Xie ve ark., 2020). Streptomyces türleri tarafından üretilen yeni tanımlanmış bir bileşik olan karyolan-1-ol, üzümün önemli bir patojeni olan *Botrytis cinerea* mantarına karşı etkili olduğu, aktinomisetlerde çok etkili biyolojik mücadele ajanı olduğu ve 2-etil-5-metilpirazin ve dimetil disülfid üreten *Streptomyces setonii*, tatlı patates patojeni mantar *Ceratocystis fimbriata*'nın misel büyümesini ve spor çimlenmesini doz bağımlı bir şekilde önemli ölçüde engellediği tespit edilmiştir (Gong ve ark., 2022). *Streptomyces* tarafından üretilen [2,2-dimetil-4-(3-metilbüt-2-enil)-6-metilidenesikloheksil] metanol, flamingo çiçeklerinin spadiks çürümeye neden olan *Lasiodiplodia theobromae*'nin misel büyümesini %79 oranında inhibe etti (Ruangwong ve ark., 2022).

Modern tarımda, küresel gıda talebini karşılama ihtiyacı ile çevresel kaynakları koruma ihtiyacını dengelemek kritik bir zorluktur. İklim değişikliği ve artan verimlilik baskıları, özellikle bitki hastalıkları, böcek zararlıları ve yabani otlar ile bunların yönetimi nedeniyle gıda güvenliğine ve ekosistemlere

yönelik tehditleri daha da artırmaktadır. Bitki zararlıları ve hastalıkları, 10.000 yıl önce tarımın başlangıcından beri tarımsal verimliliğe ciddi zorluklar getirmiştir ve bu sorun bugün de geçerliliğini korumaktadır. Biyoteknolojideki devam eden gelişmeler, sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmek ve geliştirmek için umut vadeden yollar sunmaktadır (El Bey ve ark., 2025). Bitkiyle ilişkili mikroorganizmaların mahsul sağlığı ve büyümesine sağladığı faydaların anlaşılması derinleştikçe, bitki mikrobiyotasının potansiyeli giderek daha belirgin hale gelmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bakteriyel biyokontrol ajanlarının bitki patojenlerine karşı geliştirdiği antagonistik stratejiler çok bileşenli ve sinerjik bir yapıya sahiptir. Sekonder metabolit üretimi, litik enzimlerin sentezi, demir rekabetine dayalı siderofor mekanizmaları ve uçucu organik bileşiklerin etkisi, patojen baskılanmasında hem doğrudan inhibisyon hem de bitki savunma sistemlerinin uyarılması yoluyla önemli roller üstlenmektedir. Bu çoklu etki mekanizmaları, kimyasal pestisitlere bağımlılığın azaltılması ve sürdürülebilir tarımsal üretim sistemlerinin geliştirilmesi açısından biyokontrol ajanlarını güçlü bir alternatif haline getirmektedir. Bununla birlikte, sahada etkinliğin artırılması için mikrobiyal stabilite, çevresel uyumluluk ve uygulama optimizasyonuna yönelik çalışmaların sürdürülmesi gereklidir.

Literatür:

- Abd, G. I., Salih, M. A. J., Ahmed, H. E., Alani, M. H., & Abed, B. M. (2025, February). The role of chemical pesticides in environmental pollution and ecological imbalance. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1449, No. 1, p. 012145). IOP Publishing.
- Arya, S., Kumar, R., Prakash, O., Rawat, A., & Pant, A. K. (2022). Impact of insecticides on soil and environment and their management strategies. In *Agrochemicals in soil and environment: Impacts and remediation* (pp. 213-230). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Ayaz, M., Ali, Q., Farzand, A., Khan, A. R., Ling, H., & Gao, X. (2021). Nematicidal volatiles from *Bacillus atrophaeus* GBSC56 promote growth and stimulate induced systemic resistance in tomato against *Meloidogyne incognita*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 5049.
- Ayaz, M., Li, C. H., Ali, Q., Zhao, W., Chi, Y. K., Shafiq, M., ... & Huang, W. K. (2023). Bacterial and fungal biocontrol agents for plant disease protection: Journey from lab to field, current status, challenges, and global perspectives. *Molecules*, 28(18), 6735.
- Babalola, O. O. (2010). Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnology letters*, 32(11), 1559-1570.
- Benaissa, A. (2024). Rhizosphere: Role of bacteria to manage plant diseases and sustainable agriculture—A review. *Journal of Basic Microbiology*, 64(3), 2300361.
- Bennett, J. W., Hung, R., Lee, S., & Padhi, S. (2012). 18 Fungal and bacterial volatile organic compounds: an overview and their role as ecological signaling agents. *Fungal associations*, 373-393.
- Bonaterra, A., Badosa, E., Daranas, N., Francés, J., Roselló, G., & Montesinos, E. (2022). Bacteria as biological control agents of plant diseases. *Microorganisms*, 10(9), 1759.
- Boro, M., Sannyasi, S., Chettri, D., & Verma, A. K. (2022). Microorganisms in biological control strategies to manage microbial plant pathogens: a review. *Archives of microbiology*, 204(11), 666.
- Chaachouay, N. (2025). Synergy, additive effects, and antagonism of drugs with plant bioactive compounds. *Drugs and Drug Candidates*, 4(1), 4.
- Chantzis, E. (2025). Endophytic *Pseudomonas* as a novel source of Biological Control Agents: Mechanistic approach to study and improve strain performance against cereal fungal diseases.
- Chen, L., & Liu, Y. (2024). The function of root exudates in the root colonization by beneficial soil rhizobacteria. *Biology*, 13(2), 95.

- Collinge, D. B., Jensen, D. F., Rabiey, M., Sarrocco, S., Shaw, M. W., & Shaw, R. H. (2022). Biological control of plant diseases—What has been achieved and what is the direction?. *Plant Pathology*, 71(5), 1024-1047.
- Cook, R. J. (1988). Biological control and holistic plant-health care in agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 3(2-3), 51-62.
- Dey, P., Paul, T., Shil, S., & Roy, R. (2025). Enzyme Engineering and Its Industrial Applications. In *Introduction to Metabolic Engineering and Application* (pp. 331-364). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Dikbaş, N., Tülek, A., Ucar, S., Alım, Ş., Servili, B., Pacal, N., ... & Ercisli, S. (2025). Biocontrol potential of *Vibrio maritimus* chitinase: Heterologous expression and insecticidal activity against *Acanthoscelides obtectus*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 313, 144285.
- Dikbaş, N., Uçar, S., Tozlu, E., Kotan, M. Ş., & Kotan, R. (2023). Antifungal activity of partially purified bacterial chitinase against *Alternaria alternata*. *Erwerbs-obstbau*, 65(4), 761-766.
- Dixon, S. J., & Stockwell, B. R. (2014). The role of iron and reactive oxygen species in cell death. *Nature chemical biology*, 10(1), 9-17.
- Dukare, A., Paul, S., Mhatre, P., & Divekar, P. (2021). Biological disease control agents in organic crop production system. In *Pesticide Contamination in Freshwater and Soil Environs* (pp. 255-282). Apple Academic Press.
- El Bey, K. L., Aasfar, A., Bennis, I., El Fakhouri, K., Kemal, A. S., El Bouhssini, M., & Kadmiri, I. M. (2025). Agricultural biocontrol potential of bacterial volatile organic compounds (bVOCs) for enhanced crop protection. *Crop Protection*, 190, 107114.
- Etebu, E., & Arikekpar, I. (2016). Antibiotics: Classification and mechanisms of action with emphasis on molecular perspectives. *International journal of applied microbiology and biotechnology research*, 4(2016), 90-101.
- Fenta, L., Mekonnen, H., & Kabtimer, N. (2023). The exploitation of microbial antagonists against postharvest plant pathogens. *Microorganisms*, 11(4), 1044.
- François, R. M., Massicard, J. M., & Weissman, K. J. (2025). The chemical ecology and physiological functions of type I polyketide natural products: the emerging picture. *Natural Product Reports*, 42(2), 324-358.
- Gao, F., Liu, X., Dong, R., Liao, M., Qin, X., Wang, X., ... & Tu, T. (2023). Exploring the antifungal mechanism of β -1, 3-glucanase for effectively inhibiting the food contamination by *Aspergillus flavus* and *Aspergillus fumigatus*. *Lwt*, 187, 115342.
- Gawai, D. U. (2018). Role of fungi as biocontrol agents for the control of plant diseases in sustainable agriculture. In *Fungi and their role in sustainable*

- development: current perspectives (pp. 283-291). Singapore: Springer Singapore.
- Gibson, D. M., Donzelli, B. G., Krasnoff, S. B., & Keyhani, N. O. (2014). Discovering the secondary metabolite potential encoded within entomopathogenic fungi. *Natural Product Reports*, 31(10), 1287-1305.
- Gonçalves, T., & Vasconcelos, U. (2021). Colour me blue: the history and the biotechnological potential of pyocyanin. *Molecules*, 26(4), 927.
- Gong, Y., Liu, J. Q., Xu, M. J., Zhang, C. M., Gao, J., Li, C. G., ... & Qin, S. (2022). Antifungal volatile organic compounds from *Streptomyces setonii* WY228 control black spot disease of sweet potato. *Applied and Environmental Microbiology*, 88(6), e02317-21.
- Guleria, S., Walia, A., Chauhan, A., & Shirkot, C. K. (2016). Molecular characterization of alkaline protease of *Bacillus amyloliquefaciens* SP1 involved in biocontrol of *Fusarium oxysporum*. *International Journal of Food Microbiology*, 232, 134-143.
- Harman, G., Khadka, R., Doni, F., & Uphoff, N. (2021). Benefits to plant health and productivity from enhancing plant microbial symbionts. *Frontiers in plant science*, 11, 610065.
- Harrison, F., Paul, J., Massey, R. C., & Buckling, A. (2008). Interspecific competition and siderophore-mediated cooperation in *Pseudomonas aeruginosa*. *The ISME journal*, 2(1), 49-55.
- Hemmerling, F., & Piel, J. (2022). Strategies to access biosynthetic novelty in bacterial genomes for drug discovery. *Nature Reviews Drug Discovery*, 21(5), 359-378.
- Hou, P. (2022). Mining the Genomes of Lichen Associated Bacteria for Biosynthetic Gene Clusters Encoding New Secondary Metabolites (Doctoral dissertation, Open Access Te Herenga Waka-Victoria University of Wellington).
- Huang, S. Y., Zhao, Z. H., Xu, J. Y., Ullah, Y., Fei, Y. J., Zhang, X. Y., ... & Dai, C. C. (2026). Endophytic Fungus-Induced Phenazine-1-Carboxylic Acid Production in *Pseudomonas aeruginosa* Enhances Biocontrol of Rice Spikelet Rot Disease. *Microbiological Research*, 128439.
- Jain, R., & Pandey, A. (2016). A phenazine-1-carboxylic acid producing polyextremophilic *Pseudomonas chlororaphis* (MCC2693) strain, isolated from mountain ecosystem, possesses biocontrol and plant growth promotion abilities. *Microbiological research*, 190, 63-71.
- Jayaseelan, S., Ramaswamy, D., & Dharmaraj, S. (2014). Pyocyanin: production, applications, challenges and new insights. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(4), 1159-1168.

- Jiang, Y., Chang, Z., Xu, Y., Zhan, X., Wang, Y., & Gao, M. (2024). Advances in molecular enzymology of β -1, 3-glucanases: a comprehensive review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279, 135349.
- Khan, M. F. (2025). Enhancing stability of enzymes for industrial applications: Molecular insights and emerging approaches. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 41(10), 362.
- Klebba, P. E., Newton, S. M., Six, D. A., Kumar, A., Yang, T., Nairn, B. L., ... & Chakravorty, S. (2021). Iron acquisition systems of gram-negative bacterial pathogens define TonB-dependent pathways to novel antibiotics. *Chemical reviews*, 121(9), 5193-5239.
- Köhl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. *Frontiers in plant science*, 10, 845.
- Kramer, J., Özkaya, Ö., & Kümmerli, R. (2020). Bacterial siderophores in community and host interactions. *Nature Reviews Microbiology*, 18(3), 152-163.
- Krishnamoorthi, A., Patel, P. K., Kumar, S., Khambhu, C. V., Kumar, V., & Selvam, H. (2024). The future of farming with advances in biological control techniques for crop health. *Microbiology Research Journal International*, 34(7), 93-112.
- Kulkarni, S. (2023). One Health Implications of Agrochemicals and Their Eco-Benign Substitutes. In *One health implications of agrochemicals and their sustainable alternatives* (pp. 161-179). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Lahlali, R., Ezrari, S., Radouane, N., Kenfaoui, J., Esmaeel, Q., El Hamss, H., ... & Barka, E. A. (2022). Biological control of plant pathogens: A global perspective. *Microorganisms*, 10(3), 596.
- Liliane, T. N., & Charles, M. S. (2020). Factors affecting yield of crops. *Agronomy-climate change & food security*, 9, 9-24.
- Lv, J., Liu, G., Hao, J., Ju, Y., Sun, B., & Sun, Y. (2022). Computational models, databases and tools for antibiotic combinations. *Briefings in Bioinformatics*, 23(5), bbac309.
- Ma, Y., Li, Y., Yang, S., Li, Y., & Zhu, Z. (2023). Biocontrol potential of *Trichoderma asperellum* strain 576 against *Exserohilum turcicum* in *Zea mays*. *Journal of Fungi*, 9(9), 936.
- Macfadyen, S., Hardie, D. C., Fagan, L., Stefanova, K., Perry, K. D., DeGraaf, H. E., ... & Umina, P. A. (2014). Reducing insecticide use in broad-acre grains production: an Australian study. *PloS one*, 9(2), e89119.

- Matio Kemkuignou, B., Haahr, M., Maleckis, M., & Ding, L. (2026). Discovery and biosynthesis of antifungal microbial secondary metabolites. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, e00075-25.
- Matsuyama, K., Kishine, N., Fujimoto, Z., Sunagawa, N., Kotake, T., Tsumuraya, Y., ... & Kaneko, S. (2020). Unique active-site and subsite features in the arabinogalactan-degrading GH43 exo- β -1, 3-galactanase from *Phanerochaete chrysosporium*. *Journal of Biological Chemistry*, 295(52), 18539-18552.
- McGaughran, A., Dhami, M. K., Parvizi, E., Vaughan, A. L., Gleeson, D. M., Hodgins, K. A., ... & Wilson, J. (2024). Genomic tools in biological invasions: current state and future frontiers. *Genome Biology and Evolution*, 16(1), evad230.
- Montagu, M. V. (2019). The future of plant biotechnology in a globalized and environmentally endangered world. *Genetics and Molecular Biology*, 43(1 suppl 2), e20190040.
- Morita, T., Tanaka, I., Ryuda, N., Ikari, M., Ueno, D., & Someya, T. (2019). Antifungal spectrum characterization and identification of strong volatile organic compounds produced by *Bacillus pumilus* TM-R. *Heliyon*, 5(6).
- Muller, M., & Merrett, N. D. (2014). Pyocyanin production by *Pseudomonas aeruginosa* confers resistance to ionic silver. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 58(9), 5492-5499.
- Nehra, S., Gothwal, R. K., Dhingra, S., Varshney, A. K., Solanki, P. S., Meena, P., ... & Ghosh, P. (2022). Mechanism of antagonism: hyperparasitism and antibiosis. In *Microbial Biocontrol: Sustainable Agriculture and Phytopathogen Management: Volume 1* (pp. 257-277). Cham: Springer International Publishing.
- Pandit, M. A., Kumar, J., Gulati, S., Bhandari, N., Mehta, P., Katyal, R., ... & Kaur, J. (2022). Major biological control strategies for plant pathogens. *Pathogens*, 11(2), 273.
- Panicker, S., & Sayyed, R. Z. (2022). Hydrolytic enzymes from PGPR against plant fungal pathogens. In *Antifungal metabolites of rhizobacteria for sustainable agriculture* (pp. 211-238). Cham: Springer International Publishing.
- Patwardhan, R. B., Abhyankar, P. S., Gore, S. S., Kalekar, S. V., & Umrani, S. P. (2022). Biofungicidal properties of rhizobacteria for plant growth promotion and plant disease resistance. In *Antifungal Metabolites of Rhizobacteria for Sustainable Agriculture* (pp. 103-133). Cham: Springer International Publishing.

- Pawar, S., Chaudhari, A., Prabha, R., Shukla, R., & Singh, D. P. (2019). Microbial pyrrolnitrin: Natural metabolite with immense practical utility. *Biomolecules*, 9(9), 443.
- Priyadarsni, P., Rout, P., Kuldip, R., & Bhuyan, S. (2023). Uses of Biocontrol Agents to Mitigate Seed-Borne Diseases. *Integrated Publications TM New Delhi*, 11.
- Rajapitamahuni, S., Lyou, E. S., Kang, B. R., & Lee, T. K. (2023). Microbial interaction-induced siderophore dynamics lead to phenotypic differentiation of *Staphylococcus aureus*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13, 1277176.
- Rani, A., Rana, A., Dhaka, R. K., Singh, A. P., Chahar, M., Singh, S., ... & Minz, D. (2023). Bacterial volatile organic compounds as biopesticides, growth promoters and plant-defense elicitors: Current understanding and future scope. *Biotechnology Advances*, 63, 108078.
- Ruangwong, O. U., Kunasakdakul, K., Daengsuwan, W., Wonglom, P., Pitija, K., & Sunpapao, A. (2022). A *Streptomyces rhizobacterium* with antifungal properties against spadix rot in flamingo flowers. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 117, 101784.
- Saeki, E. K., Kobayashi, R. K. T., & Nakazato, G. (2020). Quorum sensing system: Target to control the spread of bacterial infections. *Microbial pathogenesis*, 142, 104068.
- Saiyam, D., Dubey, A., Malla, M. A., & Kumar, A. (2024). Lipopeptides from *Bacillus*: Unveiling biotechnological prospects—Sources, properties, and diverse applications. *Brazilian Journal of Microbiology*, 55(1), 281-295.
- Salazar, O., & Asenjo, J. A. (2007). Enzymatic lysis of microbial cells. *Biotechnology letters*, 29(7), 985-994.
- Saleem, H., Mazhar, S., Syed, Q., Javed, M. Q., & Adnan, A. (2021). Bio-characterization of food grade pyocyanin bio-pigment extracted from chromogenic *Pseudomonas* species found in Pakistani native flora. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(3), 103005.
- Santoyo, G., Urtis-Flores, C. A., Loeza-Lara, P. D., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Glick, B. R. (2021). Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Biology*, 10(6), 475.
- Satam, H., Joshi, K., Mangrolia, U., Waghoo, S., Zaidi, G., Rawool, S., ... & Malonia, S. K. (2023). Next-generation sequencing technology: current trends and advancements. *Biology*, 12(7), 997.
- Schalk, I. J., & Guillon, L. (2013). Fate of ferrisiderophores after import across bacterial outer membranes: different iron release strategies are observed in

- the cytoplasm or periplasm depending on the siderophore pathways. *Amino acids*, 44(5), 1267-1277.
- Shi, F., Wang, Y., Zhang, F., Yuan, X., Chen, H., Chen, X., ... & Cui, X. (2020). Soybean Endo-1, 3-Beta-Glucanase (GmGLU) interaction with soybean mosaic virus-encoded P3 protein May contribute to the Intercellular movement. *Frontiers in Genetics*, 11, 536771.
- Singh, P. (2022). Green Vaccination: Smart Plant Health Care for Human Welfare. In *Innovations in environmental biotechnology* (pp. 165-182). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Singh, S., Kumar, M., Choudhary, D., Dikshant, Kumar, D., Chopra, S., & Bhatia, A. (2025). Revolutionizing Antibiotic Delivery: Harnessing 3D-Printing Technology to Combat Bacterial Resistance. *Current Pharmaceutical Design*.
- Sinshaw, G., Ayele, A., Korsas, G., Bekele, G. K., & Gameda, M. T. (2025). Industrially important microbial enzymes production and their applications. *Microbial Enzymes: Production, Purification and Industrial Applications*, 1, 149-172.
- Sreelakshmi, K. P., Madhuri, M., Swetha, R., Rangarajan, V., & Roy, U. (2024). Microbial lipopeptides: their pharmaceutical and biotechnological potential, applications, and way forward. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 40(4), 135.
- Stromsnes, K., Lagzdina, R., Olaso-Gonzalez, G., Gimeno-Mallench, L., & Gambini, J. (2021). Pharmacological properties of polyphenols: Bioavailability, mechanisms of action, and biological effects in in vitro studies, animal models, and humans. *Biomedicines*, 9(8), 1074.
- Sullivan, G. J., Delgado, N. N., Maharjan, R., & Cain, A. K. (2020). How antibiotics work together: molecular mechanisms behind combination therapy. *Current opinion in microbiology*, 57, 31-40.
- Tyc, O., Song, C., Dickschat, J. S., Vos, M., & Garbeva, P. (2017). The ecological role of volatile and soluble secondary metabolites produced by soil bacteria. *Trends in microbiology*, 25(4), 280-292.
- Uçar, S., Dikbaş, N., Alım, Ş., Çepni, E., Tozlu, G., Kotan, M. Ş., ... & Binay, B. (2026). An efficient chitinase from *Bacillus amyloliquefaciens* M6: Immobilization to ZnO/RGO nanocomposite and its application in biocontrol. *Journal of Stored Products Research*, 116, 102958.
- Ukaegbu, C. I., Shah, S. R., Alara, R. O., & Thonda, O. A. (2023). Biosurfactants as potential antitumor agents. In *Advancements in Biosurfactants Research* (pp. 439-460). Cham: Springer International Publishing.

- Usta, C. (2013). Microorganisms in biological pest control—a review (bacterial toxin application and effect of environmental factors). *Current progress in biological research*, 13(4), 287-317.
- van Pée, K. H., & Ligon, J. M. (2000). Biosynthesis of pyrrolnitrin and other phenylpyrrole derivatives by bacteria. *Natural Product Reports*, 17(2), 157-164.
- Wei, X., Xie, B., Wan, C., Song, R., Zhong, W., Xin, S., & Song, K. (2024). Enhancing soil health and plant growth through microbial fertilizers: Mechanisms, benefits, and sustainable agricultural practices. *Agronomy*, 14(3), 609.
- Wei, Z., Gu, S., Vollenweider, V., Zuo, Y., Li, Z., & Kümmerli, R. (2025). Microbial siderophores for one health. *Trends in Microbiology*.
- Weisskopf, L., Schulz, S., & Garbeva, P. (2021). Microbial volatile organic compounds in intra-kingdom and inter-kingdom interactions. *Nature Reviews Microbiology*, 19(6), 391-404.
- Xie, S., Liu, J., Gu, S., Chen, X., Jiang, H., & Ding, T. (2020). Antifungal activity of volatile compounds produced by endophytic *Bacillus subtilis* DZSY21 against *Curvularia lunata*. *Annals of Microbiology*, 70(1), 2.
- Xue, Y., Zhang, Y., Huang, K., Wang, X., Xing, M., Xu, Q., & Guo, Y. (2023). A novel biocontrol agent *Bacillus velezensis* K01 for management of gray mold caused by *Botrytis cinerea*. *Amb Express*, 13(1), 91.
- Yang, X., Zhang, F., Wang, J., Tian, C., & Meng, X. (2025). Characterization of *Bacillus velezensis* YTQ3 as a potential biocontrol agent against *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*, 223, 113443.
- Yeh, P., Tschumi, A. I., & Kishony, R. (2006). Functional classification of drugs by properties of their pairwise interactions. *Nature genetics*, 38(4), 489-494.
- Zameer, M., Shahid, I., Baig, D. N., Makitrynsky, R., Malik, K. A., Bechthold, A., & Mehnaz, S. (2025). Pyrrolnitrin is integral for antimicrobial activity and phenazine biosynthesis of *Pseudomonas chlororaphis* strains. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 41(6), 182.
- Zhan, C., Shen, S., Yang, C., Liu, Z., Fernie, A. R., Graham, I. A., & Luo, J. (2022). Plant metabolic gene clusters in the multi-omics era. *Trends in Plant Science*, 27(10), 981-1001.
- Zubair, M., Farzand, A., Mumtaz, F., Khan, A. R., Sheikh, T. M. M., Haider, M. S., ... & Wu, H. (2021). Novel genetic dysregulations and oxidative damage in *Fusarium graminearum* induced by plant defense eliciting psychrophilic *Bacillus atrophaeus* TS1. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(22), 12094.

6. Bölüm

Ormanların Tatlı Su Ekosistemlerinin Yapısı, İşleyişi ve Sürdürülebilirliği Üzerindeki Düzenleyici Rolü

Mustafa İlker SÜRER¹, Nilüfer YAZICI²

1. Giriş

Orman ekosistemleri, karasal biyosferin en karmaşık ve işlevsel bileşenlerinden biri olup biyolojik çeşitliliğin korunmasının yanı sıra küresel su döngüsünün düzenlenmesinde de kritik rol oynamaktadır. Atmosfer, bitki örtüsü, toprak ve su kaynakları arasındaki madde ve enerji akışlarını düzenleyen ormanlar; yağışın tutulması, infiltrasyonun artırılması, yüzey akışının azaltılması, sediment taşınımının kontrolü ve su kalitesinin korunması gibi birçok hidrolojik süreç üzerinde etkili olmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle orman ekosistemleri, su kaynaklarının sürekliliğini sağlayan doğal altyapılar olarak değerlendirilmektedir. Özellikle ormanlık havzalar, içme suyu kaynaklarının korunması ve tatlı su ekosistemlerinin devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır (Bruijnzeel, 2004; Creed vd., 2011; Zhang vd., 2017). Türkiye’de yapılan çalışmalar da ormanların odun üretiminin ötesinde su düzenleme, havza koruma ve hidrolojik dengeyi destekleyen önemli ekosistem hizmetleri sunduğunu göstermektedir (Esen vd., 2023).

Tatlı su ekosistemleri; akarsular, göller, sulak alanlar, kaynak sistemleri ve yeraltı suyu rezervuarlarından oluşan, ekolojik ve sosyoekonomik açıdan yüksek değere sahip sistemlerdir. Dünya üzerindeki su varlığının küçük bir bölümünü oluşturmalarına rağmen biyolojik çeşitliliğin önemli bir kısmını barındırmakta ve içme suyu, tarım, enerji ve rekreasyon gibi temel hizmetleri sağlamaktadır. Ancak arazi kullanım değişiklikleri, kirlilik, aşırı su kullanımı ve iklim değişikliği nedeniyle günümüzde ciddi baskılar altındadır. Özellikle havza ölçeğindeki ormansızlaşma ve bitki örtüsü değişimleri, su miktarı ve kalitesi üzerinde doğrudan etkiler oluşturmaktadır (Dudgeon vd., 2006; Albert vd., 2021).

Orman ve tatlı su ekosistemleri arasındaki ilişki, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin karşılıklı etkileşimine dayanmaktadır. Orman örtüsü yağışın bir bölümünü tutarak yüzey akışını azaltmakta, kök sistemleri ve organik madde bakımından zengin toprak yapısı sayesinde infiltrasyonu artırmaktadır. Bu

¹ Dr, 0000-0002-2735-9545.

² Prof. Dr. ISUBÜ Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, 0000-0002-4397-5639

süreçler yeraltı suyu beslenmesini destekleyerek özellikle kurak dönemlerde akarsu taban akışlarının korunmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca riparyan zonlar; sediment, besin maddeleri ve kirleticilerin sucul sistemlere ulaşmasını sınırlandıran doğal filtreler olarak işlev görmektedir (Naiman ve Décamps, 1997; Richardson ve Danehy, 2007; Creed vd., 2011; Özden ve Tolunay, 2020).

Ormanların su ekosistemleri üzerindeki etkileri hidrolojik süreçlerle sınırlı değildir. Akarsu sistemlerine ulaşan yaprak döküntüleri ve odunsu materyaller sucul besin ağlarının temel enerji kaynaklarını oluştururken, riparyan bitki örtüsü balıklar, makroomurgasızlar, amfibiler ve diğer sucul canlılar için önemli habitatlar sağlamaktadır. Bu nedenle ormanların korunması hem su kaynaklarının işlevselliği hem de tatlı su biyolojik çeşitliliğinin sürdürülebilirliği açısından önemlidir (Wallace vd., 1997; Sweeney ve Newbold, 2014).

İklim değişikliği, orman-su ilişkilerinin önemini artıran temel küresel değişim faktörlerinden biridir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri, kuraklık ve taşkın olayları tatlı su ekosistemlerinin hidrolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmektedir. Sağlıklı orman ekosistemleri, su döngüsünü düzenleyerek havzaların iklimsel değişimlere karşı dayanıklılığını artırabilmektedir. Buna karşılık ormansızlaşma; yüzey akışının artması, erozyonun hızlanması, sediment yükünün yükselmesi ve sucul habitatların bozulması gibi sonuçlara yol açmaktadır (Bonnesoeur vd., 2019; Trancoso vd., 2020).

Türkiye’de özellikle Akdeniz ve Ege bölgelerinde kuraklık eğilimleri ve orman yangınları, orman-su ilişkileri açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Orman örtüsündeki kayıplar havzaların su tutma kapasitesini azaltarak hızlı yüzey akışlarını artırabilmektedir. Bu nedenle orman yönetiminde odun üretiminin yanı sıra su düzenleme ve havza koruma hizmetlerinin de dikkate alınması gerekmektedir (Gökbulak vd., 2021; Zengin vd., 2023).

Ekosistem hizmetleri yaklaşımı, ormanların tatlı su sistemleri üzerindeki düzenleyici işlevlerini değerlendirmede önemli bir çerçeve sunmaktadır. Bu kapsamda ormanlar; su düzenleme, taşkın kontrolü, su arıtımı, erozyonun önlenmesi ve hidrolojik istikrarın sağlanması gibi hizmetler sağlamaktadır. Ormanların korunması, yeniden ağaçlandırma ve havza restorasyonu uygulamaları ise sürdürülebilir su yönetiminde doğa temelli çözümler olarak değerlendirilmektedir (MEA, 2005; Brauman vd., 2007; Lele, 2009; Esen vd., 2023).

Türkiye’de özellikle dağlık ve yüksek eğimli havzalardaki ormanlar; akarsu rejimlerinin düzenlenmesi, erozyon kontrolü, sediment taşınımının azaltılması ve su kalitesinin korunması açısından stratejik öneme sahiptir. Orman alanlarındaki değişimlerin havza hidrolojisini doğrudan etkileyebildiği belirtilmektedir (Özhan vd., 2010). Bununla birlikte arazi kullanım değişiklikleri, orman yangınları, iklim

değişikliği ve artan su talebi, orman–su ilişkilerinin bütüncül bir havza yönetimi anlayışıyla ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Keleş, 2019).

Bu bölümde, orman ekosistemlerinin tatlı su ekosistemlerinin yapısı, işleyişi ve sürdürülebilirliği üzerindeki düzenleyici rolü ele alınacaktır. Ormanların hidrolojik süreçlere, su kalitesine, madde döngülerine, biyolojik çeşitliliğe ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığa katkıları; ekosistem hizmetleri, sürdürülebilir havza yönetimi ve doğa temelli çözümler yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilecektir.

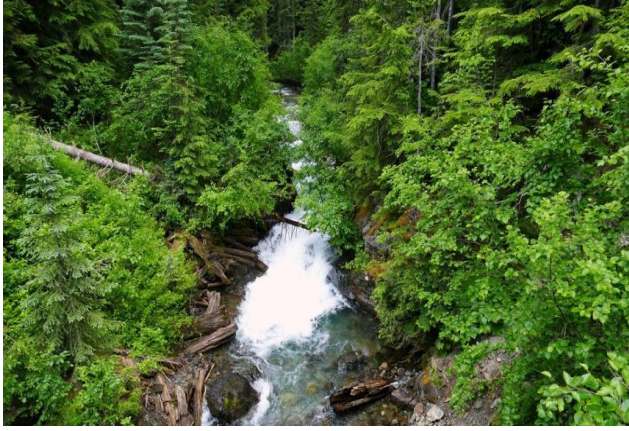
2. Orman ve Tatlı Su Ekosistemleri Arasındaki Ekolojik Bağlantılar

Orman ve tatlı su ekosistemleri günümüzde birbirinden bağımsız sistemler olarak değil, su hareketi, enerji transferi, besin döngüleri, habitat sürekliliği ve biyolojik etkileşimler aracılığıyla sürekli bağlantı hâlinde olan ekolojik sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle havza ölçeğinde ormanlar, yağışın karasal sistemlerden sucul sistemlere aktarımını düzenleyen ve tatlı su habitatlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyen temel unsurlardan biridir. Bu nedenle ormanların durumu, yalnızca karasal biyolojik çeşitliliği değil, bağlantılı tatlı su ekosistemlerinin ekolojik bütünlüğünü de doğrudan etkilemektedir (Naiman vd., 2005; Creed vd., 2011). Türkiye’de yapılan havza araştırmaları da ormanların hidrolojik süreçlerin düzenlenmesi, su veriminin korunması ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından önemli işlevler üstlendiğini göstermektedir (Özhan vd., 2010; Zengin vd., 2023).

Orman–tatlı su bağlantısının temel bileşenlerinden biri hidrolojik süreçlerdir. Orman örtüsü, yağışın bir bölümünü bitki yüzeylerinde tutarak yüzey akışını azaltmakta ve suyun toprak profiline kontrollü şekilde ulaşmasını sağlamaktadır. Organik madde bakımından zengin orman toprakları, gelişmiş kök sistemleri ve yüksek gözeneklilik özellikleri sayesinde infiltrasyonu artırarak yeraltı suyu beslenmesini desteklemekte ve özellikle kurak dönemlerde akarsu akımlarının devamlılığına katkı sağlamaktadır. Buna karşılık orman kayıpları; toprak yapısının bozulmasına, infiltrasyon kapasitesinin azalmasına ve yüzey akışının artmasına neden olarak hidrolojik dengenin bozulmasına yol açmaktadır (Bruijnzeel, 2004; Zhang vd., 2017). Türkiye’de yapılan çalışmalar da orman örtüsünün yağış–akış ilişkilerini düzenlediğini ve eğimli havzalarda suyun kontrollü dolaşımına katkı sağladığını ortaya koymaktadır (Gökbulak vd., 2015; Özdemir vd., 2020).

Orman ekosistemlerinin su döngüsü üzerindeki etkileri yalnızca su miktarıyla sınırlı olmayıp su kalitesinin korunmasında da önemli rol oynamaktadır. Ormanlık havzalarda düşük sediment üretimi, besin elementi kayıplarının sınırlı olması ve yüksek filtrasyon kapasitesi nedeniyle yüzey ve yeraltı sularının

kalitesi genellikle daha yüksek olmaktadır. Orman toprakları azot ve fosfor gibi besin elementlerinin tutulmasına katkı sağlarken, akarsu kenarlarındaki riparyan zonlar tarımsal ve diğer insan kaynaklı kirleticilerin sucul sistemlere ulaşmasını azaltan doğal tampon alanlar oluşturmaktadır (Şekil 1). Bu özellikleriyle ormanlar, tatlı su ekosistemlerinin kimyasal bütünlüğünün korunmasına yönelik önemli düzenleyici ekosistem hizmetleri sağlamaktadır (Mayer vd., 2007; Sweeney ve Newbold, 2014). Türkiye’de içme suyu havzaları üzerine yapılan araştırmalar da orman alanlarının su kalitesinin korunması ve kirletici taşınımının azaltılmasında kritik bir tampon işlevi gördüğünü göstermektedir (Bekiroğlu ve Eker, 2011).



Şekil 1. Kıyı Sulak Alanlar

Riparyan ormanlar, orman ve tatlı su ekosistemleri arasındaki en önemli ekolojik geçiş alanlarını oluşturmaktadır. Karasal ve sucul sistemler arasındaki madde ve enerji alışverişinin yoğunlaştığı bu ekoton bölgeleri; akarsu kıyılarında gölgeleme sağlayarak su sıcaklığının düzenlenmesine, sucul canlılar için uygun habitatların oluşmasına ve organik madde girdisi yoluyla besin ağlarının devamlılığına katkı sağlamaktadır. Ayrıca sediment hareketini azaltarak akarsu morfolojisinin korunmasına yardımcı olmakta ve taşkın dönemlerinde doğal tampon alanlar olarak işlev görmektedir. Bu nedenle riparyan ormanların korunması, karasal ve sucul ekosistemlerin bütüncül yönetimi açısından önemli bir strateji olarak kabul edilmektedir (Naiman ve Décamps, 1997; Richardson ve Danehy, 2007). Türkiye’de yapılan çalışmalar da akarsu koridorları ve orman içi su kaynaklarının korunmasında riparyan alanların önemini ortaya koymaktadır (Özden ve Tolunay, 2020).

Orman ve tatlı su sistemleri arasındaki biyolojik bağlantılar, özellikle enerji transferi ve besin döngüleri açısından kritik öneme sahiptir. Ormanlardan

akarsulara taşınan yaprak, dal ve diğer organik materyaller, birçok sucul organizma için temel enerji kaynağı oluşturmakta; özellikle küçük orman akarsularında allohton organik madde girdileri, sucul omurgasız topluluklarının yapısını ve besin ağlarının işleyişini belirlemektedir. Yaprak döküntülerinin ayrışmasıyla oluşan çözünmüş organik karbon ve besin elementleri ise mikrobiyal süreçleri destekleyerek sucul ekosistemlerde enerji akışının sürdürülmesine katkı sağlamaktadır (Wallace ve., 1997; Tank ve., 2010).

Orman–tatlı su bağlantıları, tür hareketleri ve habitat sürekliliği bakımından da önem taşımaktadır. Akarsu koridorları ve riparyan ormanlar, birçok tür için ekolojik koridor görevi görmekte ve habitat parçalanmasının olumsuz etkilerini azaltmaktadır. Balıklar, amfibiler, su kuşları ve birçok omurgasız grubu yaşam döngülerinin farklı dönemlerinde hem karasal hem de sucul habitatlara ihtiyaç duyduğundan, orman örtüsündeki değişimler sucul biyolojik çeşitliliği de doğrudan etkileyebilmektedir (Dudgeon ve., 2006; Albert ve., 2021).

İklim değişikliği, orman–tatlı su bağlantılarının önemini artıran temel küresel değişim süreçlerinden biridir. Değişen yağış rejimleri, artan sıcaklıklar ve ekstrem hidrolojik olaylar sucul ekosistemler üzerindeki baskıları artırırken, ormanlar su döngüsünü düzenleme ve mikroiklim koşullarını iyileştirme yoluyla bu etkilerin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir. Ancak bu işlevlerin sürdürülebilmesi, orman bütünlüğünün korunmasına, doğal yenilenme süreçlerinin desteklenmesine ve havza ölçeğinde sürdürülebilir yönetim uygulamalarının geliştirilmesine bağlıdır (Bonan, 2008; Seidl vd., 2017).

Türkiye’de orman–tatlı su bağlantıları özellikle dağlık havzalarda belirgin olarak görülmektedir. Karadeniz havzalarındaki yoğun orman örtüsü, yüksek yağış ve güçlü hidrolojik bağlantılar nedeniyle önemli su kaynaklarının oluşumunda rol oynarken; Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde ormanlar erozyon kontrolü, kar erimesine bağlı akışların düzenlenmesi ve su kaynaklarının korunmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte orman yangınları, arazi kullanım değişiklikleri, madencilik faaliyetleri ve iklim değişikliği bu hassas bağlantıları tehdit etmektedir. Bu nedenle orman ve su kaynaklarının birlikte değerlendirilmesi, sürdürülebilir doğal kaynak yönetimi açısından temel bir gereklilik olarak görülmektedir (Keleş, 2019; Esen vd., 2023).

3. Orman Ekosistemlerinin Hidrolojik Süreçlerdeki Düzenleyici Rolü

Orman ekosistemleri; bitki örtüsü, toprak özellikleri, topoğrafya ve iklim koşulları aracılığıyla hidrolojik döngünün temel bileşenlerini etkileyen karmaşık biyofiziksel sistemlerdir. Ormanların hidrolojik işlevleri yalnızca su miktarının düzenlenmesiyle sınırlı olmayıp, suyun zaman içindeki dağılımı, kalitesi ve ekosistemler tarafından kullanılabilirliği ile birlikte değerlendirilmelidir. Bu

nedenle ormanlar, özellikle havza ölçeğinde su güvenliği, kuraklık risklerinin azaltılması ve tatlı su ekosistemlerinin sürdürülebilirliği açısından önemli düzenleyici ekosistem hizmetleri sağlamaktadır (Bruijnzeel, 2004; vd., 2011). Türkiye’de yapılan araştırmalar da ormanların su üretimi, akış rejiminin dengelenmesi ve erozyon kontrolü açısından önemli işlevler üstlendiğini göstermektedir (Özhan vd., 2010; Gökbulak vd., 2015).

Ormanların hidrolojik süreçlerdeki ilk etkisi, yağışın bitki örtüsü tarafından tutulmasıdır. Taç örtüsü, yağışın bir bölümünü yaprak, dal ve gövde yüzeylerinde depolayarak suyun doğrudan toprağa ulaşmasını azaltmakta ve yoğun yağışların yüzey üzerindeki etkisini sınırlandırmaktadır. Bu süreç, toprak korunmasına ve erozyonun azaltılmasına katkı sağlarken; tutulma miktarı orman tipi, yaprak alanı, mevsimsel gelişim ve yağış özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Crockford ve Richardson, 2000; André vd., 2008). Türkiye’de yapılan çalışmalar da orman yapısının yağışın tutulması ve havza içindeki su dağılımında belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır (Gökbulak vd., 2015).

Evapotranspirasyon, orman ekosistemlerinin su ve enerji dengesindeki temel süreçlerden biridir. Bitkilerden gerçekleşen terleme ile toprak ve bitki yüzeylerinden gerçekleşen buharlaşmanın toplamı olan evapotranspirasyon, ormanların atmosferle su alışverişini düzenlemesine ve bölgesel nem döngülerini etkilemesine yardımcı olmaktadır. Ancak bu sürecin hidrolojik etkisi iklim koşullarına ve su kullanılabilirliğine bağlı olarak değişmektedir. Nemli bölgelerde su kaybını artırabilirken, kurak ve yarı kurak alanlarda derin kök sistemleri aracılığıyla suyun zamansal dağılımını düzenleyerek ekosistem dayanıklılığına katkı sağlayabilmektedir (Bonan, 2008; Ellison vd., 2017). Türkiye’nin Akdeniz iklim kuşağındaki ormanlarında evapotranspirasyon, su bütçesinin önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Esen vd., 2023).

Ormanların önemli hidrolojik işlevlerinden biri de infiltrasyonu artırarak yüzey akışını azaltmasıdır. Organik madde bakımından zengin orman toprakları, gelişmiş agregat yapısı, kök kanalları ve biyolojik aktivite sayesinde suyun toprak profiline girişini kolaylaştırmaktadır. Bu durum erozyonun azaltılmasına, yeraltı suyu rezervlerinin desteklenmesine ve havza hidrolojisinin dengelenmesine katkı sağlamaktadır. Buna karşılık ormansızlaşma ve yoğun arazi kullanımı, toprak sıkışmasına neden olarak infiltrasyon kapasitesini azaltmakta ve yüzey akışını artırmaktadır (Ilstedt vd., 2007; Zhang vd., 2017). Türkiye’de yapılan çalışmalar da orman topraklarının su hareketleri ve infiltrasyon süreçleri üzerindeki düzenleyici etkisini ortaya koymaktadır (Özdemir vd., 2020).

Yüzey akışının düzenlenmesi, ormanların taşkın ve erozyon kontrolündeki temel işlevlerinden biridir. Orman ekosistemlerinde yağışın bir kısmı taç örtüsünde tutulmakta, bir kısmı toprakta depolanmakta ve suyun akarsu

sistemlerine daha dengeli ulaşması sağlanmaktadır. Bu süreç, özellikle küçük ve orta ölçekli havzalarda ani akışların ve yüksek pik debilerin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir. Bununla birlikte ormanların taşkınları tamamen önlediği görüşü günümüzde daha sınırlı bir yaklaşımla değerlendirilmekte; etkilerin havza büyüklüğü, topoğrafya, toprak yapısı ve yağış özelliklerine bağlı olduğu kabul edilmektedir (Andréassian, 2004; Calder ve Aylward, 2006). Türkiye’de de ormanların yüzey akışı ve sediment taşınımını azaltmadaki rolü, özellikle eğimli havzalarda önemli görülmektedir (Özhan vd., 2010).

Orman ekosistemleri aynı zamanda yeraltı suyu beslenmesini ve taban akımının sürekliliğini desteklemektedir. İnfiltrasyon yoluyla toprak profiline giren suyun bir bölümü yeraltı suyu rezervlerine ulaşarak özellikle kurak dönemlerde akarsu akımlarının devamlılığını sağlamaktadır. Ormanlık havzalarda suyun daha dengeli depolanması ve yavaş hareket etmesi, akış rejimlerinin düzenlenmesine katkı sağlamaktadır (Bruijnzeel, 2004; Ilstedt vd., 2016). Güneybatı Anadolu gibi Akdeniz ikliminin etkili olduğu bölgelerde ormanların bu su düzenleme hizmetleri havza sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır (Esen vd., 2023).

İklim değişikliğiyle birlikte ormanların hidrolojik düzenleyici rolü daha kritik hâle gelmektedir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri ve ekstrem hidrolojik olaylar su kaynakları üzerindeki baskıları artırırken, ormanlar suyun depolanması, akışların düzenlenmesi ve mikroklimatik koşulların iyileştirilmesi yoluyla havzaların dayanıklılığını artırabilmektedir. Ancak bu işlevlerin devamlılığı; orman bütünlüğünün korunmasına, yangın ve arazi kullanım baskılarının azaltılmasına bağlıdır (Seidl vd., 2017; Trancoso vd., 2020).

Türkiye’de ormanların hidrolojik düzenleyici işlevleri özellikle dağlık havzalarda belirgin şekilde görülmektedir. Karadeniz Bölgesi’nde ormanlar yüzey akışının ve erozyonun kontrolünde önemli rol oynarken, Akdeniz ve İç Anadolu geçiş bölgelerinde suyun havzada tutulması ve kurak dönemlerde kaynakların sürekliliği açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte iklim değişikliği, orman yangınları ve arazi kullanım değişimleri su kaynakları üzerindeki baskıları artırmaktadır. Bu nedenle orman ve su kaynaklarının birlikte ele alındığı bütünsel havza yönetimi yaklaşımlarının geliştirilmesi gerekmektedir (Keleş, 2019; Gökbülak vd., 2021; Zengin vd., 2023).

4. Orman Ekosistemlerinin Su Kalitesi, Besin Döngüleri ve Ekosistem Hizmetleri Üzerindeki Rolü

Orman ekosistemlerinin tatlı su sistemleri üzerindeki etkileri hidrolojik süreçlerle sınırlı olmayıp, su kalitesinin korunması, besin elementlerinin dolaşımı ve çeşitli ekosistem hizmetlerinin sağlanması açısından da büyük önem

taşımaktadır. Ormanlık havzalar; kirleticilerin taşınımını azaltan, madde döngülerini düzenleyen ve su kaynaklarının ekolojik bütünlüğünü destekleyen doğal altyapılar olarak değerlendirilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle özellikle içme suyu havzalarının korunması ve sürdürülebilir su yönetimi açısından kritik öneme sahiptir (Brauman vd., 2007; Creed vd., 2011).

Ormanların su kalitesi üzerindeki temel etkilerinden biri sediment taşınımının kontrol edilmesidir. Bitki örtüsü yağışın toprak üzerindeki aşındırıcı etkisini azaltırken, kök sistemleri toprağı stabilize ederek erozyon süreçlerini sınırlandırmaktadır. Özellikle eğimli alanlarda orman örtüsü, yüzey akışını yavaşlatarak sedimentin akarsulara taşınmasını azaltmaktadır. Sediment yükündeki artış ise su bulanıklığını artırarak akarsu habitatlarını ve hassas sucul organizmaları olumsuz etkileyebilmektedir (Naiman vd., 2005; García-Ruiz vd., 2015).

Orman ekosistemleri, azot (N) ve fosfor (P) gibi besin elementlerinin havza içerisindeki hareketlerini düzenleyen önemli sistemlerdir. Doğal ormanlarda besin elementleri bitki örtüsü, toprak organik maddesi ve mikroorganizma toplulukları arasında dengeli biçimde tutulmakta, böylece aşırı besin girdilerinin sucul sistemlere ulaşması ve ötrofikasyon riski azaltılmaktadır. Buna karşılık ormansızlaşma ve yoğun arazi kullanımı, besin elementlerinin yüzey ve yeraltı suları yoluyla taşınmasını artırarak su kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir (Vitousek ve Howarth, 1991; Mayer vd., 2007).

Riparyan zonlar, orman ve sucul sistemler arasındaki geçiş alanları olarak su kalitesinin korunmasında özel bir role sahiptir. Bu alanlardaki bitki örtüsü; kök sistemleri, toprak yapısı ve mikrobiyal süreçler aracılığıyla nitrat, fosfat ve diğer çözülmüş maddeleri tutarak akarsulara ulaşan besin yükünü azaltmaktadır. Korunmuş riparyan tampon bölgelerin, özellikle tarımsal alanlardan kaynaklanan azot ve fosfor taşınımını azaltmada etkili olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle riparyan ormanların korunması, havza ölçeğinde su kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir yönetim aracı olarak kabul edilmektedir (Mayer vd., 2007; Sweeney ve Newbold, 2014).

Ormanların doğal filtreleme kapasitesi, yalnızca besin elementleriyle sınırlı değildir. Orman toprakları; ağır metaller, pestisitler ve çeşitli organik kirleticilerin tutulması veya parçalanmasında önemli biyokimyasal süreçleri desteklemektedir. Yüksek organik madde içeriği ve mikrobiyal aktivite, kirleticilerin ayrışmasına katkı sağlayarak su kaynaklarının korunmasına yardımcı olmaktadır. Orman alanlarının kaybı ise bu doğal filtreleme kapasitesini azaltarak kirleticilerin sucul sistemlere ulaşmasını kolaylaştırmaktadır (Allan, 2004; Foley vd., 2005).

Orman ekosistemleri aynı zamanda tatlı su sistemlerinin karbon ve enerji döngülerinde önemli rol oynamaktadır. Ormanlardan akarsulara ulaşan yaprak, dal ve diğer organik materyaller, özellikle küçük akarsularda sucul besin ağlarının temel enerji kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Bu materyallerin mikroorganizmalar ve detritivor organizmalar tarafından ayrıştırılması, sucul ekosistemlerde enerji akışının devamlılığını sağlamaktadır. Ayrıca orman topraklarında depolanan karbon, iklim düzenleme süreçleri açısından da önem taşımaktadır (Wallace et al., 1997; Tank et al., 2010).

Ormanların sağladığı düzenleyici ekosistem hizmetleri; temiz su sağlama, taşkın riskini azaltma, erozyonu önleme, sucul habitatları koruma ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltma gibi çok yönlü faydalar sunmaktadır. Ekosistem hizmetleri yaklaşımı, ormanların yalnızca ekonomik kaynaklar değil, aynı zamanda toplumların çevresel güvenliği açısından kritik doğal sistemler olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Bu yaklaşım, özellikle içme suyu havzalarında orman koruma çalışmalarının önemini artırmakta ve doğa temelli çözümleri desteklemektedir (MEA, 2005; Brauman vd., 2007).

İklim değişikliği ve artan insan baskıları altında ormanların su kalitesini koruyucu işlevleri daha fazla önem kazanmaktadır. Kuraklık, sıcaklık artışları ve ekstrem yağış olayları; erozyon ve besin taşınımını artırarak sucul sistemler üzerindeki baskıları yükseltebilmektedir. Sağlıklı orman ekosistemleri ise bu etkileri azaltarak havzaların ekolojik dayanıklılığını desteklemektedir. Ancak bu işlevlerin sürdürülebilmesi, orman alanlarının yanı sıra ekosistem yapısının ve doğal süreçlerin korunmasına bağlıdır (Seidl vd., 2017; Trancoso vd., 2020).

Türkiye’de ormanların su kalitesi üzerindeki düzenleyici etkileri özellikle içme suyu havzaları ve dağlık bölgelerdeki küçük akarsu sistemlerinde belirginleşmektedir. Ormanlık havzalar sediment taşınımını azaltarak su depolama yapılarının korunmasına katkı sağlamakta ve doğal filtrasyon süreçleriyle su arıtma maliyetlerini azaltabilmektedir. Bununla birlikte orman yangınları, arazi kullanım değişimleri ve kuraklık baskıları bu ekosistem hizmetlerini tehdit etmektedir. Bu nedenle Türkiye’de havza yönetimi yaklaşımlarının, ormanların su düzenleyici ve kalite koruyucu işlevlerini dikkate alan bütünsel modeller üzerine kurulması gerekmektedir (Keleş, 2019; Gökbulak vd., 2021).

5. Orman Ekosistemleri, Biyolojik Çeşitlilik ve Tatlı Su Habitatlarının Korunması

Orman ve tatlı su ekosistemleri arasındaki ilişki, hidrolojik ve kimyasal süreçlerin yanı sıra biyolojik çeşitliliğin korunması ve habitat sürekliliğinin sağlanması açısından da büyük önem taşımaktadır. Ormanlar, tatlı su sistemleri

çevresinde oluşturdıkları karmaşık habitat yapılarıyla çok sayıda karasal ve sucul organizmanın yaşam döngüsünü desteklemekte ve ekosistemlerin işlevsel bütünlüğünün korunmasına katkı sağlamaktadır. Tatlı su ekosistemleri yüksek biyolojik çeşitliliğe sahip olmalarına rağmen insan kaynaklı baskılara karşı hassas olduğundan, ormanların düzenleyici rolü giderek daha önemli hâle gelmektedir (Dudgeon vd., 2006; Albert vd., 2021).

Ormanlık havzalar, sucul organizmalar için uygun fiziksel ve biyolojik koşullar oluşturmaktadır. Küçük orman akarsuları; düşük su sıcaklığı, yüksek çözünmüş oksijen düzeyi, karmaşık habitat yapısı ve sürekli organik madde girdisi nedeniyle yüksek ekolojik değere sahiptir. Orman örtüsünün sağladığı gölgeleme, akarsu sıcaklığındaki aşırı değişimleri azaltarak sıcaklığa duyarlı türlerin yaşam alanlarını korumaktadır. Su sıcaklığındaki değişimler balıkların metabolizması, üreme başarısı ve dağılımı üzerinde etkili olduğundan, orman örtüsünün korunması sucul biyolojik çeşitlilik açısından kritik öneme sahiptir (Broadmeadow ve Nisbet, 2004; Richardson ve Danehy, 2007). Türkiye’de soğuk su karakterindeki dağ akarsuları, endemik balık türleri ve hassas sucul organizmalar için önemli yaşam alanları oluşturmaktadır (Tarkan vd., 2015).

Riparyan ormanlar, karasal ve sucul sistemler arasındaki geçiş alanları olarak tür çeşitliliğinin korunmasında önemli işlevlere sahiptir. Bu alanlar, sucul canlılar için beslenme, üreme ve barınma ortamları sağlarken aynı zamanda habitat bağlantılılığını artırmaktadır. Kök sistemleri, düşmüş odun parçaları ve bitki örtüsü sayesinde akarsu habitatlarının yapısal çeşitliliğini destekleyen riparyan alanların kaybı, sucul toplulukların yapısını ve ekolojik işlevlerini olumsuz etkileyebilmektedir (Naiman ve Décamps, 1997; Sweeney ve Newbold, 2014). Türkiye’de akarsu kıyılarındaki doğal bitki örtüsünün korunması, habitat sürekliliği ve sucul tür çeşitliliğinin devamı açısından önemli bir koruma yaklaşımıdır (Özden ve Tolunay, 2020).

Ormanlardan tatlı su sistemlerine ulaşan yaprak, dal ve diğer organik materyaller, sucul besin ağlarının temel enerji kaynaklarından biridir. Bu organik maddeler mikroorganizmalar ve detritivor organizmalar tarafından ayrıştırılarak enerji akışının sürdürülmesini sağlar ve üst trofik seviyelerdeki canlılara aktarılır. Orman örtüsünün kaybı ise organik madde girişini azaltarak sucul besin ağlarının yapısını ve işleyişini değiştirebilmektedir (Wallace vd., 1997; Tank vd., 2010).

Ormanların tatlı su biyolojik çeşitliliği üzerindeki etkileri özellikle balık ve makroomurgasız topluluklarında belirgin şekilde görülmektedir. Makroomurgasızlar, su kalitesinin değerlendirilmesinde önemli biyolojik göstergeler olarak kullanılmaktadır. Ormanlık alanlarda daha çeşitli habitat yapısı ve dengeli besin koşulları nedeniyle hassas türlerin yaşamı desteklenirken, ormansızlaşma; sediment artışı, su sıcaklığındaki yükselme ve besin

dengelerindeki değişimler yoluyla hassas türlerin azalmasına neden olabilmektedir (Allan, 2004; Woodward vd., 2010). Türkiye’de yapılan biyolojik izleme çalışmaları da orman varlığının su kalitesi ve ekolojik bütünlük üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir (Kazancı vd., 2008).

Amfibiler, orman ve tatlı su ekosistemleri arasındaki bağlantıyı gösteren hassas canlı gruplarından biridir. Yaşam döngülerinin farklı dönemlerinde hem karasal orman habitatlarına hem de sucul ortamlara bağımlı olan bu türler, habitat kaybı ve çevresel değişimlerden kolayca etkilenmektedir. Orman örtüsündeki azalma; nem koşullarının değişmesine, üreme alanlarının bozulmasına ve popülasyon bağlantılarının zayıflamasına yol açabilmektedir (Stuart vd., 2004; Cushman, 2006). Türkiye’nin endemik amfibi çeşitliliği, orman–su bağlantılarının korunmasının önemini artırmaktadır (Baran ve Atatür, 1998).

Orman ekosistemleri, aynı zamanda tatlı su türleri için peyzaj ölçeğinde ekolojik koridorlar oluşturmaktadır. Akarsu koridorları ve riparyan orman şeritleri, tür hareketlerini, gen akışını ve parçalanmış habitatlar arasındaki bağlantıyı desteklemektedir. Habitat parçalanmasının genetik çeşitlilik kaybına ve yok olma riskinin artmasına neden olabileceği göz önüne alındığında, havza planlamasında ekolojik bağlantıların korunması önemli bir yönetim hedefidir (Fagan, 2002; Haddad vd., 2015).

İklim değişikliği, ormanların biyolojik çeşitlilik üzerindeki düzenleyici rolünü daha önemli hâle getirmektedir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri ve ekstrem hidrolojik olaylar tatlı su türleri üzerindeki baskıları artırırken, ormanlar mikroklimatik koşulları düzenleyerek, su sıcaklığındaki aşırı değişimleri azaltarak ve habitat sürekliliğini destekleyerek türlerin dayanıklılığını artırabilmektedir (Bellard vd., 2012; Seidl vd., 2017).

Türkiye’de orman ve tatlı su biyolojik çeşitliliği arasındaki ilişki özellikle dağlık ve ormanlık havzalarda belirginleşmektedir. Karadeniz Bölgesi’ndeki akarsu sistemleri zengin orman örtüsü sayesinde çok sayıda sucul tür için önemli habitatlar sağlamaktadır. Ancak dere yataklarının değiştirilmesi, kıyı bitki örtüsünün tahribi, madencilik faaliyetleri ve arazi kullanım değişimleri bu ekolojik bağlantıları tehdit etmektedir. Bu nedenle orman yönetimi, su kaynakları yönetimi ve biyolojik çeşitlilik koruma politikalarının bütünlük bir yaklaşımla yürütülmesi gerekmektedir (Keleş, 2019).

6. Orman Ekosistemlerinin İklim Değişikliği, Kuraklık ve Hidrolojik Dayanıklılık Üzerindeki Rolü

Küresel iklim değişikliği, orman ve tatlı su ekosistemleri arasındaki ilişkileri etkileyen en önemli çevresel değişim faktörlerinden biridir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri, uzun süreli kuraklıklar ve ekstrem hidrolojik olaylar;

orman ekosistemlerinin işleyişini ve bağlantılı su kaynaklarının miktar ve kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu değişimler, su döngüsündeki dengeleri bozarak akış rejimlerinde düzensizliklere, su sıcaklığında artışlara ve sucul habitatlarda bozulmalara neden olabilmektedir. Bu nedenle ormanların iklim değişikliği karşısındaki düzenleyici rolünün anlaşılması, gelecekteki su güvenliği ve ekosistem yönetimi açısından kritik önem taşımaktadır (Bonan, 2008; Seidl vd., 2017). Türkiye gibi Akdeniz iklim kuşağındaki ülkelerde bu ilişkilerin değerlendirilmesi, sürdürülebilir havza yönetimi açısından öncelikli konular arasında yer almaktadır (Türkeş, 2020).

Ormanlar, atmosfer ile kara yüzeyi arasındaki enerji ve su alışverişini düzenleyen önemli biyofiziksel sistemlerdir. Evapotranspirasyon yoluyla atmosferik nem döngüsüne katkı sağlamakta, yüzey sıcaklıklarını düzenlemekte ve bölgesel iklim koşullarını etkileyebilmektedir. Büyük ölçekli orman kayıpları ise karbon depolama kapasitesinin azalmasının yanı sıra hidrolojik döngünün bozulmasına ve yağış düzenlerinde değişimlere yol açabilmektedir. Bu nedenle ormanların korunması hem iklim değişikliğinin azaltılması hem de uyum stratejilerinin önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Ellison et al., 2017; Sheil, 2018). Türkiye’de ormanların karbon depolama, mikroklima düzenleme ve su döngüsü üzerindeki etkileri iklim politikaları açısından önem taşımaktadır (Tolunay ve Çömez, 2008).

Kuraklık, orman–tatlı su ilişkilerinin en fazla sınındığı çevresel stres faktörlerinden biridir. Uzun süreli yağış eksiklikleri ve artan buharlaşma, ormanların su kullanım stratejilerini değiştirmekte, büyüme oranlarını azaltmakta ve bazı durumlarda ağaç ölümlerine yol açabilmektedir. Orman kayıpları ise yüzey akışı, sediment taşınımı ve akarsu rejimleri üzerinde değişimlere neden olarak su kaynaklarını etkileyebilmektedir. Özellikle Akdeniz iklim kuşağındaki kurak bölgelerde ormanların kuraklığa dayanıklılığı, tatlı su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır (Allen vd., 2010; Anderegg vd., 2015). Türkiye’de artan kuraklık eğilimleri, ormanların su kullanım stratejilerinin ve dayanıklılık mekanizmalarının yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Kadioğlu, 2012).

Ormanların kuraklık koşullarındaki dayanıklılığı büyük ölçüde toprak özellikleri ve kök sistemleriyle ilişkilidir. Derin köklü ormanlar, farklı toprak katmanlarından su kullanarak kurak dönemlerde işlevlerini sürdürebilirken, organik madde bakımından zengin topraklar su tutma kapasitesini artırarak ekosistemlerin stres koşullarına karşı tampon kapasitesini yükseltmektedir. Ancak sıklaşan ve şiddetlenen kuraklık olayları, bu doğal mekanizmaların sınırlarını zorlayarak orman yapısında ve hidrolojik işlevlerde kalıcı değişimlere yol açabilmektedir (Choat vd., 2018; Anderegg vd., 2015). Türkiye’de Akdeniz

ormanları üzerine yapılan çalışmalar da su stresinin büyüme ve yenilenme süreçleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Boydak, 2004).

Orman yangınları, iklim değişikliğiyle birlikte orman-su ilişkilerini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Yangın sonrası bitki örtüsünün kaybı; infiltrasyon kapasitesinin azalmasına, yüzey akışının ve sediment taşınımının artmasına, su kalitesinin bozulmasına ve sucul habitatların zarar görmesine neden olabilmektedir (Shakesby ve Doerr, 2006; Ebel vd., 2012). Türkiye’de özellikle Akdeniz Bölgesi’ndeki yangınlar sonrasında yapılan çalışmalar, yangınların toprak özellikleri, erozyon süreçleri ve su kaynakları üzerinde uzun süreli etkiler oluşturabileceğini göstermektedir (Ekinci, 2006).

Hidrolojik dayanıklılık, orman ekosistemlerinin çevresel değişimler karşısında su döngüsü işlevlerini sürdürebilme kapasitesini ifade etmektedir. Dayanıklı orman ekosistemleri; su depolama, akış düzenleme, toprak koruma ve habitat sağlama gibi işlevlerini değişen iklim koşulları altında devam ettirebilmektedir. Bu kapasite; orman yapısının karmaşıklığı, tür çeşitliliği, toprak özellikleri ve peyzaj bağlantılılığı gibi faktörlere bağlıdır (Thompson vd., 2009; Seidl vd., 2017). Türkiye’de doğal orman yapısının korunması, iklim değişikliğine karşı ekosistem dayanıklılığını artıran temel yönetim hedeflerinden biridir (Keleş, 2019).

Ormanların tatlı su ekosistemlerine sağladığı önemli katkılardan biri, hidrolojik aşırılıkların etkilerini azaltmalarıdır. Sağlıklı ormanlar, aşırı yağış dönemlerinde suyun daha kontrollü hareket etmesini sağlayarak taşkın risklerini azaltabilir; kurak dönemlerde ise toprak ve yeraltı suyu depoları aracılığıyla su sürekliliğine katkı sağlayabilir. Ancak bu etkiler havza büyüklüğü, iklim koşulları ve orman yapısına bağlı olarak değişmektedir (Andréassian, 2004; Calder ve Aylward, 2006).

Doğa temelli çözümler yaklaşımı, iklim değişikliğine uyum kapsamında ormanların rolünü güçlendiren önemli bir yönetim çerçevesidir. Ormanların korunması, yeniden ağaçlandırma, bozulan havzaların restorasyonu ve riparyan alanların iyileştirilmesi; karbon tutumunu artırırken su kaynaklarının düzenlenmesine de katkı sağlamaktadır (Cohen-Shacham vd., 2016; IUCN, 2020). Türkiye’de havza rehabilitasyonu, erozyon kontrolü ve orman restorasyonu çalışmaları bu yaklaşım doğrultusunda giderek önem kazanmaktadır (OGM, 2020).

Türkiye’de iklim değişikliği ve su kaynakları ilişkisi değerlendirildiğinde, ormanların hidrolojik düzenleyici işlevleri stratejik öneme sahiptir. Gelecekte sıcaklık artışları, yağış azalmaları ve kuraklık risklerindeki artışların orman ve tatlı su ekosistemleri üzerinde baskı oluşturması beklenmektedir (Türkeş, 2020). Bu nedenle ormanların korunması, havza restorasyonu, yangın sonrası ekolojik

iyileştirme ve sürdürülebilir ormancılık uygulamaları, Türkiye'nin iklim değişikliğine uyum stratejilerinde temel araçlar olarak değerlendirilmelidir.

7. Orman Ekosistemlerinin Sürdürülebilir Havza Yönetimi ve Doğa Temelli Çözümlerdeki Rolü

Havza ölçeği, orman ve tatlı su ekosistemleri arasındaki ilişkilerin anlaşılması ve yönetilmesi açısından en uygun mekânsal yaklaşımlardan biridir. Çünkü su hareketi, sediment taşınımı, besin elementlerinin dolaşımı ve biyolojik bağlantılar hidrolojik sınırlar içerisinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle orman yönetimi ile su kaynakları yönetiminin birlikte ele alınması, ekosistem süreçlerinin bütüncül biçimde değerlendirilmesi açısından gereklidir. Sürdürülebilir havza yönetimi; ormanlar, akarsular, sulak alanlar, tarım alanları ve insan faaliyetleri arasındaki ilişkileri birlikte değerlendirerek doğal kaynakların uzun vadeli korunmasını amaçlamaktadır (GWP, 2000; Creed vd., 2011). Türkiye'de de havza temelli yaklaşımlar, su kaynaklarının korunması, erozyon kontrolü ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından ormancılık politikalarının önemli bir bileşenidir (Özhan vd., 2010).

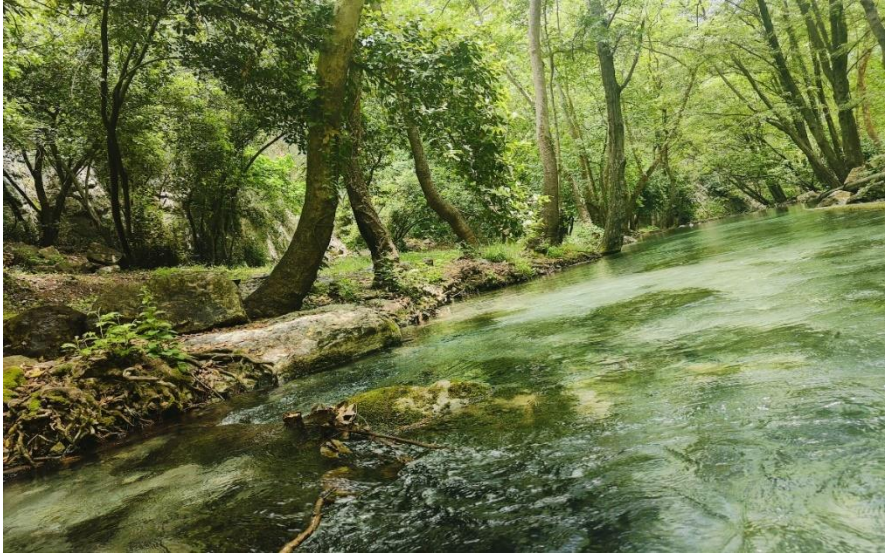
Geleneksel su yönetimi çoğunlukla baraj, kanal ve su transfer sistemleri gibi mühendislik çözümlerine dayanırken, iklim değişikliği ve ekosistem bozulmaları doğal altyapıların önemini artırmıştır. Bu kapsamda ormanların korunması, yeniden ağaçlandırma, riparyan alanların restorasyonu ve bozulan havzaların iyileştirilmesi; su miktarının düzenlenmesi, su kalitesinin korunması ve ekolojik dayanıklılığın artırılması açısından doğa temelli çözümler olarak değerlendirilmektedir (Cohen-Shacham vd., 2016; IUCN, 2020). Türkiye'de havza rehabilitasyonu, erozyon kontrolü ve taşkın azaltımı amacıyla yürütülen çalışmalar, ormanların doğal altyapı olarak kullanımına yönelik önemli uygulamalar arasında yer almaktadır (Gökbulak vd., 2016).

Ormanların sürdürülebilir havza yönetimine en önemli katkılarından biri, ekosistem hizmetlerinin devamlılığını sağlamasıdır. Ormanlar; su düzenleme, erozyon kontrolü, karbon depolama, habitat sağlama ve iklim düzenleme gibi çok sayıda hizmet sunmaktadır. Özellikle içme suyu havzalarında orman örtüsünün korunması, su kalitesinin iyileştirilmesine ve arıtma maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir (Brauman vd., 2007; Vörösmarty vd., 2010). Türkiye'de yapılan çalışmalar da orman alanlarındaki değişimlerin su verimi, sediment üretimi ve havza süreçleri üzerinde belirleyici etkiler oluşturduğunu göstermektedir (Özhan vd., 2010).

Sürdürülebilir havza yönetiminde yalnızca orman alanının miktarı değil, orman yapısı, tür çeşitliliği, yaş dağılımı, toprak özellikleri ve peyzaj içerisindeki konumu da dikkate alınmalıdır. Doğal ve karma yapılu ormanlar, su tutma

kapasitesi ve biyolojik çeşitlilik açısından çoğu zaman daha yüksek ekolojik işlevler sağlamaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir ormancılık uygulamalarında üretim hedeflerinin yanı sıra ekosistem bütünlüğü ve su kaynaklarının korunması temel amaçlar arasında yer almalıdır (Thompson vd., 2009; Seidl vd., 2017). Türkiye’de sürdürülebilir orman yönetimi anlayışı da üretim işlevlerinin yanında biyolojik çeşitlilik, su koruma ve ekosistem hizmetlerinin devamlılığını hedefleyen çok amaçlı bir yaklaşıma dayanmaktadır (Keleş, 2019).

Riparyan alanların korunması, sürdürülebilir havza yönetiminin önemli bileşenlerinden biridir. Akarsu kenarındaki orman şeritleri; sediment tutulması, besin elementi filtrasyonu, su sıcaklığının düzenlenmesi ve habitat bağlantısının korunması gibi çoklu ekolojik işlevler sağlamaktadır. Tarım alanları, yerleşimler veya altyapı nedeniyle bozulan havzalarda riparyan tampon bölgelerin yeniden oluşturulması, su kalitesinin iyileştirilmesi ve sucul biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi açısından etkili bir yönetim aracıdır (Mayer vd., 2007; Sweeney ve Newbold, 2014).



Şekil 2. Akarsu kenarındaki orman şeritleri

Orman restorasyonu, bozulan havzalarda hidrolojik ve ekolojik işlevlerin yeniden kazanılması açısından önemli bir uygulamadır. Ancak başarılı restorasyon yalnızca ağaç dikimine dayanmamalı; doğal türlerin kullanımı, toprak özelliklerinin iyileştirilmesi, hidrolojik süreçlerin yeniden kurulması ve yerel ekolojik koşulların dikkate alınmasını içermelidir (Suding, 2011; Chazdon, 2014). Türkiye’de bozulan orman alanlarının rehabilitasyonu ve havza

iyileştirme çalışmalarında doğal yenilenme süreçlerinin desteklenmesi, ekosistem dayanıklılığının artırılması açısından giderek önem kazanmaktadır (Boydak, 2004).

Doğa temelli çözümler yaklaşımı, sürdürülebilir havza yönetiminde ormanların rolünü güçlendiren önemli bir yönetim anlayışıdır. Bu yaklaşım; doğal ekosistemlerin korunması, sürdürülebilir yönetimi ve restorasyonu yoluyla taşkın risklerinin azaltılması, kuraklık etkilerinin hafifletilmesi, su kalitesinin iyileştirilmesi ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi çoklu faydalar sağlamaktadır (Cohen-Shacham vd., 2016; Seddon vd., 2020).

Türkiye’de orman ekosistemleri; su kıtlığı, erozyon ve iklim değişikliği koşullarında içme suyu havzalarının korunması, sediment kontrolü ve akarsu rejimlerinin düzenlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte arazi kullanım değişimleri, orman yangınları, aşırı otlatma ve kuraklık baskıları bu ekosistem hizmetlerini tehdit etmektedir. Bu nedenle havza yönetimi politikalarının ormancılık, su yönetimi, tarım ve koruma uygulamaları arasında bütünlük bir yaklaşımla geliştirilmesi gerekmektedir (Keleş, 2019; Türkeş, 2020).

Gelecekte sürdürülebilir havza yönetimi, orman ve tatlı su ekosistemlerini birbirine bağlı sosyal-ekolojik sistemler olarak ele alan yaklaşımlara dayanacaktır. Uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri, hidrolojik modelleme ve ekolojik izleme teknikleri; ormanların su kaynakları üzerindeki etkilerinin daha doğru değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanında yerel katılım, ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerinin dikkate alınması ve iklim senaryolarına dayalı planlama, geleceğin su ve orman yönetimi stratejilerinde önemli unsurlar olacaktır (Palmer vd., 2005; Vörösmarty vd., 2010). Türkiye’de de başarılı havza yönetimi, ormancılık, su yönetimi ve arazi kullanım planlamasının bütünlük biçimde yürütülmesine bağlıdır (Gökbulak vd., 2021).

8. Türkiye Perspektifinde Orman–Tatlı Su Ekosistemi İlişkileri: Havza Örnekleri, Sorunlar ve Gelecek Yaklaşımları

Türkiye, farklı iklim kuşakları, yüksek topoğrafik çeşitlilik ve zengin biyocoğrafik özellikleri nedeniyle orman–tatlı su ilişkilerinin bölgesel farklılıklar gösterdiği bir ülkedir. Kuzeyde nemli orman ekosistemleri ve yüksek yağışlı havzalar etkiliyken, güney ve iç bölgelerde su kısıtlılığı ve kuraklık baskıları daha belirgindir. Bu nedenle ormanların hidrolojik süreçler, su kalitesi, sediment kontrolü ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkileri bölgesel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Ormanların korunması, Türkiye açısından yalnızca ekolojik sürdürülebilirlik değil, aynı zamanda su güvenliği ve iklim değişikliğine uyum

açısından da stratejik önem taşımaktadır (Keleş, 2019; Türkeş, 2020; Gökbülak vd., 2021).

Türkiye’de orman–tatlı su ilişkilerinin en belirgin görüldüğü bölgelerden biri Karadeniz’dir. Yüksek yağış miktarı, eğimli topoğrafya ve yoğun orman örtüsü, bölgedeki akarsu sistemlerinin hidrolojik özelliklerini belirlemektedir. Karadeniz ormanları; yağışın tutulması, yüzey akışının azaltılması, erozyonun sınırlandırılması ve sediment taşınımının kontrol edilmesi açısından önemli ekosistem hizmetleri sağlamaktadır. Bununla birlikte orman örtüsünün bozulduğu eğimli alanlarda heyelan, erozyon ve akarsulara sediment taşınımı riskleri artmaktadır. Bu nedenle Karadeniz havzalarında ormanların korunması hem ekolojik hem de afet risklerinin azaltılması açısından önemlidir (Özhan vd., 2010; Gökbülak vd., 2016).

Karadeniz’de gerçekleştirilen hidrolojik çalışmalar, orman örtüsünün suyun havza içerisindeki hareketini düzenlediğini ve toprak özellikleri yoluyla su depolama kapasitesini artırdığını göstermektedir. Bu nedenle orman işletmeciliğinde yalnızca odun üretimi değil, su üretimi, havza koruma ve ekosistem hizmetlerinin devamlılığı da dikkate alınmalıdır (Özhan vd., 2010; Gökbülak vd., 2021).

Akdeniz Bölgesi ise iklim değişikliği açısından orman–su ilişkilerinin en hassas olduğu alanlardan biridir. Uzun yaz kuraklığı, yüksek sıcaklıklar ve düzensiz yağış rejimi, özellikle kızılçam ormanlarında su stresini artırmaktadır. Bu ormanlar havza koruma, erozyon azaltımı ve su düzenleme açısından önemli işlevlere sahip olmakla birlikte, artan kuraklık ve yangın baskıları hidrolojik işlevlerini tehdit etmektedir. Yangın sonrası bitki örtüsünün kaybı; infiltrasyon kapasitesinin azalmasına, yüzey akışının ve sediment taşınımının artmasına, su kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir (Boydak, 2004; Turco vd., 2018; Türkeş, 2020).

Türkiye’de birçok içme suyu havzası orman ekosistemleriyle doğrudan ilişkilidir. Ormanlar; sediment üretimini azaltarak, doğal filtrasyon süreçlerini destekleyerek ve besin elementi taşınımını sınırlandırarak su kalitesinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Ancak kentleşme, madencilik, ulaşım altyapısı ve kontrolsüz arazi kullanımı bu havzaların ekolojik işlevlerini azaltabilmektedir. Bu nedenle su havzası koruma politikalarının orman yönetimi, arazi kullanım planlaması ve ekosistem hizmetleri yaklaşımıyla birlikte yürütülmesi gerekmektedir (Brauman vd., 2007; Keleş, 2019).

Baraj havzalarında da ormanların hidrolojik düzenleyici rolü büyük önem taşımaktadır. Özellikle eğimli alanlarda orman örtüsü, toprak kaybını azaltarak sediment taşınımını sınırlandırmakta ve barajların kullanım ömrünün korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle baraj havzalarında yalnızca

ağaçlandırma değil, doğal ormanların korunması, arazi kullanım planlaması ve erozyon kontrol uygulamalarının birlikte yürütülmesi gerekmektedir (Özhan vd., 2010; Korkanç, 2014).

Türkiye, tatlı su biyolojik çeşitliliği açısından önemli bir potansiyele sahip olmakla birlikte, birçok akarsu ve sulak alan sistemi insan kaynaklı baskılarla karşı karşıyadır. Su kullanımı, kirlilik, akarsu düzenlemeleri, habitat parçalanması ve iklim değişikliği, sucul türler üzerinde önemli tehditler oluşturmaktadır. Ormanların korunması, su miktarının yanı sıra su sıcaklığı, sediment yükü ve besin koşullarını düzenleyerek bu baskıların azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle küçük dağ akarsuları ve endemik türlerin bulunduğu havzalarda riparyan orman alanlarının korunması büyük önem taşımaktadır (Dudgeon vd., 2006; Tarkan vd., 2015; Albert vd., 2021).



Şekil 3. Kıyı Sulak Orman Alanları

Son yıllarda Türkiye’de artan orman yangınları, orman–tatlı su ilişkileri açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Yangın sonrası bitki örtüsünün kaybı; toprak yapısının bozulmasına, su tutma kapasitesinin azalmasına ve yüzey akışının artmasına neden olmaktadır. Özellikle Akdeniz havzalarında kül ve sediment taşınımı, içme suyu kaynaklarını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle yangın sonrası restorasyon çalışmalarında yalnızca orman örtüsünün yenilenmesi değil, havza hidrolojisi, toprak süreçleri ve sucul habitatların birlikte iyileştirilmesi hedeflenmelidir (Shakesby ve Doerr, 2006; Ebel vd., 2012).

İklim değışikliğı, Türkiye’de orman ve tatlı su ekosistemlerinin geleceğini belirleyen temel faktörlerden biridir. Özellikle Akdeniz iklim kuşağında sıcaklık artışı, yağış azalması ve kuraklık risklerindeki yükseliş; ormanların su kullanımını, yangın rejimlerini ve havza hidrolojisini etkileyebilecektir. Bu nedenle ormancılık politikalarının geçmiş iklim koşullarına dayalı yaklaşımlar yerine, iklim değışikliğine uyum sağlayan esnek ve ekosistem temelli yönetim modellerine dayanması gerekmektedir (Seidl vd., 2017; Türkeş, 2020; IPCC, 2022).

Türkiye’de orman–tatlı su ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi için bütünleşik havza yönetiminin güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım; ormanların korunması, su kaynaklarının izlenmesi, biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi, riparyan alanların korunması ve iklim senaryolarına dayalı planlamayı kapsamalıdır. Orman restorasyonu, akarsu koridorlarının iyileştirilmesi ve ekolojik bağlantıların korunması ise doğa temelli çözümler kapsamında geleceğin su yönetimi stratejilerinde önemli araçlar olacaktır (Gökbulak, 2004; Cohen-Shacham vd., 2016; Seddon vd., 2020; Kimençe, 2022).

Tüm bu değerlendirmeler ışığında orman ekosistemleri, Türkiye’de tatlı su sistemlerinin yapısını ve işleyişini düzenleyen temel doğal sistemlerdir. Ormanların hidrolojik süreçleri düzenleme, su kalitesini koruma, biyolojik çeşitliliği destekleme ve iklim değışikliğinin etkilerini azaltma kapasitesi, korunmalarını stratejik bir gereklilik hâline getirmektedir. Sürdürülebilir su yönetiminin başarısı, orman ve tatlı su ekosistemleri arasındaki ekolojik bağlantıların korunmasına ve bütünleşik yönetim modellerinin uygulanmasına bağlı olacaktır.

9. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Orman ekosistemleri ile tatlı su ekosistemleri arasındaki ilişki; ekoloji, hidroloji, iklim bilimi ve doğal kaynak yönetiminin kesişiminde yer alan çok disiplinli bir araştırma alanıdır. Bu ilişki, yalnızca suyun fiziksel hareketleriyle sınırlı olmayıp enerji akışı, besin döngüleri, biyolojik çeşitlilik, karbon depolama ve insan refahı ile bağlantılı karmaşık bir sosyal-ekolojik sistem oluşturmaktadır. Ormanlar; yağışın tutulması, infiltrasyonun artırılması, yüzey akışının kontrol edilmesi ve su kalitesinin korunması yoluyla tatlı su ekosistemlerinin sürekliliğine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle ormanların korunması hem biyolojik çeşitliliğin hem de uzun vadeli su güvenliğinin temel unsurlarından biridir (Bruijnzeel, 2004; Creed vd., 2011).

Bilimsel çalışmalar, ormanların hidrolojik süreçlerde önemli bir düzenleyici rol üstlendiğini göstermektedir. Orman örtüsü; yağışın tutulması, toprak infiltrasyonunun desteklenmesi, yüzeysel akışın azaltılması, yeraltı suyu

beslenmesinin sağlanması ve akarsu rejimlerinin dengelenmesi gibi süreçleri etkiler. Bununla birlikte orman–su ilişkileri iklim, topoğrafya, toprak özellikleri, orman yapısı ve havza koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle hidrolojik hizmetlerin değerlendirilmesinde yerel koşulları dikkate alan havza temelli yaklaşımlar önem taşımaktadır (Andréassian, 2004; Calder ve Aylward, 2006).

Ormanların tatlı su sistemleri üzerindeki en önemli etkilerinden biri su kalitesinin korunmasıdır. Orman toprakları sediment taşınımını azaltmakta, besin elementlerini tutmakta ve kirleticilerin su kaynaklarına ulaşmasını sınırlandırmaktadır. Özellikle riparyan orman alanları; sediment kontrolü, su sıcaklığının düzenlenmesi, besin elementi filtrasyonu ve habitat sürekliliği açısından kritik tampon bölgeler oluşturmaktadır (Brauman vd., 2007; Sweeney ve Newbold, 2014).

Ormanlık havzalar, sucul canlılar için uygun habitatlar sağlayarak tatlı su biyolojik çeşitliliğinin devamına katkıda bulunur. Ormanlardan akarsulara ulaşan organik materyaller, özellikle küçük akarsu sistemlerinde temel enerji kaynaklarından biridir. Buna karşılık ormansızlaşma, habitat kaybı ve arazi kullanım değişimleri; su sıcaklığında artış, sediment yükünde yükselme ve habitat kalitesinde azalma yoluyla tatlı su ekosistemlerini olumsuz etkileyebilmektedir (Dudgeon vd., 2006; Albert vd., 2021).

İklim değişikliği, orman–tatlı su ilişkilerini etkileyen en önemli küresel baskılardan biridir. Sıcaklık artışları, değişen yağış rejimleri, kuraklık ve yangın riski ormanların hidrolojik işlevlerini tehdit etmektedir. Bununla birlikte sağlıklı orman ekosistemleri; karbon depolama, mikroklima düzenleme, suyun havzada tutulması ve habitat bağlantılarının korunması yoluyla iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Bonan, 2008; Seidl vd., 2017).

Günümüzde orman yönetimi anlayışı, yalnızca odun üretimine dayalı yaklaşımlardan uzaklaşarak su düzenleme, karbon depolama, biyolojik çeşitlilik koruma ve iklim uyumu gibi çoklu ekosistem hizmetlerini kapsayan bütüncül bir anlayışa yönelmektedir. Bu kapsamda sürdürülebilir havza yönetimi; ormanların korunması, bozulmuş alanların restorasyonu, riparyan bölgelerin iyileştirilmesi ve su kaynaklarının izlenmesi gibi uygulamaları birlikte ele almalıdır (MEA, 2005; Cohen-Shacham vd., 2016; Díaz vd., 2018).

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, ormanların tatlı su kaynaklarının korunmasındaki rolü bölgesel koşullara bağlı olarak önem kazanmaktadır. Karadeniz Bölgesi’nde ormanlar yağış düzenleme, erozyon kontrolü ve akarsu rejimlerinin dengelenmesine katkı sağlarken; Akdeniz Bölgesi’nde kuraklık, yangın ve su kıtlığı baskıları nedeniyle daha kritik bir işleve sahiptir. Bu nedenle Türkiye’de ormancılık politikalarının su yönetimiyle bütünleştirilmesi ve

ekosistem hizmetlerinin korunmasına yönelik yaklaşımların güçlendirilmesi gerekmektedir (Keleş, 2019; Türkeş, 2020; Gökbulak vd., 2021).

Türkiye’de dağlık havzalar, baraj havzaları ve içme suyu havzalarında ormanların düzenleyici etkisi açık biçimde görülmektedir. Ancak yangınlar, arazi kullanım değişimleri, madencilik faaliyetleri, kentleşme ve iklim değişikliği bu hizmetlerin devamlılığını tehdit etmektedir. Bu nedenle bütünleşik havza yönetimi yaklaşımlarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Özhan vd., 2010; Korkanç, 2014).

Gelecekte yapılacak çalışmaların; uzun süreli hidrolojik izleme, iklim değişikliği modelleri, uzaktan algılama teknikleri ve ekosistem hizmetlerinin ekonomik değerlendirilmesine odaklanması gerekmektedir. Özellikle Türkiye’de farklı iklim bölgelerini temsil eden havzalarda yürütülecek uzun dönemli araştırmalar, ormanların su kaynakları üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasına ve sürdürülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır (Gökbulak, 2004; Palmer vd., 2005; Vörösmarty vd., 2010; Vatandaşlar, 2021).

Sonuç olarak orman ekosistemleri, tatlı su sistemlerinin yalnızca çevresindeki karasal alanlar değil, bu sistemlerin yapısını ve sürdürülebilirliğini belirleyen temel ekolojik düzenleyicilerdir. Ormanların hidrolojik süreçleri düzenleme, su kalitesini koruma, biyolojik çeşitliliği destekleme ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırma kapasitesi, korunmalarını stratejik bir gereklilik hâline getirmektedir. Gelecekte su güvenliği; ekosistem temelli yönetim yaklaşımlarının benimsenmesine ve doğal süreçlerle insan faaliyetleri arasında sürdürülebilir bir dengenin kurulmasına bağlı olacaktır.

KAYNAK

- Albert, J. S., Destouni, G., Duke-Sylvester, S. M., Magurran, A. E., Oberdorff, T., Reis, R. E., Winemiller, K. O. ve Ripple, W. J. (2021). Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis. *Ambio*, 50, 85–94. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01318->
- Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 257–284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
- Anderegg, W. R. L., Hicke, J. A., Fisher, R. A., Allen, C. D., Aukema, J., Bentz, B., Hood, S., Lichstein, J. W., Macalady, A. K., McDowell, N. G., Pan, Y., Raffa, K., Sala, A., Shaw, J. D., Stephenson, N. L., Tague, C., & Zeppel, M. (2015). *Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate*. *New Phytologist*, 208(3), 674–683. <https://doi.org/10.1111/nph.13477>
- André, F., Jonard, M. ve Ponette, Q. (2008). *Precipitation water storage capacity in a temperate mixed oak–beech canopy*. *Hydrological Processes*, 22(20), 4130–4141. <https://doi.org/10.1002/hyp.7013>
- Andréassian, V. (2004). *Waters and forests: From historical controversy to scientific debate*. *Journal of Hydrology*, 291(1–2), 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.015>
- Baran, İ. Ve Atatür, M. K. (1998). *Turkish Herpetofauna (Amphibians and Reptiles)*. Ankara: Ministry of Environment.
- Bekiroğlu, S. ve Eker, Ö. (2011). The importance of forests in a sustainable supply of drinking water: Istanbul example. *African Journal of Agricultural Research*, 6(7), 1794–1801. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR10.690>
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. ve Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15, 365–377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320(5882), 1444–1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>
- Bonnesoeur, V., Locatelli, B., Guariguata, M. R., Ochoa-Tocachi, B. F., Vanacker, V., Mao, Z., Stokes, A., ve Mathez-Stiefel, S. L. (2019). Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *Forest Ecology and Management*, 433, 569–584. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.033>

- Boydak, M. (2004). *Silvicultural characteristics and natural regeneration of Pinus brutia Ten. – a review. Plant Ecology*, 171, 153–163. <https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029373.54545.d2>
- Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K. ve Mooney, H. A. (2007). The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 67–98. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>
- Broadmeadow, S. ve Nisbet, T. R. (2004). The effects of riparian forest management on the freshwater environment: A literature review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8, 286–305. <https://doi.org/10.5194/hess-8-286-2004>
- Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems ve Environment*, 104, 185–228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>
- Calder, I. R. ve Aylward, B. (2006). *Forest and floods: Moving to an evidence-based approach to watershed and integrated flood management*. Water International, 31(1), 87–99. <https://doi.org/10.1080/025080606008691918>
- Chazdon, R. L. (2014). *Second growth: The promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226118109.001.0001>
- Choat, B., Brodribb, T. J., Brodersen, C. R., Duursma, R. A., López, R. ve Medlyn, B. E. (2018). Triggers of tree mortality under drought. *Nature*, 558(7711), 531–539. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0240-x>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. ve Maginnis, S. (Eds.). (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. International Union for Conservation of Nature (IUCN). <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>
- Creed, I. F., Sass, G. Z., Buttle, J. M. ve Jones, J. A. (2011). Hydrological principles for sustainable management of forest ecosystems. *Hydrological Processes*, 25, 2152–2160. <https://doi.org/10.1002/hyp.8056>
- Crockford, R. H. ve Richardson, D. P. (2000). *Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: Effect of forest type, ground cover and climate*. Hydrological Processes, 14(16–17), 2903–2920. [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(200011/12\)14:16/17<2903::AID-HYP126>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/1099-1085(200011/12)14:16/17<2903::AID-HYP126>3.0.CO;2-6)
- Cushman, S. A. (2006). Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians. *Biological Conservation*, 128, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.031>

- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A. H., Soto, D., Stiassny, M. L. J. ve Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- Ebel, B. A., Moody, J. A. ve Martin, D. A. (2012). Hydrologic conditions controlling runoff generation immediately after wildfire. *Water Resources Research*, 48. <https://doi.org/10.1029/2011WR011470>
- Ekinçi, H. (2006). Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Çanakkale, Turkey. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8(1), 102–106.
- Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., van Noordwijk, M., Creed, I. F., Pokorný, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A. B., Ilstedt, U., Teuling, A. J., Gebrehiwot, S. G., Sands, D. C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y. ve Sullivan, C. A. (2017). *Trees, forests and water: Cool insights for a hot world*. *Global Environmental Change*, 43, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
- Esen, S. E., Hein, L. ve Çüceloglu, G. (2023). Accounting for the water related ecosystem services of forests in the Southern Aegean region of Turkey. *Ecological Indicators*, 154, 110553. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110553>
- Fagan, W. F. (2002). *Connectivity, fragmentation, and extinction risk in dendritic metapopulations*. *Ecology*, 83(12), 3243–3249. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[3243:CFAERI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[3243:CFAERI]2.0.CO;2)
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N. ve Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- García-Ruiz, J. M., Beguería, S., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J. C., Lana-Renault, N. ve Sanjuán, Y. (2015). A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*, 239, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.008>
- Gökbulak, F. (2004). Havza amenajmanının gelişimi ve doğal kaynak sorunlarıyla ilişkisi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 54(1), 83–90. DOI: 10.17099/jffiu.15084

- Global Water Partnership. (2000). *Integrated water resources management*. TAC Background Papers No. 4. Global Water Partnership, Technical Advisory Committee.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D., Cook, W. M., Damschen, E. I., Ewers, R. M., Foster, B. L., Jenkins, C. N., King, A. J., Laurance, W. F., Levey, D. J., Margules, C. R., ... Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Ilstedt, U., Malmer, A., Verbeeten, E. ve Murdiyarso, D. (2007). *The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: A systematic review and meta-analysis*. Forest Ecology and Management, 251(1–2), 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.014>
- IPCC, (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- IUCN, (2020). *IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of Nature-based Solutions* (1st ed.). Gland, Switzerland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.en>
- Kadioğlu, M. (2012). Türkiye’de iklim değişikliği risk yönetimi. Türkiye’nin İklim Değişikliği II. Ulusal Bildiriminin Hazırlanması Projesi Yayını, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Kazancı, N., Türkmen, G., Başören, Ö., Gültutan, Y., Ekingen, P. ve Öz, B. (2008). *A research on water quality of Kelkit Stream using benthic macroinvertebrates and physicochemical variables. Review of Hydrobiology*, 1, 145–160.
- Keleş, S. (2019). *An assessment of hydrological functions of forest ecosystems to support sustainable forest management*. Journal of Sustainable Forestry, 38(4), 305–326. <https://doi.org/10.1080/10549811.2018.1547879>
- Kimençe, T. (2022). Su Kaynakları Yönetiminde Havza Ölçekli Faaliyetler. İçinde: İklim Değişimi Çerçevesinde Su Kaynaklarının Mevcut Durumu ve Geleceği. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA). DOI: 10.53478/TUBA.978-625-8352-56-6.ch08
- Korkanç, S. Y. (2014). Effects of afforestation on soil organic carbon and other soil properties. *Catena*, 123, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.07.009>

- Lele, S. (2009). *Watershed services of tropical forests: From hydrology to economic valuation to integrated analysis*. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2), 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.10.007>
- Mayer, P. M., Reynolds, S. K., McCutchen, M. D. ve Canfield, T. J. (2007). Meta-analysis of nitrogen removal in riparian buffers. *Journal of Environmental Quality*, 36, 1172–1180. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0462>
- MEA, (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-484-0>
- Naiman, R. J. ve Décamps, H. (1997). *The ecology of interfaces: Riparian zones*. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 621–658. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
- Naiman, R. J., Décamps, H. ve McClain, M. E. (2005). *Riparia: Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. San Diego, CA: Elsevier Academic Press.
- OGM (2020). Türkiye Orman Varlığı ve Orman Yönetimi Raporları.
- Özdemir, M., Serengil, Y., Yurtseven, İ., İnan, M., Pamukçu Albers, P. ve Tonbul, C. (2020). *Ormanların su üretim hizmetine yönelik yeni planlama yaklaşımı*. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 7(2), 162–178. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.690985>
- Özden, O. ve Tolunay, A. (2020). Orman alanları içindeki su kaynaklarında aquaforestry uygulamaları. *Turkish Journal of Forest Science*, 4(1), 99–112. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.664947>
- Özhan, S., Gökbulak, F., Serengil, Y. ve Özcan, M. (2010). Evapotranspiration from a mixed deciduous forest ecosystem. *Water Resources Management*, 24(10), 2353–2363. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9555-6>
- Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J. D., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C. N., Follstad Shah, J., Galat, D. L., Loss, S. G., Goodwin, P., Hart, D. D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G. M., Lave, R., Meyer, J. L., ... Sudduth, E. (2005). *Standards for ecologically successful river restoration*. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208–217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01004.x>
- Richardson, J. S. ve Danehy, R. J. (2007). *A synthesis of the ecology of headwater streams and their riparian zones in temperate forests*. *Forest Science*, 53(2), 131–147. <https://doi.org/10.1093/forestscience/53.2.131>
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A. J., Smith, A. ve Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of*

- the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M. J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T. A. ve Reyer, C. P. O. (2017). *Forest disturbances under climate change*. *Nature Climate Change*, 7(6), 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- Shakesby, R. A. ve Doerr, S. H. (2006). Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, 74, 269–307. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.10.006>
- Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S. L., Fischman, D. L. ve Waller, R. W. (2004). Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306(5702), 1783–1786. <https://doi.org/10.1126/science.1103538>
- Suding, K. N. (2011). Toward an era of restoration in ecology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42, 465–487. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145115>
- Sweeney, B. W. ve Newbold, J. D. (2014). *Streamside forest buffer width needed to protect stream water quality, habitat, and organisms: A literature review*. *Journal of the American Water Resources Association*, 50(3), 560–584. <https://doi.org/10.1111/jawr.12203>
- Tank, J. L., Rosi-Marshall, E. J., Griffiths, N. A., Entrekin, S. A. ve Stephen, M. L. (2010). *A review of allochthonous organic matter dynamics and metabolism in streams*. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(1), 118–146. <https://doi.org/10.1899/08-170.1>
- Tarkan, A. S., Marr, S. M. ve Ekmekçi, F. G. (2015). Non-native and translocated freshwater fish species in Turkey. *Fishes in Mediterranean Environments*, 2015.003, 1–28. DOI: 10.29094/FiSHMED.2015.003
- Thompson, I. D., Mackey, B., McNulty, S. ve Mosseler, A. (2009). *Forest resilience, biodiversity, and climate change: A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada. CBD Technical Series No. 43
- Tolunay, D. ve Çömez, A. (2008). Türkiye ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu 2008 Bildirileri*, 750–765
- Trancoso, R., Larsen, J. R., McVicar, T. R., Phinn, S. R. ve McAlpine, C. A. (2017). *CO₂-vegetation feedbacks and other climate changes implicated in*

- reducing base flow*. Geophysical Research Letters, 44(5), 2310–2318. <https://doi.org/10.1002/2017GL072759>
- Turco, M., Jerez, S., Doblas-Reyes, F. J., AghaKouchak, A., Llasat, M. C. ve Provenzale, A. (2018). Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. *Nature Communications*, 9, 3821. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06358-z>
- Türkeş, M. (2020). *İklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliğine etkileri: Bilimsel bir değerlendirme*. Ege Coğrafya Dergisi, 29(1), 125–149
- Vatandaşlar, C. (2021). Orman fonksiyonu mu ekosistem hizmeti mi? *Turkish Journal of Forestry*, 22(2), 171–185. DOI: 10.18182/tjf.892837
- Vitousek, P. M. ve Howarth, R. W. (1991). Nitrogen limitation on land and in the sea. *Biogeochemistry*, 13, 87–115. <https://doi.org/10.1007/BF00002772>
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Reidy Liermann, C. ve Davies, P. M. (2010). *Global threats to human water security and river biodiversity*. *Nature*, 467(7315), 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Wallace, J. B., Eggert, S. L., Meyer, J. L. ve Webster, J. R. (1997). *Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs*. *Science*, 277(5322), 102–104. <https://doi.org/10.1126/science.277.5322.102>
- Woodward, G., Perkins, D. M. ve Brown, L. E. (2010). *Climate change and freshwater ecosystems: Impacts across multiple levels of organization*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1549), 2093–2106. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0055>
- Zengin, H., Özcan, M., Değermenci, A. S., & Çitgez, T. (2023). *Multiple linear regression models for the estimation of water flows for forest management and planning in Türkiye*. *Water SA*, 49(3), 220–229. <https://doi.org/10.17159/wsa/2023.v49.i3.4000>
- Zhang, J., Lei, T., Qu, L., Chen, P., Gao, X., Chen, C., Yuan, L., Zhang, M. ve Su, G. (2017). Method to measure soil matrix infiltration in forest soil. *Journal of Hydrology*, 552, 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.032>

7. Bölüm

Orman Alanlarında Erozyon Kontrolünün Su Ürünleri Üzerindeki Etkisi

Mustafa İlker SÜRER¹, Nilüfer YAZICI²

1. Giriş

Orman ekosistemleri, yalnızca odun hammaddesi üreten doğal kaynaklar olmayıp; toprak, su ve biyolojik çeşitliliğin korunmasında temel ekosistem hizmetleri sunan karmaşık yapılardır. Ormanlar, karbon depolama, iklim düzenleme, hidrolojik döngünün devamlılığı ve erozyonun önlenmesi gibi birçok ekolojik fonksiyonu aynı anda yerine getirmektedir. Özellikle havza bazında değerlendirildiğinde, ormanların su rejiminin düzenlenmesi, infiltrasyonun artırılması ve yüzey akışının kontrol edilmesi yoluyla su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine önemli katkılar sağladığı bilinmektedir (Bruijnzeel, 2004; Calder, 2007; FAO, 2020).

Toprak erozyonu, dünya genelinde doğal kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit eden en önemli çevresel sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir (Şekil 1) . Erozyon sonucunda verimli üst toprağın kaybedilmesi yalnızca arazi verimliliğini azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda sediment taşınımı yoluyla akarsu, göl ve rezervuar ekosistemlerinde fiziksel ve kimyasal değişimlere neden olmaktadır. Özellikle eğimli orman havzalarında meydana gelen erozyon süreçleri, sucul ekosistemlerin yapısını ve işleyişini doğrudan etkileyebilmektedir (Pimentel vd., 1995; García-Ruiz vd., 2015).

¹ Dr, 0000-0002-2735-9545.

² Prof. Dr. ISUBÜ Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, 0000-0002-4397-5639



Şekil 1. Toprak erozyonu (Ders Coğrafya, 2026)

Orman alanlarında gerçekleştirilen erozyon kontrol uygulamaları; ağaçlandırma, doğal gençleştirme, teraslama, oyuntu kontrolü, dere ıslahı ve havza rehabilitasyonu gibi biyolojik ve mekanik yöntemleri kapsamaktadır. Bu uygulamalar sayesinde yüzey akışı azaltılmakta, sediment üretimi sınırlandırılmakta ve havza içerisindeki hidrolojik denge korunmaktadır. Böylece yalnızca toprak kayıpları azaltılmamakta, aynı zamanda su kaynaklarının kalitesi ve miktarı üzerinde de olumlu etkiler meydana gelmektedir (Özhan, 2004; Morgan, 2005; Sidle vd., 2006).

Sediment taşınımındaki artış, su ürünleri açısından önemli çevresel baskılar oluşturmaktadır. Akarsulara taşınan ince sedimentler, balıkların yumurtlama alanlarını kaplayarak üreme başarısını azaltabilmekte, bentik omurgasız topluluklarının yapısını değiştirebilmekte ve suyun bulanıklığını artırarak fotosentetik üretimi sınırlandırabilmektedir. Bunun sonucunda hem doğal balık popülasyonlarında hem de yetiştiricilik faaliyetlerinde verim kayıpları ortaya çıkabilmektedir (Wood ve Armitage, 1997; Kemp vd., 2011; Bilotta ve Brazier, 2008).

Türkiye, topoğrafik yapısı, iklim özellikleri ve arazi kullanım biçimleri nedeniyle erozyon riski yüksek ülkeler arasında yer almaktadır. Özellikle eğimli arazilerde orman örtüsünün bozulması, sediment taşınımını artırarak akarsu sistemleri ile baraj rezervuarlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Son yıllarda Orman Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen havza rehabilitasyonu, ağaçlandırma ve erozyon kontrol projeleri sayesinde birçok havzada önemli iyileşmeler sağlanmış olmakla birlikte, bu çalışmaların su ürünleri ekosistemleri

üzerindeki etkilerini değerlendiren araştırmaların sayısı sınırlıdır (OGM, 2020; Özhan, 2004; Gol ve Dengiz , 2008).

Orman alanlarında erozyon kontrolünün su ürünleri üzerindeki etkileri ekosistem temelli bir yaklaşımla ele alınmıştır. Öncelikle orman-havza ilişkisi ve erozyon süreçleri açıklanmış, ardından sediment dinamiklerinin sucul ekosistemlere etkileri değerlendirilmiş ve Türkiye'de gerçekleştirilen uygulamalar su ürünleri açısından incelenmiştir. Son olarak sürdürülebilir havza yönetimi kapsamında ormancılık ve su ürünleri disiplinlerinin birlikte ele alınmasına yönelik öneriler sunulmuştur (Allan, 2004; Dudgeon vd., 2006; MEA, 2005; OGM, 2021).

2. Orman Alanlarında Erozyon Süreçleri ve Havza Dinamikleri

Orman ekosistemleri, karasal ve sucul sistemler arasındaki madde ve enerji akışlarının düzenlenmesinde önemli bir role sahiptir. Özellikle eğimli arazilerde bulunan orman alanları, yağışın yüzey akışına dönüşmesini sınırlandırarak toprak kaybını azaltmakta ve havza içerisindeki hidrolojik süreçlerin dengelenmesine katkı sağlamaktadır. Orman örtüsünün sağladığı bu koruyucu etki; yaprak, dal ve gövde yüzeylerinde yağışın tutulması, orman tabanındaki ölü örtünün infiltrasyonu artırması ve kök sistemlerinin toprağın mekanik dayanımını güçlendirmesi gibi çok yönlü süreçlerle gerçekleşmektedir. Bu nedenle ormanlar, yalnızca odun hammaddesi sağlayan üretim alanları değil, aynı zamanda toprak ve su kaynaklarının korunmasını sağlayan kritik ekosistemler olarak değerlendirilmektedir (Bruijnzeel, 2004; Calder, 2007).

Erozyon, doğal jeomorfolojik süreçlerin bir parçası olmakla birlikte, insan kaynaklı arazi kullanım değişiklikleri nedeniyle hızlandığında önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Toprak parçacıklarının yağış ve yüzey akışı etkisiyle koparılması, taşınması ve birikmesi şeklinde gerçekleşen erozyon süreci; iklim, topografya, toprak özellikleri, bitki örtüsü ve arazi yönetimi uygulamalarının ortak etkisiyle şekillenmektedir. Orman alanlarında bitki örtüsünün sürekliliği, yağmur damlalarının doğrudan toprak yüzeyine ulaşmasını azaltarak yüzey erozyonunun başlangıç aşamasını sınırlandırmaktadır. Buna karşılık ormansızlaşma, aşırı otlatma, yangınlar ve yanlış arazi kullanımı sonucunda bitki örtüsünün azalması, toprakların erozyona karşı hassasiyetini artırmakta ve havzalardan taşınan sediment miktarını yükseltmektedir (Gyssels vd., 2005; Sidle vd., 2006; García-Ruiz, 2010).

Türkiye, jeolojik yapısı, topoğrafik özellikleri, iklim çeşitliliği ve arazi kullanım baskıları nedeniyle erozyona duyarlı ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkenin özellikle iç, doğu ve güney bölgelerinde eğimli arazilerin geniş alan kaplaması, düzensiz yağış rejimi ve bitki örtüsündeki bozulmalar yüzey akışını

artırarak toprak kayıplarını hızlandırabilmektedir (Şekil 2.). Türkiye’de yapılan çalışmalar, yanlış arazi kullanımı, orman tahribatı ve bitki örtüsü kayıplarının erozyon riskini artıran temel faktörler arasında olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Türkiye’de erozyon kontrolü uzun yıllardır ormancılık politikalarının önemli bileşenlerinden biri olmuş; ağaçlandırma, mera ıslahı, teraslama ve havza rehabilitasyonu uygulamaları yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Özhan, 2004; İrvem vd., 2007)



Şekil 2. Toprak kayıpları (Njtrees, 2020)

Ormanların erozyon üzerindeki etkisi yalnızca toprak kaybının azaltılması ile sınırlı değildir. Orman örtüsü, havza hidrolojisini düzenleyerek yağış sonrası oluşan ani yüzey akışlarını azaltmakta, suyun toprak içerisindeki hareketini artırmakta ve akarsu rejiminin daha dengeli hâle gelmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum özellikle küçük havzalarda taşkın riskinin azalmasına ve sediment taşınımının kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, ormanların su üretimi üzerindeki etkisi; iklim koşulları, ağaç türü, meşcere yaşı ve yönetim uygulamalarına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle günümüzde orman-hidroloji ilişkisi, tek yönlü bir “orman daha fazla su sağlar” yaklaşımından ziyade, havza ölçeğinde su ve sediment dengelerinin birlikte değerlendirildiği daha kapsamlı bir anlayışla ele alınmaktadır (Bonell, 2005; Andréassian, 2004).

Orman alanlarında meydana gelen bozulmalar, havza içerisindeki sediment üretim dengesini önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Ormansızlaşma, yangın, aşırı otlatma, madencilik faaliyetleri ve plansız orman yolları; bitki örtüsünün sürekliliğini bozarak toprağın erozyona karşı hassasiyetini artırmaktadır (Şekil 3). Özellikle orman yangınlarından sonra bitki örtüsünün kaybolması, toprak yüzeyinde su itici (hidrofobik) tabakaların oluşması ve infiltrasyon kapasitesinin azalması nedeniyle kısa süre içerisinde yüksek miktarda sediment taşınımı meydana gelebilmektedir. Yangın sonrası ilk yağış dönemleri, havzalardan

akarsu sistemlerine yoğun sediment girişinin yaşandığı kritik dönemler olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, yalnızca toprak kaybına değil, aynı zamanda aşağı havzalardaki su kalitesinin ve sucul habitatların bozulmasına neden olmaktadır (Shakesby, 2011; Moody vd., 2013).



Şekil 3. Orman alanlarında meydana gelen bozulma (Vistacreate, 2026)

Türkiye’de havza bazlı erozyon kontrol çalışmalarında orman ekosistemlerinin korunması ve geliştirilmesi temel stratejilerden biri olmuştur. Özellikle dağlık bölgelerde gerçekleştirilen ağaçlandırma ve rehabilitasyon çalışmaları, yüzey akışını azaltarak sediment üretimini sınırlandırmayı amaçlamaktadır. Orman Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen havza rehabilitasyonu projelerinde, bitkilendirme çalışmalarının yanı sıra teraslama, dere ıslahı, oyuntu erozyonu kontrolü ve küçük su yapıları gibi uygulamalar birlikte kullanılmaktadır. Bu tür bütüncül yaklaşımlar, yalnızca toprak koruma açısından değil, aynı zamanda aşağı havzalarda yer alan akarsuların, göllerin ve barajların su kalitesinin korunması açısından da önem taşımaktadır (OGM, 2020).

Orman alanlarında meydana gelen bozulmaların en önemli sonuçlarından biri sediment taşınımındaki artıştır. Özellikle orman yangınları sonrasında bitki örtüsünün ortadan kalkması, toprak yüzeyinde su itici özelliklerin oluşması ve infiltrasyon kapasitesinin azalması, kısa sürede yüksek miktarda yüzey akışı ve sediment üretimine neden olabilmektedir. Akdeniz ikliminin etkili olduğu bölgelerde yangın sonrası ilk yağışlar, havzalardan akarsu sistemlerine yoğun sediment taşınımının gerçekleştiği kritik dönemler olarak kabul edilmektedir. Türkiye’de özellikle Akdeniz ve Ege bölgelerinde artan orman yangını riski dikkate alındığında, yangın sonrası erozyon kontrolü uygulamaları su kaynaklarının korunması açısından giderek daha önemli hâle gelmektedir (Shakesby, 2011; Moody vd. 2013; Çepel, 1995; Özhan, 2004).

Havza içerisinde üretilen sedimentin akarsulara ulaşması, sucul ekosistemlerin fiziksel ve biyolojik özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir.

Doğal akarsu sistemlerinde belirli miktarda sediment bulunması ekolojik süreçlerin devamı için gerekli olsa da, insan kaynaklı aşırı sediment yükleri habitat yapısını bozabilmektedir (Şekil 4). İnce sedimentlerin akarsu tabanında birikmesi, çakıl yataklarını kapatarak balıkların yumurtlama alanlarını olumsuz etkileyebilmekte; bentik omurgasızların yaşam ortamlarını değiştirebilmekte ve besin zincirinde bozulmalara yol açabilmektedir. Özellikle alabalık gibi soğuk ve temiz suya bağımlı türlerde sediment baskısı, üreme başarısını ve populasyon devamlılığını azaltabilmektedir (Wood ve Armitage, 1997; Kemp vd., 2011).



Şekil 4. Bozulan habitat yapısı (Habercom, 2013)

Türkiye’de iç su kaynaklarının önemli bir bölümü ormanlık havzalarla doğrudan ilişkilidir. Dağlık alanlardan doğan birçok akarsu hem doğal balık türleri hem de yetiştiricilik faaliyetleri açısından önemli su kaynakları oluşturmaktadır. Bu nedenle orman alanlarında gerçekleştirilen erozyon kontrol uygulamalarının etkileri yalnızca karasal ekosistemlerle sınırlı kalmamakta; su ürünleri üretimi, su kalitesi ve biyolojik çeşitlilik üzerinde de belirleyici olmaktadır. Havza yönetimi yaklaşımı içerisinde ormanların korunması, sediment girişinin azaltılması ve sucul habitatların sürekliliğinin sağlanması birbirini tamamlayan hedefler olarak değerlendirilmelidir (Çepel, 1995; Özhan, 2004; Allan, 2004; Dudgeon vd., 2006; Palmer vd., 2010).

Orman alanlarında erozyon süreçleri, havzanın tamamını etkileyen karmaşık bir ekolojik süreçtir. Orman örtüsünün korunması ve uygun erozyon kontrol tekniklerinin uygulanması, toprak kayıplarını azaltmanın yanı sıra su kaynaklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle orman yönetimi ile su ürünleri yönetiminin birlikte ele

alındığı bütüncül yaklaşımlar, sürdürülebilir doğal kaynak yönetiminin temel unsurlarından biri olarak görülmelidir. orman alanlarında erozyon süreçleri yalnızca toprak kaybı problemi olarak değerlendirilmemelidir. Erozyon, havza içerisindeki enerji ve madde akışlarını değiştiren, su kalitesini etkileyen ve sucul ekosistemlerin yapısını belirleyen karmaşık bir ekolojik süreçtir. Orman örtüsünün korunması ve uygun erozyon kontrol tekniklerinin uygulanması, sediment üretimini azaltarak su kaynaklarının korunmasına ve dolayısıyla su ürünleri potansiyelinin sürdürülebilir şekilde devam ettirilmesine katkı sağlamaktadır.

3. Erozyon Kontrol Uygulamalarının Su Kalitesi ve Su Ürünleri Üzerindeki Etkileri

Orman alanlarında gerçekleştirilen erozyon kontrol uygulamaları, temel olarak toprak kayıplarını azaltmak ve havza içerisindeki sediment hareketlerini düzenlemek amacıyla uygulanmaktadır (Şekil 5). Bununla birlikte, bu uygulamaların etkileri yalnızca karasal sistemlerle sınırlı kalmamakta; akarsu, göl, baraj ve diğer iç su ekosistemlerinin fiziksel ve biyolojik özelliklerini de doğrudan etkilemektedir. Havzalardan sucul sistemlere ulaşan sediment miktarının azaltılması, su kalitesinin korunması, habitat yapısının devam ettirilmesi ve su ürünleri kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından önemli bir ekolojik hizmet sağlamaktadır. Bu nedenle günümüzde erozyon kontrol çalışmaları, yalnızca toprak koruma faaliyetleri olarak değil, aynı zamanda su kaynaklarının ve sucul biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik bütüncül havza yönetimi uygulamaları olarak değerlendirilmektedir (Allan, 2004; Palmer vd., 2010).



Şekil 5. Erozyon kontrol (Vistacreate, 2026)

Erozyon kontrolünde kullanılan yöntemler genel olarak biyolojik, teknik ve kombine uygulamalar şeklinde sınıflandırılabilir. Ağaçlandırma, doğal orman gençleştirme, mera rehabilitasyonu ve dere kenarı bitki kuşaklarının korunması biyolojik yöntemler arasında yer alırken; teraslama, sediment tutucu yapılar, küçük eşikler ve sel kapanları teknik uygulamalar içerisinde değerlendirilmektedir. Bu uygulamaların ortak amacı yüzey akış hızını azaltmak, toprağın taşınabilirliğini düşürmek ve sedimentin akarsu sistemlerine ulaşmasını sınırlandırmaktır. Özellikle bitki örtüsünün geliştirilmesine yönelik uygulamalar, kök sistemleri aracılığıyla toprağın stabilitesini artırmakta ve uzun vadede daha kalıcı bir erozyon kontrolü sağlamaktadır (Gyssels vd., 2005).

Türkiye’de erozyon kontrol çalışmalarında özellikle ağaçlandırma ve havza rehabilitasyonu uygulamaları önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye’nin yüksek eğimli arazileri ve iklimsel özellikleri nedeniyle yüzey akışı kaynaklı toprak kayıpları birçok bölgede önemli bir çevresel sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle özellikle dağlık havzalarda yapılan ağaçlandırma, teraslama ve dere ıslahı çalışmaları ile sediment taşınımının azaltılması hedeflenmektedir. Yapılan çalışmalar, bitki örtüsündeki artışın yüzey akış katsayısını azalttığını, toprak infiltrasyon kapasitesini artırdığını ve havzalardan taşınan sediment miktarını düşürdüğünü göstermektedir (Özhan, 2004; İrvem vd., 2007).

Erozyon kontrol uygulamalarının su kalitesi üzerindeki en belirgin etkilerinden biri, askıda katı madde (AKM) miktarındaki azalmadır. Akarsularda yüksek miktarda askıda sediment bulunması, suyun bulanıklığını artırarak ışık geçirgenliğini azaltmakta, sucul bitkilerin fotosentez kapasitesini düşürmekte ve oksijen dinamiklerini değiştirebilmektedir (Şekil 6). Ayrıca sediment partikülleri, azot ve fosfor gibi besin elementlerini taşıyarak göl ve rezervuarlarda ötrofikasyon süreçlerini hızlandırabilmektedir. Bu nedenle erozyon kontrolü yoluyla sediment girişinin azaltılması, yalnızca fiziksel bir iyileşme değil, aynı zamanda suyun kimyasal özelliklerinin korunmasına yönelik önemli bir müdahale olarak görülmektedir (Owens vd., 2005; Bilotta ve Brazier, 2008).



Şekil 6. Su kalitesi üzerindeki etkisi (Vistacreate, 2026)

Sediment yükündeki değişimler, su ürünleri açısından özellikle balık habitatları üzerinde önemli sonuçlar doğurmaktadır. Birçok akarsu balığı türü, yaşam döngülerinin belirli dönemlerinde uygun taban yapısına ve yüksek su kalitesine ihtiyaç duymaktadır. Özellikle çakıllı alanlarda yumurta bırakan türlerde ince sedimentlerin taban materyali arasındaki boşlukları doldurması, su dolaşımını azaltarak yumurtaların oksijen ihtiyacını karşılamasını zorlaştırmaktadır. Bu durum yavru çıkış oranlarının azalmasına ve balık popülasyonlarının uzun vadede zarar görmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle yukarı havzalarda gerçekleştirilen erozyon kontrol çalışmaları, aşağı havzalardaki balık stoklarının korunmasına yönelik dolaylı ancak önemli bir yönetim aracıdır (Wood ve Armitage, 1997; Kemp vd., 2011).

Orman-havza yönetiminin su ürünleri üzerindeki etkileri yalnızca sediment miktarı ile sınırlı değildir. Orman örtüsünün korunması, akarsu kenarındaki sıcaklık rejiminin düzenlenmesine, su sıcaklığının aşırı yükselmesinin önlenmesine ve çözünmüş oksijen seviyelerinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle soğuk su balıkları için kritik olan gölgeleme etkisi, dere kenarı ormanları ve riparyan bitki kuşakları tarafından sağlanmaktadır. Bu alanların korunması, sucul canlıların yaşam alanlarının devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır (Allan ve Castillo, 2007).

Türkiye’de iç su balıkçılığı açısından değerlendirildiğinde, birçok doğal alabalık habitatı ve yetiştiricilik alanı ormanlık havzalardan beslenen akarsular üzerinde bulunmaktadır. Bu nedenle orman alanlarında meydana gelen erozyon, yalnızca doğal ekosistemleri değil, ekonomik değeri bulunan su ürünleri faaliyetlerini de etkileyebilmektedir. Özellikle Doğu Karadeniz, Batı Karadeniz ve Doğu Anadolu’nun bazı bölgelerinde dere sistemlerinin sediment yükü, su kalitesi ve balık yaşam alanları üzerinde belirleyici olabilmektedir. Havza rehabilitasyonu ve erozyon kontrol uygulamalarının artırılması, bu bölgelerde hem doğal balık stoklarının korunmasına hem de sürdürülebilir yetiştiricilik faaliyetlerine katkı sağlayabilir (OGM, 2021).

Erozyon kontrol uygulamalarının uzun vadeli başarısı, yalnızca sediment miktarındaki azalma ile değil, havzanın ekolojik bütünlüğünün korunması ile değerlendirilmelidir. Bu kapsamda orman yönetimi, su kaynakları yönetimi ve su ürünleri yönetimi arasında güçlü bir koordinasyon kurulması gerekmektedir. Günümüzde ekosistem temelli yönetim yaklaşımları, havzaları birbirinden bağımsız bileşenler olarak değil; orman, toprak, su ve biyolojik çeşitliliğin karşılıklı etkileşim içerisinde bulunduğu sistemler olarak ele almaktadır. Bu yaklaşım, erozyon kontrol çalışmalarının çevresel ve ekonomik faydalarının daha kapsamlı değerlendirilmesini sağlamaktadır (MEA, 2005).

Orman alanlarında uygulanan erozyon kontrol çalışmaları, su ürünleri kaynaklarının korunmasında önemli bir dolaylı yönetim aracıdır. Sediment taşınımının azaltılması, su kalitesinin iyileştirilmesi, balık habitatlarının korunması ve biyolojik çeşitliliğin devam ettirilmesi açısından bu uygulamalar büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle gelecekteki havza yönetimi stratejilerinde erozyon kontrolü, yalnızca toprak koruma politikalarının değil, aynı zamanda sürdürülebilir su ürünleri yönetiminin de temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmelidir.

4. Sediment Dinamikleri ve Su Ürünleri Ekosistemleri Arasındaki İlişkiler

Havzalarda meydana gelen erozyon süreçlerinin su ürünleri üzerindeki en önemli etkilerinden biri, sediment taşınımı yoluyla sucul habitatların fiziksel ve biyolojik özelliklerinin değişmesidir. Sediment, doğal akarsu sistemlerinin ayrılmaz bir bileşeni olmakla birlikte, miktarı ve tane büyüklüğü doğal sınırların üzerine çıktığında ekolojik dengenin bozulmasına neden olabilmektedir. Özellikle orman alanlarında meydana gelen arazi bozulmaları sonucunda artan ince sediment taşınımı, akarsu yataklarında birikerek habitat yapısını değiştirmekte, su kalitesini düşürmekte ve sucul organizmaların yaşam koşullarını olumsuz etkileyebilmektedir (Şekil 7). Bu nedenle sediment yönetimi,

günümüzde yalnızca jeomorfolojik bir konu olarak değil, aynı zamanda su ürünleri kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından önemli bir ekolojik yönetim konusu olarak değerlendirilmektedir (Wood ve Armitage, 1997; Owens vd., 2005).



Şekil 7. Arazi bozulmaları sonucunda artan ince sediment taşınımı
(Temizmekan, 2022)

Akarsu sistemlerinde sediment dinamikleri, fiziksel habitat özelliklerinin belirlenmesinde temel faktörlerden biridir. Taban materyalinin büyüklüğü, gözenekliliği, organik madde içeriği ve hareketliliği; balıklar, bentik omurgasızlar ve diğer sucul canlıların yaşam alanlarını doğrudan etkilemektedir. Özellikle salmonid grubu balıklarda yumurtlama alanlarının başarısı, çakıl tabanlı habitatların korunmasına bağlıdır. İnce sedimentlerin bu alanlarda birikmesi, çakıllar arasındaki boşlukları doldurarak su dolaşımını azaltmakta ve yumurtaların ihtiyaç duyduğu oksijen transferini sınırlandırmaktadır. Bunun sonucunda yumurta gelişiminde başarısızlık, yavru çıkış oranlarında azalma ve popülasyon yenilenmesinde sorunlar ortaya çıkabilmektedir (Kemp vd., 2011).

Sedimentin su ürünleri üzerindeki etkileri yalnızca fiziksel habitat kaybı ile sınırlı değildir. Yüksek sediment konsantrasyonları, suyun bulanıklığını artırarak görsel beslenen balık türlerinin avlanma etkinliğini azaltabilmektedir. Ayrıca solungaç yüzeylerinde fiziksel tahrişe neden olarak balıkların fizyolojik stres düzeylerini artırabilmektedir. Uzun süreli sediment baskısı, balıkların enerji kullanımını değiştirmekte; büyüme, üreme ve hayatta kalma oranları üzerinde olumsuz sonuçlar oluşturabilmektedir. Bu etkiler özellikle hassas türlerde ve yaşam alanı sınırlı olan küçük akarsu sistemlerinde daha belirgin şekilde görülmektedir (Bilotta ve Brazier, 2008).

Orman alanlarından kaynaklanan sediment taşınımının su ürünleri üzerindeki etkileri, havzanın kullanım şekline bağlı olarak değişmektedir. Doğal veya iyi yönetilen orman havzalarında sediment üretimi genellikle düşük seviyelerde kalırken; orman yolları, kesim faaliyetleri, yangınlar ve bitki örtüsü kayıpları sediment girişini önemli ölçüde artırabilmektedir. Özellikle orman yolları, yüzey akışının yoğunlaştığı yapay kanallar oluşturarak kısa sürede yüksek miktarda sedimentin akarsu sistemlerine ulaşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir ormancılık uygulamalarında yol planlaması, dere geçişleri ve eğimli alanlardaki çalışmalar sediment yönetiminin temel unsurları arasında kabul edilmektedir (Croke vd., 2001).

Türkiye’de ormanlık havzalar, birçok iç su ekosisteminin başlangıç noktalarını oluşturmaktadır. Özellikle Karadeniz, Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde bulunan dağlık havzalar; doğal alabalık türleri, endemik balıklar ve ekonomik değeri yüksek su ürünleri açısından önem taşımaktadır. Bu bölgelerde meydana gelen erozyon ve sediment taşınımı, yalnızca su kalitesini değil, aynı zamanda balıkların yaşam alanlarını ve yetiştiricilik faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini etkileyebilmektedir. Türkiye’de yapılan havza çalışmaları, sediment kontrolünün su kaynaklarının korunmasında önemli bir unsur olduğunu ve arazi kullanım değişikliklerinin akarsu ekosistemleri üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır (İrvem vd., 2007).

Sediment yükündeki artış, göl ve rezervuar ekosistemlerinde de önemli sonuçlar meydana getirmektedir. Akarsular yoluyla taşınan sedimentler baraj ve göllerde birikerek su depolama kapasitesinin azalmasına, su kalitesinin değişmesine ve habitat yapısının bozulmasına neden olabilmektedir. Özellikle ince sedimentlerle birlikte taşınan azot ve fosfor bileşikler, alg gelişimini hızlandırarak ötrofikasyon riskini artırabilmektedir. Bu durum, oksijen seviyelerinde düşümlere neden olarak balık topluluklarının yapısını değiştirebilmektedir. Türkiye’de birçok baraj gölü ve sulak alanın uzun dönemli sürdürülebilirliği açısından sediment kontrolü önemli bir yönetim konusu hâline gelmiştir (Varol, 2020; DSİ 2023).

Bununla birlikte, sedimentin ekolojik rolü tamamen olumsuz değildir. Doğal sediment taşınımı, akarsu morfolojisinin korunması, habitat yenilenmesi ve besin maddelerinin taşınması açısından gerekli bir süreçtir. Sorun, sediment miktarının doğal taşıma kapasitesini aşması durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle amaç, sediment hareketlerini tamamen ortadan kaldırmak değil; doğal süreçleri koruyarak insan kaynaklı aşırı sediment girişlerini azaltmaktır. Bu yaklaşım, modern ekosistem yönetiminin temel prensiplerinden biri olan “doğal süreçlerle uyumlu koruma” anlayışıyla örtüşmektedir (Palmer vd., 2010).

Erozyon kontrol uygulamalarının su ürünleri açısından başarısı, havzanın tamamını kapsayan bütünleşik yönetim yaklaşımlarına bağlıdır. Yukarı havzalarda orman örtüsünün korunması, dere kenarı tampon bölgelerin oluşturulması, sediment tutucu yapıların kullanılması ve sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamaları; aşağı havzalardaki sucul habitatların korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle su ürünleri yönetimi yalnızca su içerisinde gerçekleştirilen faaliyetlerle sınırlı tutulmamalı, balıkların yaşam alanlarını belirleyen tüm havza süreçleri dikkate alınmalıdır (Allan ve Castillo, 2007).

Sediment dinamikleri ile su ürünleri ekosistemleri arasında güçlü ve çok yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Orman alanlarında gerçekleştirilen etkili erozyon kontrol çalışmaları, sediment girişini azaltarak su kalitesinin korunmasına, balık habitatlarının devamlılığına ve sucul biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle orman yönetimi, havza koruma ve su ürünleri politikalarının birbirinden bağımsız değil, ortak ekolojik hedefler doğrultusunda yürütülmesi gerekmektedir.

5. Türkiye’de Orman Alanlarında Erozyon Kontrol Uygulamaları ve Su Ürünleri Açısından Değerlendirme

Türkiye, topoğrafik yapısı, iklim özellikleri ve arazi kullanım geçmişi nedeniyle erozyon süreçlerinin yoğun olarak görüldüğü ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkenin önemli bir bölümünde eğimli arazilerin yaygın olması, yağışların mevsimsel ve düzensiz karakter göstermesi, bitki örtüsündeki değişimler ve insan kaynaklı arazi kullanım baskıları toprak kayıplarını artırmaktadır. Özellikle orman örtüsünün tahrip edildiği veya zayıfladığı alanlarda yüzey akışı hızlanmakta, sediment üretimi artmakta ve bu sedimentler akarsu sistemleri aracılığıyla aşağı havzalara taşınmaktadır. Bu süreç, yalnızca tarımsal üretim alanlarında toprak verimliliğinin azalmasına değil; aynı zamanda su kaynaklarının fiziksel ve biyolojik özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır (Çepel, 1995; Özhan, 2004).

Türkiye’de erozyonla mücadele çalışmaları uzun yıllardır ormancılık politikalarının temel uygulama alanlarından biri olmuştur. Özellikle Cumhuriyet döneminden itibaren ağaçlandırma, mera ıslahı, orman rehabilitasyonu ve havza amenajmanı çalışmaları yoluyla toprak kayıplarının azaltılması hedeflenmiştir. Günümüzde bu çalışmalar, yalnızca erozyonun kontrol edilmesi amacıyla değil; su kaynaklarının korunması, taşkın riskinin azaltılması ve ekosistem hizmetlerinin devamlılığının sağlanması amacıyla yürütülmektedir. Havza bazlı yaklaşım kapsamında üst havzalarda gerçekleştirilen bitkilendirme ve toprak muhafaza uygulamaları, aşağı havzalarda bulunan akarsu ve göl ekosistemlerinin

korunmasına katkı sağlayan önemli uygulamalar arasında değerlendirilmektedir (OGM, 2020).

Türkiye’de uygulanan erozyon kontrol yöntemleri genel olarak biyolojik ve mekanik uygulamaların birlikte kullanıldığı bütüncül yaklaşımlara dayanmaktadır. Ağaçlandırma, bozuk orman alanlarının rehabilitasyonu, doğal gençleştirme, mera iyileştirme ve dere kenarı bitki örtüsünün korunması biyolojik yöntemler arasında yer almaktadır. Teraslama, oyuntu kontrol yapıları, sel kapanları ve sediment tutucu yapılar ise mekanik yöntemler olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamaların temel amacı yüzey akışını azaltmak, toprağın taşınmasını önlemek ve sedimentin akarsu sistemlerine ulaşmasını sınırlandırmaktır. Özellikle eğimli havzalarda bu uygulamalar, sediment yükünün azaltılması açısından önemli sonuçlar vermektedir (Özhan, 2004).

Türkiye’de havza rehabilitasyon çalışmalarının önemli örneklerinden biri, özellikle Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde yürütülen küçük havza iyileştirme projeleridir. Bu projelerde orman alanlarının iyileştirilmesi, erozyon kontrol yapılarının kurulması ve su toplama havzalarının korunması hedeflenmektedir. Bu tür çalışmaların uzun vadeli etkileri değerlendirildiğinde, sediment taşınımının azalması, yüzey akış rejiminin düzenlenmesi ve su kaynaklarının korunması gibi olumlu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, erozyon kontrol çalışmalarının başarısı yalnızca uygulama alanındaki toprak kaybının azalmasıyla değil, aşağı havzalardaki sucul sistemlere sağladığı ekolojik katkılarla da değerlendirilmelidir (FAO, 2017; OGM, 2019).

Türkiye’de orman ve su kaynakları arasındaki ilişki özellikle dağlık havzalarda daha belirgindir. Karadeniz, Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde bulunan birçok akarsu sistemi, ormanlık alanlardan beslenmektedir. Bu havzalar aynı zamanda doğal alabalık türleri, endemik balık türleri ve ekonomik değeri bulunan su ürünleri açısından önem taşımaktadır. Orman alanlarında meydana gelen erozyon ve sediment artışı, bu akarsularda su kalitesinin bozulmasına ve balık habitatlarının zarar görmesine neden olabilmektedir. Özellikle ince sedimentlerin akarsu tabanında birikmesi, yumurtlama alanlarını sınırlandırarak doğal balık popülasyonlarının devamlılığı üzerinde baskı oluşturabilmektedir (Kemp et al., 2011; Atıcı et al., 2023).

Türkiye’de iç su balıkçılığı açısından en önemli türlerden biri olan alabalıklar, temiz, soğuk ve oksijen bakımından zengin sulara ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle alabalık habitatlarının bulunduğu küçük dağ derelerinde sediment yükündeki artışlar önemli ekolojik sonuçlar doğurabilmektedir. Dere tabanındaki sediment birikimi, makroomurgasız topluluklarının yapısını değiştirebilmekte ve bu durum balıkların besin kaynaklarını dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Ormanlık havzaların korunması ve erozyon kontrolünün sağlanması, bu tür

hassas sucul habitatların sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır (Allan ve Castillo, 2007; Ergün vd., 2022).

Türkiye’de baraj gölleri ve rezervuarlar açısından da sediment yönetimi önemli bir konudur. Akarsular tarafından taşınan sedimentlerin baraj göllerinde birikmesi, zaman içerisinde depolama kapasitesinin azalmasına ve su kalitesinin değişmesine neden olabilmektedir. Sedimentlerle birlikte taşınan besin elementleri, özellikle fosfor ve azot bileşikleri, sucul sistemlerde ötrofikasyon riskini artırabilmektedir. Bu durum balık topluluklarının yapısını değiştirebilmekte ve su ürünleri üretimini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle üst havzalarda gerçekleştirilen erozyon kontrol çalışmaları, baraj ve göl ekosistemlerinin uzun vadeli korunması açısından ekonomik ve ekolojik fayda sağlamaktadır (Morris ve Fan, 1998; İrvem vd., 2007).

Türkiye’de ormancılık ve su ürünleri yönetimi arasındaki ilişki henüz yeterince bütünleşmiş bir disiplin olarak ele alınmamaktadır. Çoğu zaman erozyon kontrol çalışmaları toprak koruma ve ormancılık açısından değerlendirilirken, bu uygulamaların sucul ekosistemlere ve balıkçılık kaynaklarına etkileri ikinci planda kalmaktadır. Oysa havza sistemlerinde yukarı kesimlerde gerçekleştirilen her türlü arazi yönetimi uygulaması, aşağı kesimlerdeki su kaynaklarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle gelecekteki havza yönetimi politikalarında ormancılık, su kaynakları yönetimi ve su ürünleri bilimlerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye’de orman alanlarında gerçekleştirilen erozyon kontrol çalışmaları, yalnızca toprak kaybının azaltılması açısından değil; su kaynaklarının korunması, sediment girişinin sınırlandırılması ve su ürünleri ekosistemlerinin sürdürülebilirliği açısından da büyük önem taşımaktadır. Orman-havza-su ilişkisini bütüncül biçimde ele alan yaklaşımlar, Türkiye’nin doğal kaynaklarının korunması ve gelecek nesillere aktarılması açısından temel stratejilerden biri olmalıdır.

6. Sonuç ve Öneriler

Orman alanlarında meydana gelen erozyon süreçleri, yalnızca toprak kaynaklarının kaybına neden olan karasal bir problem olarak değerlendirilmemelidir. Erozyon sonucunda havzalardan taşınan sedimentler, akarsu, göl ve baraj ekosistemlerine ulaşarak su kalitesi, habitat yapısı ve sucul canlı toplulukları üzerinde önemli değişikliklere neden olabilmektedir. Bu nedenle orman alanlarının korunması ve erozyon kontrol uygulamalarının etkin biçimde gerçekleştirilmesi, aynı zamanda su ürünleri kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından da büyük önem taşımaktadır.

Orman ekosistemleri, yağışın yüzey akışına dönüşmesini azaltarak, toprağın su tutma kapasitesini artırarak ve kök sistemleri aracılığıyla toprak stabilitesini

sağlayarak doğal bir erozyon kontrol mekanizması oluşturmaktadır. Orman örtüsünün bozulması ise sediment üretimini artırmakta, akarsu sistemlerine taşınan katı madde miktarını yükseltmekte ve sucul habitatların fiziksel özelliklerini değiştirmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir ormancılık uygulamaları, yalnızca orman varlığının korunması açısından değil, su kaynaklarının ve su ürünleri ekosistemlerinin devamlılığı açısından da değerlendirilmelidir.

Çalışma kapsamında incelenen literatür, sediment miktarındaki artışın özellikle hassas sucul türler üzerinde önemli baskılar oluşturduğunu göstermektedir. İnce sedimentlerin akarsu tabanlarında birikmesi, balıkların yumurtlama alanlarını sınırlandırmakta, bentik organizmaların yaşam ortamlarını değiştirmekte ve sucul besin zincirinde bozulmalara neden olabilmektedir. Özellikle alabalık gibi temiz ve soğuk suya bağımlı türlerde, sediment baskısı popülasyonların devamlılığı açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, ormanlık havzalar ile su ürünleri kaynakları arasında güçlü bir ekolojik bağlantı bulunmaktadır. Ülkenin dağlık bölgelerinde yer alan birçok akarsu sistemi hem doğal balık türleri hem de ekonomik değeri yüksek yetiştiricilik faaliyetleri açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle üst havzalarda gerçekleştirilecek erozyon kontrol çalışmalarının etkileri yalnızca ormancılık açısından değil, aşağı havzalardaki su ürünleri üretimi ve biyolojik çeşitlilik açısından da değerlendirilmelidir.

Türkiye’de yürütülen ağaçlandırma, havza rehabilitasyonu, teraslama ve sediment kontrol çalışmaları önemli kazanımlar sağlamaktadır. Ancak bu çalışmaların planlanmasında sucul ekosistemlerin ihtiyaçlarının daha fazla dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle dere kenarı koruma alanlarının oluşturulması, orman yollarının sediment üretimi açısından daha dikkatli planlanması ve hassas balık habitatlarının bulunduğu havzalarda özel koruma yaklaşımlarının geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Gelecekte uygulanacak havza yönetimi politikalarında ormancılık, hidroloji, su ürünleri ve ekoloji disiplinlerinin birlikte çalıştığı bütünleşik yaklaşımlar benimsenmelidir. Havzanın yalnızca üst kesimlerindeki orman alanlarına değil, bu alanlardan etkilenen tüm sucul sistemlere bir bütün olarak bakılması gerekmektedir. Böylece erozyon kontrol uygulamalarının ekolojik ve ekonomik faydaları daha etkin şekilde ortaya konulabilir.

Bu kapsamda aşağıdaki öneriler geliştirilebilir:

- Orman alanlarında gerçekleştirilen erozyon kontrol projelerinde su ürünleri açısından hassas alanlar belirlenmeli ve havza planlamasına dâhil edilmelidir.

- Dere kenarı ormanları ve riparyan bitki kuşaklarının korunması, sediment girişinin azaltılması açısından öncelikli uygulamalar arasında değerlendirilmelidir.
- Orman yolları ve ormancılık faaliyetlerinin sediment üretimine etkileri düzenli olarak izlenmelidir.
- Baraj ve göl havzalarında sediment birikimi uzun dönemli izleme programlarıyla takip edilmelidir.
- Su ürünleri açısından ekonomik ve ekolojik değeri yüksek türlerin bulunduğu havzalarda özel erozyon kontrol stratejileri geliştirilmelidir.
- Türkiye’de orman-havza-su ürünleri ilişkisini inceleyen disiplinler arası araştırmalar artırılmalıdır.

Sonuç olarak, orman alanlarında gerçekleştirilen erozyon kontrol uygulamaları, yalnızca toprağın korunmasını sağlayan teknik faaliyetler değil; su kaynaklarının kalitesini, sucul habitatların sürekliliğini ve su ürünleri kaynaklarının sürdürülebilirliğini destekleyen ekosistem temelli yönetim araçlarıdır. Gelecekte iklim değişikliği, artan arazi kullanım baskıları ve su kaynakları üzerindeki talepler dikkate alındığında, ormanların korunması ile su ürünleri kaynaklarının yönetimi arasındaki ilişkinin daha güçlü biçimde ele alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Allan, J. D. (2004). *Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 257–284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
- Andréassian, V. (2004). Waters and forests: From historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*, 291(1–2), 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.015>
- Atıcı, A. A., Elp, M. ve Şen, F. (2023). Effects of total suspended solids at different levels on the eggs and larvae of endemic fish, Tarek (*Alburnus tarichi* Güldenstädt, 1814) in the Karasu River (Van, Turkey). *Aquatic Sciences and Engineering*, 38(3), 145–150. <https://doi.org/10.26650/ASE20231264370>
- Bilotta, G. S. ve Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42(12), 2849–2861. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018>
- Bonell, M. (2005). Runoff generation in tropical forests. In M. Bonell & L. A. Bruijnzeel (Eds.), *Forests, Water and People in the Humid Tropics* (pp. 314–406). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535666.017>
- Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 185–228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>
- Calder, I. R. (2007). Forests and water—Ensuring forest benefits outweigh water costs. *Forest Ecology and Management*, 251(1–2), 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.015>
- Croke, J., Hairsine, P. ve Fogarty, P. (2001). *Soil recovery from track construction and harvesting changes in surface infiltration, erosion and delivery rates with time. Forest Ecology and Management*, 143(1–3), 3–12. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00500-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00500-4)
- Çepel, N. (1995). *Orman ekolojisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 3886; İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 433.
- Ders Coğrafya, (2026). *Erozyon nedir? Erozyonun Çeşitleri Nelerdir?.* <https://www.derscoğrafya.com/erozyon-nedir-erozyonun-cesitleri/>. (Erişim Tarihi: 07.07.2026).
- DSİ. (2023). *2022 Yılı Faaliyet Raporu*. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A. H., Soto, D., Stiassny, M.

- L. J., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- Ergün, M., Bulut, C. ve Koçer, G. (2022). Gökşu Çayı (Isparta) üzerindeki gökkuşağı alabalık tesisleri su kalitesi etkilerinin çok değişkenli istatistiki analizi ve tahmini azot-fosfor yükleri. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 8(2), 176–191. <https://doi.org/10.17216/limnofish.749798>
- FAO. (2017). *The State of the World's Forests 2017: Forests and Agriculture: Land-Use Challenges and Opportunities*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020: Main Report*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- García-Ruiz, J. M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.001>
- García-Ruiz, J. M., Beguería, S., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J. C., Lana-Renault, N., & Sanjuán, Y. (2015). A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*, 239, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.008>
- Gol, C. ve Dengiz, O. (2008). *Effect of modifying land cover and long-term agricultural practices on the soil characteristics in native forest-land*. *Journal of Environmental Biology*, 29(5), 677–682.
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., & Li, Y. (2005). Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review. *Progress in Physical Geography*, 29(2), 189–217. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp443ra>
- Habercom, (2013). *Erozyon Geleceğimizi Yok Ediyor*. <https://www.haberler.com/guncel/erozyon-gelecegimizi-yok-ediyor-5301006-haberi/>. (Erişim Tarihi: 08.07.2026).
- İrvem, A., Topaloğlu, F. ve Uygur, V. (2007). *Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey*. *Journal of Hydrology*, 336(1–2), 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.12.009>
- Kemp, P., Sear, D., Collins, A., Naden, P., & Jones, I. (2011). The impacts of fine sediment on riverine fish. *Hydrological Processes*, 25(11), 1800–1821. <https://doi.org/10.1002/hyp.7940>
- MEA. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Washington, DC: Island Press.
- Moody, J. A., Shakesby, R. A., Robichaud, P. R., Cannon, S. H., & Martin, D. A. (2013). Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion

- processes. *Earth-Science Reviews*, 122, 10–37.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.03.004>
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil Erosion and Conservation* (3rd ed.). Oxford, UK: Blackwell Publishing. ISBN: 978-1-4051-1781-4 (pbk.) / ISBN: 1-4051-1781-8 (pbk.).
- Njtrees, 2020. Trees, Sediment, and Erosion. <https://njtrees.org/trees-sediment-and-erosion/> (Erişim Tarihi: 10.07.2026).
- OGM, (2020). *Orman Genel Müdürlüğü 2019 Yılı Faaliyet Raporu*. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı.
- OGM, (2021). *Ulusal Havza Rehabilitasyonu (Restorasyonu) Stratejisi*. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü.
- Owens, P. N., Batalla, R. J., Collins, A. J., Gomez, B., Hicks, D. M., Horowitz, A. J., Kondolf, G. M., Marden, M., Page, M. J., Peacock, D. H., Petticrew, E. L., Salomons, W., & Trustrum, N. A. (2005). Fine-grained sediment in river systems: Environmental significance and management issues. *River Research and Applications*, 21(7), 693–717.
<https://doi.org/10.1002/rra.878>
- Özhan, S. (2004). *Havza amenajmanı*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 4510; Orman Fakültesi Yayın No: 481, İstanbul, 384s.
- Palmer, M. A., Menninger, H. L., & Bernhardt, E. (2010). River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: A failure of theory or practice? *Freshwater Biology*, 55(Suppl. 1), 205–222.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02372.x>
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., & Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117–1123.
<https://doi.org/10.1126/science.267.5201.1117>
- Shakesby, R. A. (2011). Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews*, 105(3–4), 71–100.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.001>
- Sidle, R. C., Ziegler, A. D., Negishi, J. N., Nik, A. R., Siew, R., & Turkelboom, F. (2006). Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management*, 224(1–2), 199–225.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.019>
- Temizmekan, (2022). Erozyon ve iklim değişikliği. <https://www.temizmekan.com/erozyon-ve-iklim-degisikligi/> (Erişim Tarihi: 11.06.2026).

- Vistacreate, 2026. *Güzel Su Manzarası topraktan akar erozyon geçirir ve toprak Pong Yub.* <https://create.vista.com/tr/unlimited/stock-photos/272242662/stock-photo-beautiful-scenery-of-water-flows-through-the-ground-have-erosion-and-collapse-of-the-soil/> . (Erişim Tarihi: 06.07.2026)
- Vistacreate, 2026. *Sel enkazı ve çamurlu su akıntısı, son zamanlardaki şiddetli yağış ve aşınmanın etkilerini gözler önüne seriyor.* <https://create.vista.com/tr/unlimited/stock-photos/762500460/stock-photo-flood-debris-muddy-water-flow-stream-showcasing-effects-recent-heavy/>. (Erişim Tarihi: 06.07.2026)
- Vistacreate, 2026. *Uyanık düşme noktası, Grand Canyon, Yellowstone Milli Parkı, Wyoming.* <https://create.vista.com/tr/unlimited/stock-photos/212133016/stock-photo-lower-falls-lookout-point-grand-canyon-yellowstone-national-park-wyoming/>. (Erişim Tarihi: 06.07.2026)
- Wood, P. J., & Armitage, P. D. (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental Management*, 21(2), 203–217. <https://doi.org/10.1007/s002679900019>

8. Bölüm

Dalış Öncesi Hazırlık Süreci ve Dalgıç Güvenliği

Cengizhan AYDOĞAN¹, Serap SALER²

ÖZET

Dalgıçlık, su altı ortamında gerçekleştirilen; teknik bilgi, disiplin, fiziksel yeterlilik, psikolojik dayanıklılık ve güvenlik bilinci gerektiren özel bir faaliyettir. Su altı ortamında solunumun ekipmana bağlı olması, basınç değişimleri, sınırlı görüş mesafesi, akıntı, dalga, soğuk su ve iletişim güçlüğü gibi faktörler dalış faaliyetlerini riskli hâle getirebilmektedir. Bu nedenle güvenli bir dalışın temeli yalnızca dalış sırasında gösterilen performansla değil, dalıştan önce yapılan hazırlıkların niteliğine bağlıdır. Dalış öncesi hazırlık; dalış planlaması, ekipman kontrolü, dalgıcının fiziksel ve psikolojik uygunluğunun değerlendirilmesi, çevresel koşulların incelenmesi, buddy sistemi, ekip içi iletişim, risk analizi ve acil durum hazırlıklarından oluşan bütüncül bir güvenlik sürecidir.

Bu çalışmanın amacı, dalış öncesi hazırlık sürecini sistematik biçimde incelemek ve bu sürecin dalgıç güvenliği üzerindeki etkisini ortaya koymaktır. Çalışmada özellikle sportif ve temel tüplü dalış faaliyetleri merkeze alınmış, ileri seviye teknik dalış ve özel uzmanlık gerektiren dalış türleri kapsam dışında bırakılmıştır. Literatür taraması yöntemiyle hazırlanan bu çalışmada; dalgıçlık bayramı, dalış ortamın özellikleri, hazırlığın kazaları önlemedeki rolü, kontrol listelerinin önemi, dalış planlaması, sağlık ve psikolojik hazırlık, ekipman kontrolü, çevresel değerlendirme, buddy sistemi ve acil durum planlaması ele alınmıştır. Sonuç olarak dalış öncesi hazırlığın, güvenli dalış kültürünün temel unsurlarından biri olduğu; planlı, kontrollü ve disiplinli hazırlıkları dalış sırasında ortaya çıkabilecek riskleri önemli ölçüde azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dalgıçlık, dalış öncesi hazırlık, dalış güvenliği, ekipman kontrolü, dalış planlaması, buddy sistemi, risk analizi.

¹ Yük Lis Öğ. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elazığ Türkiye, email: 242127101@firat.edu.tr
ORCID: 0009-0007-8265-7688

² Prof. Dr. Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Elazığ Türkiye, email: serapsaler@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5900-491X

Pre-dive preparation process and diver safety

ABSTRACT

Diving is a special activity performed in the underwater environment and requires technical knowledge, discipline, physical competence, psychological readiness and safety awareness. Since underwater breathing depends on equipment, and divers may face pressure changes, limited visibility, currents, waves, cold water and communication difficulties, diving activities involve certain risks. Therefore, the basis of a safe dive is not only the performance during the dive but also the quality of the preparation process before the dive. Pre-dive preparation is a comprehensive safety process consisting of dive planning, equipment checks, assessment of the diver's physical and psychological condition, evaluation of environmental conditions, buddy system, team communication, risk analysis and emergency preparedness.

The aim of this study is to examine the pre-dive preparation process systematically and to reveal its effect on diver safety. The study focuses mainly on recreational and basic scuba diving activities, while advanced technical diving and special diving types requiring additional expertise are excluded from the main scope. This seminar study was prepared through literature review and discusses the concept of diving, characteristics of the underwater environment, the role of preparation in preventing diving accidents, importance of checklists, dive planning, health and psychological readiness, equipment control, environmental assessment, buddy system and emergency planning. As a result, it is concluded that pre-dive preparation is one of the fundamental components of safe diving culture and that planned, controlled and disciplined preparation significantly reduces the risks that may occur during diving

Keywords: Diving, pre-dive preparation, diving safety, equipment check, dive planning, buddy system, risk analysis.

1. GİRİŞ

Dalgıçlık, insanın su altı dünyasını keşfetmesine, bilimsel araştırmalar yapmasına, mesleki faaliyetler yürütmesine ve sportif amaçlarla su altında zaman geçirmesine olanak sağlayan önemli bir etkinliktir. Ancak su altı ortamı, insanın doğal yaşam alanı olan kara ortamından birçok yönüyle farklıdır. Basınç değişimleri, görüş mesafesinin azalması, su sıcaklığı, akıntı, dalga, yön bulma güçlüğü ve solunumun tamamen ekipmana bağlı olması dalış faaliyetlerini dikkatli planlama gerektiren bir alan hâline getirmektedir. Bu nedenle dalgıçlık, yalnızca yüzmeye becerisi ya da cesaretle gerçekleştirilebilecek basit bir faaliyet değildir; eğitim, teknik bilgi, ekipman hâkimiyeti, planlama ve güvenlik kültürü gerektiren kapsamlı bir süreçtir.

Dalış güvenliği denildiğinde çoğu zaman akla ilk olarak su altında yapılması gereken uygulamalar gelmektedir. Oysa güvenli bir dalışın temeli, dalış başlamadan önce atılan adımlarla oluşturulur. Dalış öncesi hazırlık; dalıcının sağlık durumunu değerlendirmesini, dalış amacını belirlemesini, dalış bölgesi hakkında bilgi toplamasını, ekipmanlarını kontrol etmesini, buddy'siyle iletişim kurmasını ve acil durumlara karşı hazırlıklı olmasını kapsar. Bu aşamalardan herhangi birinin ihmal edilmesi, dalış sırasında beklenmedik sorunların ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle dalış öncesi hazırlık, güvenli dalışın başlangıç noktası olarak değerlendirilmelidir (URL1,2013; URL2, 2026).

Dalış faaliyetlerinde risklerin tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir. Ancak bu risklerin büyük bir bölümü doğru planlama, standart kontrol listeleri, ekipmanların işlevsel biçimde test edilmesi, çevresel koşulların önceden incelenmesi ve ekip içinde açık iletişim kurulmasıyla azaltılabilir. Özellikle hava yönetimi, maksimum derinlik, dönüş basıncı, giriş-çıkış noktası ve acil durum prosedürleri dalıştan önce belirlenmediğinde dalıcının su altında karar verme süreci zorlaşır. Belirsizlik, dalış ortamında panik, yön kaybı, kontrolsüz yükselme veya hava yetersizliği gibi ciddi güvenlik sorunlarına yol açabilir.

Bu çalışmada dalış öncesi hazırlık süreci, dalgıç güvenliği açısından bütüncül bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Çalışmanın temel varsayımı, güvenli dalışın yalnızca ekipman kalitesiyle değil, dalıcının hazırlık alışkanlıklarıyla da yakından ilişkili olduğudur. Dalgıç, ekibi, ekipmanı, dalış ortamı ve acil durum planı birlikte değerlendirildiğinde dalışın güvenli biçimde gerçekleştirilme olasılığı artar. Bu nedenle çalışmada dalış öncesi hazırlık hem teknik hem fiziksel hem psikolojik hem de organizasyonel boyutlarıyla incelenmiştir.

1.1. Konunun Önemi

Dalış öncesi hazırlık, dalgıçlık faaliyetlerinde güvenlik kültürünün en görünür uygulama alanıdır. Su altında yapılacak hataların sonuçları karadaki birçok faaliyete göre daha ciddi olabilir. Örneğin ekipman bağlantısındaki küçük bir ihmal, regülatör arızası, hava kaçağı veya BCD problemine dönüşebilir. Dalış planındaki belirsizlik, dalıcının fazla derine inmesine, planlanandan uzun süre kalmasına veya dönüş basıncını geç fark etmesine yol açabilir. Benzer şekilde çevresel koşulların dikkate alınmaması, akıntıya kapılma, görüş kaybı, çıkış noktasından uzaklaşma veya tekne trafiği nedeniyle yüzey güvenliği sorunları oluşturabilir.

Bu yönüyle dalış öncesi hazırlık yalnızca teknik bir zorunluluk değil, aynı zamanda sorumlu dalış davranışının bir göstergesidir. Hazırlık sürecini önemseyen dalıcılar, dalış sırasında daha kontrollü hareket eder, buddy'siyle daha sağlıklı iletişim kurar ve acil durumlarda daha doğru kararlar alabilir. Hazırlığı bir formalite olarak gören dalıcılar ise çoğu zaman aynı hataları tekrar edebilir. Bu nedenle güvenli dalış kültürü, her dalıştan önce aynı disiplinle planlama ve kontrol yapmayı gerektirir (URL 3, 2026; URL 4, 2026).

1.2. Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Yöntemi

Bu seminer çalışmasının amacı, dalgıçlıkta dalış öncesi hazırlık sürecini sistematik şekilde incelemek ve bu sürecin dalgıç güvenliği üzerindeki etkisini açıklamaktır. Çalışmada şu sorulara yanıt aranmıştır: Dalış öncesi hazırlık neden önemlidir? Güvenli bir dalış için dalıştan önce hangi planlamalar yapılmalıdır? Dalgıcın fiziksel ve psikolojik durumu dalış güvenliğini nasıl etkiler? Ekipmanlar dalıştan önce nasıl kontrol edilmelidir? Çevresel koşullar hangi açılardan değerlendirilmelidir? Buddy sistemi ve ekip içi iletişim güvenliğe nasıl katkı sağlar? Risk analizi ve acil durum hazırlığı nasıl yapılmalıdır?

Çalışmanın kapsamı, özellikle sportif ve temel tüplü dalış uygulamalarında dalışa başlamadan önce yapılması gereken hazırlık aşamalarıyla sınırlandırılmıştır. İleri seviye teknik dalış, mağara dalışı, batık içine giriş, karışım gaz dalışları ve profesyonel endüstriyel dalış uygulamaları çalışmanın ana kapsamı dışında tutulmuştur. Bununla birlikte çalışmada ele alınan ilkeler, genel dalış güvenliği yaklaşımı açısından farklı dalış türlerine de uyarlanabilecek niteliktedir. Çalışmada yöntem olarak literatür taraması kullanılmış; dalış güvenliği, dalış planlaması, ekipman kontrolü, buddy sistemi, acil durum planlaması ve risk yönetimiyle ilgili kaynaklardan yararlanılmıştır (URL1,2026; NODD, 2016; NOAA, 2020).

2. DALGIÇLIK VE DALIŞ GÜVENLİĞİNE GENEL BAKIŞ

2.1.Dalgıçlık Kavramı

Dalgıçlık, insanın su altı ortamında belirli bir amaç doğrultusunda bulunmasını sağlayan; teknik bilgi, fiziksel yeterlilik, zihinsel hazırlık ve özel ekipman kullanımı gerektiren bir faaliyettir. Dalgıç ise uygun eğitim almış, ekipmanlarını doğru kullanabilen, su altında güvenli hareket etmeyi bilen ve dalış kurallarına uygun davranan kişidir. Bu tanımdan hareketle dalgıçlık, yalnızca suya girip belirli bir derinliğe inmekten ibaret değildir. Dalış, hazırlık, uygulama ve değerlendirme aşamalarından oluşan planlı bir süreçtir.

Su altı ortamı insan bedeni için doğal olmayan koşullar içerir. Dalgıç su altında kendi başına nefes alamaz; solunabilir hava tüp, regülatör ve diğer ekipmanlar aracılığıyla sağlanır. Derinlik arttıkça basınç değişir ve bu durum kulak, sinüs, akciğer ve diğer vücut boşlukları üzerinde etki oluşturabilir. Ayrıca su altında sözlü iletişim sınırlıdır; dalıcılar çoğunlukla el işaretleri, ışık sinyalleri veya özel haberleşme sistemleriyle iletişim kurar. Bu nedenle dalgıcın bilgi düzeyi, sakinliği, ekipman hâkimiyeti ve dalış öncesi hazırlık alışkanlıkları güvenlik açısından belirleyicidir ((URL 5, 2024; URL 6, 2026).

2.2.Dalış Türleri ve Güvenlik Yaklaşımı

Dalış faaliyetleri amaç, derinlik, süre, kullanılan ekipman ve risk düzeyine göre farklı türlere ayrılabilir (Tablo1). Genel olarak sportif dalış, teknik dalış ve profesyonel dalış en yaygın sınıflandırmalardır. Sportif dalış, gezi, keşif, su altı fotoğrafçılığı ve rekreasyonel amaçlarla yapılan dalışları kapsar. Teknik dalış, daha fazla eğitim ve ekipman gerektiren derin dalış, mağara dalışı, batık içine giriş veya karışım gaz kullanımı gibi uygulamaları içerebilir. Profesyonel dalış ise arama-kurtarma, bakım-onarım, bilimsel araştırma veya mesleki görevler için yapılan dalışları ifade eder.

Bu dalış türlerinin amaçları ve uygulama biçimleri farklı olsa da ortak noktaları güvenliktir. Her dalış türünde dalış öncesi hazırlık, kaza riskini azaltan temel bir aşamadır. Sportif dalışta güvenli sınırlar içinde kalmak, dalış planına uymak ve buddy sistemiyle hareket etmek önemlidir. Teknik ve profesyonel dalışlarda ise risk düzeyi daha yüksek olduğu için planlama, yedek ekipman, görev dağılımı ve acil durum hazırlığı daha ayrıntılı yapılır. Bu çalışma, temel olarak sportif ve temel tüplü dalış uygulamalarındaki hazırlık sürecine odaklanmaktadır (URL1,2026; URL 2, 2026).

Tablo 1. Dalış türlerinin karşılaştırılması

Dalış Türü	Amaç	Kullanım Alanı	Risk Düzeyi
Sportif Dalış	Gezi, keşif, hobi	Rekreasyonel faaliyetler	Orta
Teknik Dalış	İleri seviye dalış	Derin, mağara, batık	Yüksek
Profesyonel Dalış	Görev/iş	Arama-kurtarma, bakım, bilimsel çalışma	Yüksek

2.3.Dalış Ortamının Temel Özellikleri

Dalış ortamı basınç, sıcaklık, görüş, akıntı, ışık, ses ve canlı yaşamı gibi birçok değişkenin bir arada bulunduğu özel bir ortamdır. Basınç, dalış güvenliği açısından en temel fiziksel faktörlerden biridir. Derinlik arttıkça dalıcının vücudu üzerindeki basınç artar ve bu durum eşitleme ihtiyacını doğurur. Eşitlemenin doğru yapılmaması kulak ağrısı, sinüs rahatsızlığı veya daha ciddi basınç problemlerine yol açabilir. Bu nedenle dalıcının dalış öncesinde kulak-burun-boğaz sağlığına değerlendirmesi önemlidir.

Su sıcaklığı da dalış konforu ve güvenliği üzerinde doğrudan etkilidir. Su, vücut ısınımlı havaya göre daha hızlı uzaklaştırır. Dalış yapılacak suyun sıcaklığına uygun elbise seçilmemesi, üşüme, dikkat azalması, kas sertliği ve hipotermi riskini artırabilir. Görüş mesafesi ise yön bulma, buddy takibi ve çevresel tehlikelerin fark edilmesi açısından önemlidir. Bulanık veya görüş mesafesinin düşük olduğu sularda dalıcıların daha yakın kalması, el işaretlerini netleştirmesi ve gerektiğinde pusula gibi yardımcı ekipmanlardan yararlanması gerekir.

Akıntı ve dalga durumu dalış öncesinde mutlaka değerlendirilmelidir. Güçlü akıntılar dalıcının planlanan rotadan uzaklaşmasına, fazla enerji harcamasına ve hava tüketiminin artmasına neden olabilir. Dalga yüksekliği özellikle giriş ve çıkış aşamalarında risk oluşturur. Bu nedenle dalış ortamının özelliklerini bilmek, güvenli dalış planını temel koşullarından biridir.

3. DALIŞ ÖNCESİ HAZIRLIĞIN ÖNEMİ

3.1.Hazırlığın Dalış Kazalarını Önlemedeki Rolü

Dalış öncesi hazırlık, güvenli bir dalışın temelini oluşturan en önemli aşamalardan biridir. Dalış sırasında karşılaşılabilecek birçok sorun, aslında dalıştan önce eksik yapılan kontrollerden veya yetersiz planlamadan kaynaklanır. Örneğin tüp basıncını kontrol edilmemesi, dönüş basıncının belirlenmemesi, regülatörün denenmemesi, BCD'nin şişirme-boşaltma sisteminin kontrol edilmemesi veya dalış bölgesindeki akıntı hakkında bilgi alınmaması su altında ciddi güvenlik sorunlarına dönüşebilir.

Hazırlığın temel amacı, dalış sırasında ortaya çıkabilecek riskleri önceden belirlemek ve bu riskleri azaltacak önlemleri almaktır. Bu süreçte dalgıcının sağlık durumu, ekipmanın çalışır durumda olması, çevresel koşulların uygunluğu, dalış planını gerçekçiliği ve ekip üyelerinin aynı bilgiye sahip olması birlikte değerlendirilir. Bu unsurlardan herhangi birinin göz ardı edilmesi, dalışın kontrolsüz hâle gelmesine neden olabilir. Bu nedenle dalış öncesi hazırlık, yalnızca ekipmanların takılması değil, dalışın bütününi etkileyen kapsamlı bir güvenlik yönetimidir.

Dalış kazalarının önlenmesinde planlama ve ekipman kontrolü ilk savunma hattıdır. Dalışın amacı, maksimum derinliği, süresi, izlenecek rota, hava kontrol noktaları, dönüş basıncı, güvenlik durakları ve acil çıkış yöntemleri önceden belirlenmelidir. Bu bilgiler dalış brifinginde ekip üyeleriyle paylaşılmalı ve herkesin planı anladığından emin olunmalıdır. Böylece su altında belirsizlik azalır ve beklenmeyen durumlarda daha hızlı karar alınabilir (URL,4, 2022).

3.2.İnsan Hatası, İhmal ve Kontrol Listeleri

Dalış güvenliğini etkileyen en önemli unsurlardan biri insan faktörüdür. Eğitimli bir dalgıcı bile yorgunluk, acelecilik, dikkatsizlik, aşırı özgüven veya iletişim eksikliği nedeniyle hata yapabilir. İnsan hatası çoğu zaman büyük bir teknik arızadan değil, küçük ihmallerin birleşmesinden doğar. Tüp vanasının tam açılmaması, alternatif hava kaynağını kontrol edilmemesi, ağırlık sisteminin yanlış ayarlanması veya buddy ile el işaretlerinin konuşulmaması bu ihmallere örnek gösterilebilir.

Kontrol listeleri, insan hatasını azaltmak için kullanılan en etkili araçlardan biridir. Kontrol listesi, dalgıcının dalış öncesinde hangi adımları tamamladığını görmesini sağlar ve kritik noktaların unutulmasını önler. Özellikle kalabalık gruplarda, tekne dalışlarında, zaman baskısı altında veya farklı deneyim seviyelerine sahip dalgıcıların birlikte dalış yaptığı durumlarda kontrol listeleri güvenliği artırır. Dalış öncesi kontrol listesinde sağlık durumu, dalış planı, tüp basıncı, regülatör, BCD, ağırlık sistemi, dalış bilgisayar, maske-palet, buddy kontrolü ve acil durum planı yer almalıdır (URL 4, 2022).

4.DALIŞ PLANLAMASI

4.1.Dalış Amacı, Derinlik ve Süre Planlaması

Dalış planlaması, dalışın güvenli ve kontrollü biçimde gerçekleştirilebilmesi için dalıştan önce yapılan hazırlıkların en önemli bölümüdür. Planlama sürecinde öncelikle dalışın amacı belirlenmelidir. Dalışın amacı eğitim, keşif, fotoğrafçılık, gözlem, araştırma veya basit bir rekreasyonel faaliyet olabilir. Amacın açık biçimde belirlenmesi; izlenecek rota, kullanılacak ekipman, dalış

süresi, derinlik sınırı ve görev dağılımı üzerinde etkili olur.

Maksimum derinlik ve dalış süresi planlamanın en kritik unsurlarıdır. Dalgıç, eğitim düzeyine, deneyimine, ekipmanına ve çevresel koşullara uygun bir derinlik sınırı belirlemelidir. Planlanan maksimum derinliğin aşılması, hava tüketiminin artmasına, basınç etkilerinin çoğalmasına ve çıkış sürecinin daha dikkatli yönetilmesine neden olabilir. Bu nedenle dalıştan önce maksimum derinlik tüm ekip üyeleri tarafından bilinmeli ve dalış sırasında düzenli olarak takip edilmelidir.

Dalış süresi de benzer biçimde önceden planlanmalıdır. Dipte kalış süresi, toplam dalış süresi, güvenlik durağı ve yüzeye çıkış süreci birlikte değerlendirilmelidir. Planlanandan uzun süren dalışlar, hava rezervinin azalmasına ve yorgunluğun artmasına neden olabilir. Bu nedenle dalış bilgisayarı veya derinlik-süre takip cihazları dalış boyunca aktif kullanılmalı, ancak cihazlara güvenmek planlama ihtiyacını ortadan kaldırmamalıdır.

4.2.Hava Tüketimi, Dönüş Basıncı ve Dalış Profili

Hava tüketimi, dalış güvenliğinin en kritik konulardan biridir. Dalgıcın ne kadar hava tüketeyeceği; derinlik, efor, akıntı, su sıcaklığı, stres düzeyi, deneyim, kondisyon ve ekipman durumuna göre değişebilir. Derinlik arttıkça solunan hava miktarı da artar. Bu nedenle dalış öncesinde tüp basıncı kontrol edilmeli, dalış boyunca hangi basınçta dönüşe geçileceği ve hangi basınçla yüzeye çıkılması gerektiği belirlenmelidir. Acil durumlar için yeterli hava rezervi bırakmak güvenli dalışın temel kurallarındandır.

Dönüş basıncı, dalış ekibinin planlanan rotadan geri dönmeye başlayacağı minimum basınç değeridir. Bu değer, dalış derinliği, mesafe, akıntı ve ekibin deneyimine göre belirlenir. Dönüş basıncı belirlenmeden yapılan dalışlarda dalıcılar planlanandan daha uzun süre su altında kalabilir ve hava yetersizliği riski artabilir. Hava yönetiminde yalnızca kişinin kendi havasını takip etmesi yeterli değildir; buddy'nin hava durumu da dalış boyunca düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir.

Dalış profili, dalıcının iniş, dipte kalış, rota, yükselme ve güvenlik durağı gibi hareketlerini kapsar. Güvenli bir dalış profili, ani derinlik değişimlerinden kaçınmayı, kontrollü iniş ve çıkış yapmayı, dalış planına sadık kalmayı ve çevresel koşullara göre esnek davranmayı gerektirir. Dalış planı ne kadar iyi hazırlanırsa hazırlansın, su altında güvenliği tehdit eden bir durum ortaya çıktığında plan değiştirilebilir veya dalış sonlandırılabilir. Tablo 2' de Dalış planlamasında dikkate alınan temel unsurlar verilmiştir.

Tablo 2. Dalış planlamasında dikkate alınan temel unsurlar

Planlama Unsuru	Açıklama
Dalış amacı	Eğitim, keşif, fotoğrafçılık vb.
Maksimum derinlik	Güvenli sının belirlenmesi
Dalış süresi	Dip süresi ve toplam süre
Hava planlaması	Tüp basıncı, dönüş basıncı
Rota	İzlenecek yol
Giriş-çıkış noktası	Suya giriş ve çıkış alanı
Acil durum planı	Olası sorunlarda uygulanacak prosedür

5.FİZİKSEL VE PSİKOLOJİK HAZIRLIK

Dalgıcın fiziksel ve psikolojik durumu, dalış güvenliği üzerinde doğrudan etkilidir. Dalış öncesinde yalnızca ekipmanın hazır olması yeterli değildir; dalgıcının kendisini dalışa uygun hissedip hissetmediği de değerlendirilmelidir. Yorgunluk, uykusuzluk, hastalık, stres, açlık, susuzluk, solunum yolu rahatsızlığı, kulak tıkanıklığı veya aşırı kaygı su altında dikkat ve karar verme becerisini zayıflatabilir. Bu nedenle dalgıcı, dalış öncesinde kendi durumunu dürüstçe değerlendirmelidir.

Fiziksel hazırlık kapsamında dalgıcının genel sağlık durumu, solunum kapasitesi, kulak ve sinüs sağlığı, temel kondisyonu ve dalışa engel oluşturabilecek geçici rahatsızlıkları dikkate alınmalıdır. Özellikle üst solunum yolu enfeksiyonu, kulak ağrısı, sinüs tıkanıklığı veya nefes alma güçlüğü yaşayan kişiler dalışı ertelemelidir. Çünkü basınç değişimleri bu tür rahatsızlıkları su altında daha ciddi hâle getirebilir. Dalgıcın kendisini kötü hissetmesine rağmen dalışa devam etmesi, yalnızca kendi güvenliğini değil, buddysinin ve tüm ekibin güvenliğini de etkiler.

Beslenme ve sıvı dengesi de dalış öncesi hazırlığın önemli unsurlarıdır. Dalıştan önce aşırı ağır yemekler tüketmek rahatsızlık verebilir; açlık ve yetersiz enerji ise yorgunluk ve dikkat azalmasına neden olabilir. Yeterli sıvı alınmaması, özellikle sıcak havalarda ve tekne dalışlarında performans düşüşüne yol açabilir. Bu nedenle dalış öncesinde dengeli beslenmek, yeterli su tüketmek ve vücudu gereksiz zorlayacak alışkanlıklardan kaçınmak gerekir.

Psikolojik hazırlık, dalgıcının su altında sakin kalabilmesi, doğru karar verebilmesi ve beklenmeyen durumlarda panik yapmadan hareket edebilmesi açısından önemlidir. Stres, korku, aşırı heyecan veya özgüven eksikliği dalış sırasında panik riskini artırabilir. Buna karşılık aşırı özgüven de risklidir; deneyimli dalgıcıların temel kontrolleri atlamasına veya çevresel koşulları küçümsemesine neden olabilir. Güvenli yaklaşım, ne gereksiz korkuya kapılmak ne de riskleri hafife almaktır (PADI, 2018; PADI, 2022; URL 5, 2024). Tablo 3’de dalışa uygunluğu etkileyen fiziksel ve psikolojik durumlar tablosu verilmiştir.

Tablo 3. Dalışa uygunluğu etkileyen fiziksel ve psikolojik durumlar

Faktör	Dalışa Etkisi
Yorgunluk	Dikkat azalması, hava tüketiminin artması
Uykusuzluk	Karar verme zayıflığı
Stres	Panik riskinin artması
Solunum yolu rahatsızlığı	Eşitleme ve nefes alma sorunu
Yetersiz sıvı alımı	Halsizlik, performans düşüşü

6.EKİPMAN HAZIRLIĞI VE KONTROLÜ

Ekipman hazırlığı ve kontrolü, dalış öncesi hazırlık sürecinin en somut ve kritik basamaklarından biridir. Dalgıcın su altında güvenli biçimde hareket edebilmesi, ekipmanların eksiksiz, uygun ve çalışır durumda olmasına bağlıdır. Dalış ekipmanları yalnızca dalgıcın konforunu değil, doğrudan yaşam güvenliğini de etkiler. Bu nedenle ekipmanların varlığı kadar doğru çalışıp çalışmadığı da kontrol edilmelidir.

Temel dalış ekipmanları arasında maske, palet, dalış elbisesi, ağırlık sistemi, tüp, regülatör, BCD, basınç göstergesi, dalış bilgisayarı ve yardımcı güvenlik ekipmanları yer alır. Maske su altında görüş sağlar; palet hareketi kolaylaştırır; dalış elbisesi vücut ısını korur; ağırlık sistemi dalgıcın uygun yüzerliğe ulaşmasına yardımcı olur. Tüp ve regülatör solunabilir havayı sağlar; BCD yüzerlik kontrolünde kullanılır; basınç göstergesi ve dalış bilgisayarı ise hava, derinlik ve süre takibi için önemlidir.

Dalıştan önce ekipmanların yalnızca görsel olarak değil, işlevsel olarak da kontrol edilmesi gerekir. Regülatörden nefes alınmalı, alternatif hava kaynağı denenmeli, BCD'nin şişirme ve boşaltma sistemleri test edilmeli, tüp basıncı okunmalı, tüp bağlantısı ve yana kontrol edilmeli, ağırlık sisteminin bırakma mekanizması gözden geçirilmeli ve dalış bilgisayarı açılarak çalışır durumda olduğu doğrulanmalıdır. Bu kontroller suya girmeden önce yapılmazsa sorunlar ancak su altında fark edilebilir ve bu durum güvenliği tehlikeye atabilir [4].

Regülatör ve hava sistemi kontrolü özel önem taşır. Regülatör, tüpteki yüksek basınçlı havayı dalgıcın soluyabileceği basınca düşüren temel ekipmandır. Regülatörün rahat nefes verip vermediği, hortumlarda çatlak veya kaçak olup olmadığı, alternatif hava kaynağın ulaşılabilir konumda bulunup bulunmadığı kontrol edilmelidir. Tüp basıncı planlanan dalış için yeterli değilse dalış başlatılmamalıdır. Ayrıca tüp vanasının tamamen açık olduğundan emin olunmalıdır.

BCD ve ağırlık sistemi de dalış güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

BCD'nin şişirme ve boşaltma düğmeleri çalışmalı, hava tutma durumu kontrol edilmeli ve dalgıcın vücuduna uygun şekilde ayarlanmalıdır. Ağırlık sistemi ise fazla veya eksik ağırlık taşınmayacak şekilde düzenlenmelidir. Fazla ağırlık dalgıcının iniş ve yüzerlik kontrolünü zorlaştırabilir; eksik ağırlık ise dalgıcın istenen derinlikte kalmasını güçleştirebilir. Ağırlıkların acil durumda hızlı bırakılabilecek biçimde yerleştirilmesi gerekir (PADI, 2018, 2022; URL 4, 2022).

6.1. Temel Dalış Ekipmanları

Temel dalış ekipmanları, dalgıcının su altında görüş sağlamasına, hareket etmesine, vücut ısını korumasına ve dengeli şekilde dalış yapmasına yardımcı olan ekipmanlardır (PADI, 2018; PADI, 2022; URL, 5, 2024). Bu ekipmanlar, dalışın türüne göre değişebilmekle birlikte genellikle maske, palet, şnorkel, dalış elbisesi, eldiven, başlık, patik ve ağırlık sistemi gibi parçalardan oluşur. Temel ekipmanlar basit gibi görünse de dalış konforu ve güvenliği üzerinde doğrudan etkilidir. Temel dalış ekipmanları Şekil 1' de verilmiştir.



Şekil 1. Temel dalış ekipmanları

6.2.Tüplü Dalış Ekipmanları

Tüplü dalış ekipmanları, dalıcının su altında nefes alması, yüzerliğini kontrol etmesini, hava miktarını takip etmesini ve dalış profilini güvenli şekilde yönetmesini sağlayan temel sistemlerden oluşur. Bu ekipmanlar arasında dalış tüpü, regülatör, BCD, basınç göstergesi, alternatif hava kaynağı, dalış bilgisayarı ve bağlantı hortumları yer alır. Tüplü dalış ekipmanları, dalgıcın yaşam desteği niteliğinde olduğu için hazırlık ve kontrol aşamasında özel dikkat gerektirir. Dalış ekipmanlarının işlevleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Dalış ekipmanlarının işlevleri

Ekipman	İşlevi
Maske	Su altında net görüş sağlar
Palet	Suda hareket etmeyi kolaylaştırır
Regülatör	Tüpteki havayı solunabilir hâle getirir
BCD	Yüzerlik kontrolü sağlar
Tüp	Basınçlı hava taşır
Dalış bilgisayarı	Derinlik ve süre takibi yapar
Ağırlık sistemi	Denge ve iniş kontrolü sağlar

Yardımcı güvenlik ekipmanları da dalış türüne ve bölge koşullarına göre hazırlanmalıdır. Pusula, fener, kesici ekipman, yüzey işaret şamandırası, düdük, ayna ve yedek maske gibi malzemeler bazı dalışlarda kritik hâle gelebilir. Özellikle görüş mesafesinin düşük olduğu, tekne trafiğinin bulunduğu veya akıntılı bölgelerde yüzey işaret ekipmanları önemlidir. Ekipmanlarda sorun tespit edilirse dalışa başlanmamalı, sorun giderilmeden suya girilmemelidir (PADI, 2018; PADI, 2022; URL, 5, 2024).

7. ÇEVRESEL KOŞULLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çevresel koşullar, dalış güvenliği üzerinde doğrudan etkili olan faktörlerdir. Dalıştan önce yalnızca dalıcı ve ekipman değil, dalış yapılacak ortam da değerlendirilmelidir. Hava durumu, rüzgâr, dalga, akıntı, görüş mesafesi, su sıcaklığı, giriş-çıkış noktaları, dip yapısı, tekne trafiği ve bölgesel tehlikeler dalış planını etkileyebilir. Bu koşullara dikkate alınmaması, dalış sırasında beklenmeyen risklerle karşılaşılmasına neden olabilir.

Hava durumu dalış öncesinde kontrol edilmesi gereken ilk çevresel unsurlardan biridir. Rüzgârın şiddeti ve yönü, dalga yüksekliğini ve yüzey güvenliğini etkileyebilir. Yağış, sis veya ani hava değişimleri görüşü ve ulaşımı zorlaştırabilir. Kötüleşen hava koşullarında dalışın ertelenmesi veya iptal edilmesi gerekebilir. Dalış bölgesine gidilmiş olması ya da ekipmanın

hazırlanmış olması, güvenli olmayan koşullarda dalış yapılması için gerekçe olmamalıdır.

Deniz ve su koşulları da ayrıntılı biçimde incelenmelidir. Akıntı, dalıcının planlanan rotadan uzaklaşmasına, daha fazla enerji harcamasına ve hava tüketiminin artmasına neden olabilir. Görüş mesafesi düşük olduğunda buddy ile temasın kaybolma riski artar. Su sıcaklığı uygun elbise seçimini belirler. Dip yapısı, kayalık alanlar, ağlar, keskin yüzeyler veya canlı kaynaklı tehlikeler açısından değerlendirilmelidir. Giriş ve çıkış noktalarının güvenli olup olmadığı dalıştan önce belirlenmelidir.

Dalış bölgesi hakkında yerel bilgi almak, çevresel riskleri daha doğru değerlendirmeye yardımcı olur. Bölgeyi bilen dalış merkezleri, eğitmenler, tekne kaptanları veya deneyimli dalıcılar akıntı yönü, dip yapısı, görüş koşulları, tekne trafiği ve tehlikeli alanlar hakkında önemli bilgiler sağlayabilir. Bu bilgiler dalış planının gerçekçi ve güvenli biçimde hazırlanmasına katkı sunar (URL 3, 2026; URL4, 2022).

8.BUDDY SİSTEMİ VE DALIŞ ÖNCESİ İLETİŞİM

Buddy sistemi, dalgıçlıkta karşılıklı güvenlik desteği sağlayan temel uygulamalardan biridir. Bu sistemde iki dalıcı dalış öncesinde, sırasında ve sonrasında birbirini takip eder, kontrol eder ve ihtiyaç hâlinde destek olur. Buddy sistemi, yalnızca birlikte dalmak anlamına gelmez; karşılıklı sorumluluk, iletişim ve güvenlik kontrolü gerektirir. Dalış öncesi buddy kontrolü, ekipman hatalarının fark edilmesini ve acil durumda hızlı müdahale edilmesini sağlar.

Buddy kontrolünde genellikle BCD, ağırlık sistemi, bağlantılar, hava sistemi ve son genel kontrol adımları değerlendirilir. BCD'nin nasıl şişirileceği ve boşaltılacağı, ağırlıkların nasıl bırakılacağı, alternatif hava kaynağının nerede bulunduğu, tüp vanasının açık olup olmadığı ve basınç göstergesinin ne kadar hava gösterdiği karşılıklı olarak kontrol edilmelidir. Bu kontrolün yüzeysel yapılması, buddy sisteminin güvenlik değerini azaltır. Dalgıçlar birbirlerinin ekipmanını gerçekten tanımalı ve acil durumda nasıl müdahale edeceklerini bilmelidir.

Su altında sözlü iletişim sınırlı olduğu için el işaretleri dalış güvenliğinde önemli rol oynar. “Tamam”, “sorun var”, “karı çıkalım”, “aşağı inelim”, “hava az”, “hava bitti”, “dur” ve “beni takip et” gibi temel işaretler dalıştan önce ekip tarafından tekrar edilmelidir. Aynı işaretlerin farklı anlamlarda kullanılması su altında karışıklığa neden olabilir. Özellikle başparmak yukarı işaretinin “tamam” değil, “yukarı çıkalım” anlamına geldiği yeni başlayan dalıcılara açıkça anlatılmalıdır.

Dalış brifingi, ekip içi iletişimin düzenlenmesini sağlayan kısa fakat önemli bir hazırlık aşamasıdır. Brifingde dalışın amacı, maksimum derinlik, tahmini süre,

rota, giriş ve çıkış noktaları, dönüş basıncı, el işaretleri, buddy eşleşmeleri ve acil durum prosedürleri açıklanmalıdır. Her dalıcı planı anladığını belirtmeli ve varsa sorularını dalıştan önce sormalıdır. İyi yapılmış bir brifing, su altında belirsizliği azaltır ve ekip uyumunu güçlendirir (URL,4, 2022). Buddy kontrol sırası (BWRAF sistemi) Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Buddy kontrol sırası (BWRAF sistemi)

Buddy kontrolü yalnızca ekipmanla sınırlı değildir. Dalış planı da birlikte gözden geçirilmelidir. Maksimum derinlik, planlanan süre, dönüş basıncı, rota, giriş-çıkış noktaları, el işaretleri ve acil durum prosedürleri konuşulmalıdır. Böylece iki dalıcı dalış boyunca aynı planı takip eder. Dalış öncesi buddy kontrolünün aceleye getirilmemesi gerekir. “Her şey tamam mı?” şeklinde yüzeysel bir soru yerine her ekipman adımı gerçekten kontrol edilmelidir (NOAA, 2016; PADI, 2018, 2022).

9. RİSK ANALİZİ VE ACİL DURUM HAZIRLIĞI

Risk analizi, dalış öncesinde olası tehlikelerin belirlenmesi ve bu tehlikelere karşı alınacak önlemlerin planlanmasıdır. Dalış faaliyetlerinde riskler ekipman, insan, çevre ve organizasyon kaynaklı olabilir. Hava yetersizliği, regülatör arızası, BCD problemi, buddy kaybı, akıntıya kapılma, panik, yaralanma, hipotermi veya sağlık problemi dalışta karşılaşılabilecek risklere örnek gösterilebilir. Bu risklerin önceden değerlendirilmesi, dalış sırasında daha kontrollü hareket edilmesini sağlar.

Acil durum planı, beklenmeyen bir olay meydana geldiğinde ekip üyelerinin ne yapacağını önceden belirleyen plandır. Hava bitmesi durumunda buddy ile hava paylaşımı, buddy kaybında kısa süre arama ve ardından kontrollü çıkış, ekipman

arızasında dalışı sonlandırma, panikte dalıcıyı sakinleştirme ve kontrollü yükselme, yaralanmada yüzeye çıkış ve ilk yardım gibi adımlar dalıştan önce konuşulmalıdır. Acil durum planı yalnızca sözlü olarak geçirilmemeli, mümkün olduğunca net ve uygulanabilir olmalıdır (URL 2, 2026; URL 3, 2026).

İlk yardım ve oksijen desteği, dalış acil durum hazırlığının önemli unsurlarıdır. Dalış sonrasında baş dönmesi, uyuşma, nefes darlığı, göğüs ağrısı, bilinç bulanıklığı, aşırı halsizlik veya olağan dışı davranışlar görüldüğünde durum ciddiye alınmalıdır. Dalış bölgesinde ilk yardım çantası, oksijen sistemi ve haberleşme aracı bulunmalı; ekip üyeleri bu malzemelerin yerini bilmelidir. Ayrıca en yakın sağlık kuruluşu, acil servis, ulaşım güzergâhı ve varsa basınç odası bilgisi dalıştan önce belirlenmelidir.

Dalışı iptal etme kararı, güvenli dalış kültürünün en önemli göstergelerinden biridir. Sağlık durumu uygun değilse, ekipmanda sorun varsa, çevresel koşullar tehlikeliyse, ekip yeterli değilse veya dalıcı psikolojik olarak hazır hissetmiyorsa dalış ertelenmelidir. Dalışı iptal etmek başarısızlık değil, doğru güvenlik davranışıdır. Güvenli dalış anlayışı, gerektiğinde “bugün dalış yapmıyoruz” diyebilmeyi gerektirir. Bu aşamada amaç, riskleri kabul edilebilir seviyeye indirmektir (NOAA, 2016; PADI, 2018, 2022). Dalışta olası riskler ve alınabilecek önlemler Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo. 5 Dalışta olası riskler ve alınabilecek önlemler

Risk	Olası Sonuç	Önleyici Tedbir
Hava yetersizliği	Panik, acil çıkış	Hava planlaması yapmak
Regülatör arızası	Solunum sorunu	Ekipman kontrolü, alternatif hava kaynağı
Buddy kaybı	Yalnız kalma	Yakın takip, iletişim
Akıntı	Rotadan sapma	Bölge analizi, uygun rota
Panik	Kontrolsüz davranış	Eğitim, sakinlik, uygun planlama

9.1.Dalış Öncesi Hazırlıkta Uygulanabilir Kontrol Akışı

Dalış öncesi hazırlık süreci, dağınık ve kişisel alışkanlıklara bırakıldığında bazı önemli adımların unutulmasına neden olabilir. Bu nedenle hazırlığın belirli bir akış içinde yürütülmesi güvenlik açısından daha uygundur. Uygulanabilir bir kontrol akışı; kişisel uygunluk değerlendirmesi, çevresel koşulların kontrolü, dalış planını oluşturulması, ekipman hazırlığı, buddy kontrolü, brifing ve acil durum planının gözden geçirilmesi aşamalarından oluşabilir. Bu akış, dalışın türüne ve bölgenin koşullarına göre uyarlanabilir; ancak temel güvenlik basamakları her dalışta korunmalıdır.

İlk aşama, dalgıcın kendisini değerlendirmesidir. Dalgıç; yorgunluk,

uykusuzluk, stres, hastalık, kulak veya solunum problemi gibi durumları dürüst biçimde gözden geçirmelidir. Bu değerlendirme yalnızca bireysel bir karar değildir; çünkü dalıcının su altında yaşayacağı bir problem buddy sinin ve tüm ekibin güvenliğini de etkileyebilir. Bu nedenle dalıcı kendisini uygun hissetmiyorsa dalışı ertelemeli ve bu kararı açıkça ifade edebilmelidir.

İkinci aşama çevresel koşulların kontrolüdür. Dalış yapılacak bölgedeki hava durumu, rüzgâr, dalga, akıntı, görüş mesafesi, su sıcaklığı, giriş-çıkış noktaları ve tekne trafiği değerlendirilmelidir. Bu bilgiler yalnızca genel hava tahminlerinden değil, mümkünse bölgeyi bilen kişilerden veya dalış merkezlerinden de alınmalıdır. Çünkü bazı dalış noktalarında akıntı, görüş mesafesi veya tekne trafiği gün içinde hızlı değişebilir.

Üçüncü aşama dalış planının oluşturulmasıdır. Bu aşamada dalışın amacı, maksimum derinlik, dip süresi, dönüş basıncı, rota, giriş ve çıkış noktası, güvenlik durağı ve acil çıkış prosedürü belirlenir. Planın gerçekçi olması önemlidir. Dalgıçların eğitim düzeyi, deneyimi, ekipman durumu ve çevresel koşullar planın sınırlarını belirler. Plan ne kadar ayrıntılı olursa, su altında karar verme süreci o kadar kolaylaşır.

Dördüncü aşama ekipman hazırlığıdır. Ekipmanlar düzenli şekilde hazırlanmalı, eksik veya arızalı parça olup olmadığı kontrol edilmelidir. Tüp basıncı, regülatör, alternatif hava kaynağı, BCD, ağırlık sistemi, dalış bilgisayarı, maske, palet ve yardımcı güvenlik ekipmanları tek tek değerlendirilmelidir. Bu kontrollerin aceleye getirilmesi, dalış sırasında ortaya çıkabilecek ciddi sorunlara zemin hazırlayabilir.

Beşinci aşama buddy kontrolüdür. Buddy kontrolü, dalgıçların birbirlerinin ekipmanı tanımasını ve acil durumda nasıl müdahale edeceğini bilmesini sağlar. Bu aşamada BCD, ağırlık sistemi, hava kaynağı, basınç göstergesi, alternatif hava kaynağı ve bağlantılar karşılıklı olarak incelenir. Buddy kontrolü yalnızca “her şey tamam mı?” sorusundan ibaret olmamalı, gerçekten gözle ve elle yapılan bir kontrol şeklinde uygulanmalıdır.

Altıncı aşama dalış brifingidir. Brifing sırasında dalış planı tüm ekip üyeleriyle paylaşılır. Maksimum derinlik, süre, rota, dönüş basıncı, el işaretleri, buddy eşleşmeleri ve acil durum prosedürleri açık biçimde anlatılır. Her dalıcı planı anladığını belirtmeli ve varsa belirsiz gördüğü noktaları sormalıdır. Brifing, ekip içinde ortak bir güvenlik dili oluşturur ve su altında karışıklık yaşanmasını önler.

Son aşama ise acil durum hazırlığının gözden geçirilmesidir. Hava bitmesi, buddy kaybı, ekipman arızası, panik, yaralanma, kötü hava koşulu veya sağlık problemi gibi durumlarda uygulanacak adımlar dalıştan önce belirlenmelidir. İlk yardım çantası, oksijen desteği, haberleşme aracı ve en yakın sağlık kuruluşu bilgisi hazır olmalıdır. Bu hazırlıklar, acil durumun ortaya çıkmasını tamamen

engellemese de müdahalenin daha hızlı ve doğru yapılmasını sağlar (NOAA, 2016; PADI, 2018, 2022, URL5, 2024).

9.2.Dalış Öncesi Hazırlıkta Sık Yapılan Hatalar

Dalış öncesi hazırlıkta en sık yapılan hatalardan biri, deneyime aşırı güvenmektir. Deneyimli dalıcılar bazen aynı ekipmana uzun süredir kullandıkları veya aynı bölgede daha önce birçok kez dalış yaptıkları için bazı kontrolleri gereksiz görebilirler. Oysa her dalış yeni koşullar içerir. Ekipman daha önce sorunsuz çalışmış olsa bile o gün arıza yapabilir; daha önce sakin olan bir bölgede akıntı oluşabilir; dalıcı kendisini önceki dalışlara göre daha yorgun veya stresli hissedebilir. Bu nedenle deneyim, kontrol listesini gereksiz kılmaz; tam tersine daha disiplinli uygulanmasını gerektirir.

Bir diğer hata, zaman baskısı nedeniyle hazırlığın aceleye getirilmesidir. Tekne hareket saati, grup baskısı, hava koşullarının değişme ihtimali veya dalış programının sıkışık olması dalıcıların hazırlık sürecini hızlandırmasına neden olabilir. Ancak dalışta birkaç dakika kazanmak için yapılan eksik kontrol, su altında ciddi zaman ve güvenlik kaybına yol açabilir. Dalış güvenliğinde hız değil, sistemlilik önemlidir.

Üçüncü önemli hata, ekipman kontrolünün yalnızca görsel düzeyde yapılmasıdır. Regülatörün takılı olması yeterli değildir; regülatörden nefes alınmalı ve alternatif hava kaynağı denenmelidir. BCD'nin üzerinde durması yeterli değildir; şişirme ve boşaltma sistemi çalıştırılmalıdır. Tüpün dolu olduğu varsayılmamalı; basınç göstergesi okunmalıdır. Bu nedenle kontrol süreci ekipmanın varlığına değil, işlevine odaklanmalıdır.

Dördüncü hata, dalış planının ekip içinde yeterince paylaşılmamasıdır. Dalış liderinin planı bilmesi yeterli değildir; tüm ekip üyeleri maksimum derinliği, dönüş basıncını, rotayı, giriş ve çıkış noktalarını, acil durumda uygulanacak adamları bilmelidir. Ekip üyelerinden biri planı anlamadıysa su altında farklı davranabilir ve bu durum buddy sistemi açısından risk oluşturabilir.

Beşinci hata, psikolojik hazır oluşun göz ardı edilmesidir. Bazı dalıcılar korku, stres veya isteksizlik yaşadıklarında bunu dile getirmekten çekinebilirler. Grup baskısı veya utanma duygusu nedeniyle dalışa katılmak, su altında panik riskini artırabilir. Güvenli dalış kültürü, dalgıcın endişesini açıkça söyleyebildiği ve bu nedenle yargılanmadığı bir ortamı gerektirir.

Altıncı hata, çevresel koşulların yalnızca genel olarak değerlendirilmesidir. Havanın güneşli olması dalış için her zaman uygun olduğu anlamına gelmez. Rüzgâr, dalga, akıntı, görüş mesafesi, su sıcaklığı ve tekne trafiği ayrı ayrı incelenmelidir. Özellikle kıyıdan giriş yapılan dalışlarda çıkış noktasının güvenli olup olmadığı önceden kontrol edilmelidir.

Yedinci hata, acil durum planının sadece teorik olarak bilinmesidir. Dalgıçlar eğitim sırasında acil durum prosedürlerini öğrenmiş olabilir; ancak her dalış bölgesinde acil durum planı yeniden değerlendirilmelidir. En yakın sağlık kuruluşu nerede, haberleşme nasıl sağlanacak, oksijen sistemi kimde, yüzeyde kim destek verecek, olası tahliye nasıl yapılacak gibi soruları yanıtları dalıştan önce netleştirilmelidir.

Dalış öncesi hazırlıkta bu hataların azaltılması için standart bir kontrol alışkanlığı geliştirilmelidir. Her dalışta aynı temel adımlar takip edildiğinde dalımcılar daha bilinçli hareket eder, ekip içi uyum güçlenir ve riskler daha erken fark edilir. Bu nedenle dalış öncesi hazırlık, dalış eğitiminin ve uygulamasının ayrılmaz bir parçası olarak görülmelidir (NOAA, 2016; PADI, 2018, 2022; URL 5, 2024).

9.3.Dalış Sonrası Değerlendirmenin Hazırlık Sürecine Katkısı

Dalış güvenliği yalnızca dalış öncesi ve dalış sırasındaki uygulamalarla sınırlı değildir. Dalış sonrasında yapılan değerlendirme de sonraki dalışların daha güvenli planlanmasına katkı sağlar. Dalış sonrasında ekip üyeleri dalış planının ne ölçüde uygulandığını, hava tüketimini, ekipman performansını, iletişim başarısını, karşılaşılan sorunları ve çevresel koşulları değerlendirmelidir. Bu değerlendirme, dalış öncesi hazırlık sürecinin geliştirilmesine yardımcı olur.

Örneğin bir dalıcı planlanandan daha fazla hava tüketmişse bunun nedeni değerlendirilmelidir. Derinlik, akıntı, stres, fazla efor, uygunsuz ağırlık veya yetersiz kondisyon hava tüketimini artırmış olabilir. Bu bilgi sonraki dalışta daha gerçekçi hava planlaması yapılmasını sağlar. Benzer şekilde düşük görüş nedeniyle buddy takibi zorlaştıysa, sonraki dalışta daha yakın mesafe, daha belirgin işaretler veya farklı rota planlanabilir.

Dalış sonrası ekipman kontrolü de önemlidir. Regülatörde zor nefes alma, BCD'de hava kaçırma, dalış bilgisayarında pil sorunu, maske kayışında gevşeme veya palet bağlantısında problem fark edildiyse bunlar sonraki dalıştan önce giderilmelidir. Dalış sonrası bakım ve değerlendirme yapılmadığında aynı ekipman sorunu bir sonraki dalışta tekrar edebilir.

Dalış sonrası değerlendirme, güvenlik kültürünü güçlendiren öğrenme sürecidir. Amaç hata aramak veya kişileri suçlamak değildir; amaç dalışın daha güvenli yapılabilmesi için deneyimden ders çıkarmaktır. Bu nedenle dalış sonrasında kısa bir ekip değerlendirmesi yapılması, özellikle eğitim dalışları ve grup dalışları için faydalıdır.

Sonuç olarak dalış öncesi hazırlık, dalış sırasında uygulama ve dalış sonrası değerlendirme birbirini tamamlayan süreçlerdir. Dalış öncesi iyi hazırlanan ekip daha güvenli dalış yapar; dalış sonrası değerlendirme yapan ekip ise sonraki

hazırlıklarını daha bilinçli planlar. Bu döngü, dalgıcılıkta sürekli gelişim ve güvenli davranış alışkanlığının temelini oluşturur.

9.4.Eğitim, Standartlar ve Sürekli Gelişim

Dalış öncesi hazırlığın etkili olabilmesi, dalgıcın aldığı eğitim ve kazandığı güvenlik alışkanlıklarıyla yakından ilişkilidir. Eğitim sürecinde öğrenilen bilgiler yalnızca sertifika almak için değil, her dalışta uygulanmak üzere kazanılmalıdır. Dalgıç; ekipman kurulumunu, basınç etkilerini, eşitleme yöntemlerini, yüzerlik kontrolünü, hava paylaşımını, kontrollü yükselmeyi, acil durum işaretlerini ve buddy sistemini yalnızca teorik olarak bilmemeli, gerektiğinde uygulayabilecek düzeyde pratik yapmalıdır.

Dalış eğitimlerinde standartların bulunması, farklı dalgıçların ortak güvenlik anlayışıyla hareket etmesine katkı sağlar. Dalış organizasyonları, eğitim kuruluşları ve dalış merkezleri belirli asgari güvenlik ilkelerini uyguladığında dalış öncesi hazırlık süreci daha sistemli hâle gelir. Ancak standartların varlığı tek başına yeterli değildir. Dalgıcın bu standartları benimsemesi, her dalışta uygulaması ve kendi davranışlarını bu çerçevede düzenlemesi gerekir.

Sürekli gelişim, dalgıcılıkta güvenliğin önemli parçalarından biridir. Uzun süre dalış yapmayan kişilerin temel becerilerini tazelemesi, ekipman kullanımını yeniden gözden geçirmesi ve acil durum prosedürlerini hatırlaması gerekir. Dalış becerileri kullanılmadığında zayıflayabilir. Bu nedenle dalıcıların düzenli pratik yapması, eğitimlere katılması ve değişen güvenlik yaklaşımlarını takip etmesi güvenli dalış kültürünü güçlendirir.

Dalış öncesi hazırlıkta eğitilmiş davranış ile alışkanlık hâline gelmiş kontrol süreci birlikte yürümelidir. Bir dalıcı, ekipmanın nasıl kontrol edeceğini bilmiyorsa kontrol listesi yeterli olmaz; kontrol listesini kullanmıyorsa bilgisi pratikte eksik kalır. Bu nedenle güvenli dalış için bilgi, beceri ve davranış alışkanlığı bir arada bulunmalıdır (URL 5, 2024; URL 6, 2026).

9.5.Güvenli Dalış Kültürünün Oluşturulması

Güvenli dalış kültürü, dalıcının dalışa yalnızca keyif veya görev açısından değil, sorumluluk açısından da yaklaşmasıyla oluşur. Bu kültürde dalış öncesi hazırlık zorunlu ve değerli bir süreç olarak kabul edilir. Dalgıç, “nasıl olsa bir şey olmaz” düşüncesiyle değil, “her ihtimale karşı hazırlıklı olmalıyım” anlayışıyla hareket eder. Bu yaklaşım, hem bireysel güvenliği hem de ekip güvenliğini artırır.

Güvenli dalış kültüründe ekip üyeleri birbirini denetlemekten çekinmez. Bir dalıcının ekipmanında eksik görülürse bu durum açıkça ifade edilir. Bir dalıcı kendisini iyi hissetmiyorsa bunu söyleyebilir. Dalış lideri veya eğitmen risk gördüğünde dalışı iptal edebilir. Bu kararlar kişisel eleştiri olarak değil, güvenlik

davranışı olarak değerlendirilir. Böyle bir ortamda hatalar saklanmaz, erken fark edilir ve düzeltilir.

Güvenlik kültürünün bir diğer yönü çevreye duyarlılıktır. Dalgıç, yalnızca kendi güvenliğini değil, dalış yaptığı su altı ortamını da korumakla sorumludur. Dip yapısına zarar vermemek, canlılara dokunmamak, atık bırakmamak, kontrolsüz palet vuruşlarından kaçınmak ve doğal yaşam alanlarını bozmamak dalgıçlık etiğinin bir parçasıdır. Çevreye saygılı dalış davranışı, bilinçli dalgıçlığın önemli göstergelerinden biridir.

Sonuç olarak dalış öncesi hazırlık, yalnızca teknik bir kontrol süreci değil, güvenli dalış kültürünün uygulamaya dönüşmüş hâlidir. Bu süreç; bilgi, disiplin, ekip çalışması, çevre bilinci ve sorumluluk duygusunu bir araya getirir. Dalgıçlıkta kalıcı güvenlik, yalnızca kuralların bilinmesiyle değil, bu kuralların her dalışta istikrarlı biçimde uygulanmasıyla sağlanabilir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dalgıçlık, su altı ortamında gerçekleştirilen ve güvenlik açısından dikkatli hazırlık gerektiren özel bir faaliyettir. Bu çalışmada dalış öncesi hazırlık süreci; dalış planlaması, fiziksel ve psikolojik hazırlık, ekipman kontrolü, çevresel koşulların değerlendirilmesi, buddy sistemi, iletişim, risk analizi ve acil durum hazırlığı boyutlarıyla incelenmiştir. Çalışma sonucunda, güvenli dalışın yalnızca dalış sırasında yapılan uygulamalara bağlı olmadığı; dalıştan önceki hazırlıkları da en az dalış uygulaması kadar önemli olduğu görülmüştür.

Dalış öncesi hazırlığın temel amacı, su altında karşılaşılabilecek riskleri önceden belirlemek ve bu riskleri azaltacak önlemleri almaktır. Dalış planının hazırlanması, maksimum derinlik ve sürenin belirlenmesi, hava tüketimi ve dönüş basının planlanması, ekipmanların işlevsel olarak test edilmesi, dalıcının sağlık durumunun değerlendirilmesi, çevresel koşulların incelenmesi ve acil durum prosedürlerinin konuşulması güvenli dalışın temel unsurlarıdır.

Çalışmada ayrıca insan hatası ve ihmal faktörünün dalış güvenliği üzerinde önemli etkileri olduğu değerlendirilmiştir. Aşırı özgüven, acelecilik, dikkatsizlik, yorgunluk veya iletişim eksikliği dalış kazalarına zemin hazırlayabilir. Bu nedenle kontrol listelerinin kullanılması, buddy kontrolünün ciddi biçimde yapılması ve dalış brifinginin açık şekilde gerçekleştirilmesi güvenliği artırmaktadır.

Sonuç olarak dalış öncesi hazırlık, dalgıçlıkta güvenliğin başlangıç noktasıdır. Planlı, kontrollü ve bilinçli hazırlıklar dalış sırasında ortaya çıkabilecek riskleri azaltır, dalıcının kendine olan güvenini artırır ve ekip içi uyumu güçlendirir. Bu nedenle her dalıştan önce hazırlık süreci aynı disiplinle uygulanmalı, güvenliği tehdit eden herhangi bir durum görüldüğünde dalış ertelenmeli veya iptal edilmelidir (URL 5, 2024; URL 6, 2026).

Öneriler

- * Her dalıştan önce dalışın amacı, maksimum derinliği, süresi, rotası, dönüş basıncı ve acil durum prosedürleri belirlenmelidir.
- * Dalış öncesi kontrol listesi kullanılmalı; regülatör, BCD, tüp, basınç göstergesi, dalış bilgisayar, ağırlık sistemi ve yardımcı ekipmanlar kontrol edilmelidir.
- * Dalgıç kendi fiziksel ve psikolojik durumunu dürüstçe değerlendirmeli; yorgunluk, hastalık, stres veya kulak-solunum problemi varsa dalışı ertelemelidir.
- * Buddy kontrolü formalite olarak görülmemelidir; iki dalıcı birbirlerinin ekipmanını, alternatif hava kaynağını ve ağırlık bırakma sistemini gerçekten kontrol etmelidir.
- * Hava durumu, rüzgâr, dalga, akıntı, su sıcaklığı, görüş mesafesi, tekne trafiği ve giriş-çıkış noktaları dalıştan önce değerlendirilmelidir.
- * Acil durum planı hazırlanmalı; ilk yardım çantası, oksijen desteği, haberleşme aracı ve en yakın sağlık kuruluşu bilgisi hazır bulundurulmalıdır.
- * Güvenli olmayan koşullarda dalış iptal edilmelidir. İptal kararı başarısızlık değil, güvenlik bilincinin göstergesi olarak kabul edilmelidir.
- * Güvenli bir dalış için Türkiye sualtı sporları federasyonu donanımlı dalış yönetmenliği talimatları göz önünde bulundurulmalıdır (TSAF, 2008, 2025).

KAYNAKÇA

- URL 1, 2013. Divers Alert Network. *Checklists*. Alert Diver. Erişim adresi: <https://dan.org/alert-diver/article/checklists/>
- URL 2, 2026. Divers Alert Network. (t.y.). *Predive checklists increase diving safety*. Divers Alert Network. Erişim adresi: <https://dan.org/research-reports/research-studies/pre-dive-checklists-increase-diving-safety/>
- URL 3, 2026. Divers Alert Network. (t.y.). *DAN first aid courses*. Divers Alert Network. Erişim adresi: <https://dan.org/education-events/instructor-led-courses/>
- URL 4, 2022. Divers Alert Network. *Emergency oxygen*. Alert Diver. Erişim adresi: <https://dan.org/alert-diver/article/emergency-oxygen/>
- NOAA. 2016. National Oceanic and Atmospheric Administration. *Dive operations plan.* 'Pre and post dive checklist. NOAA Office of Marine and Aviation Operations. Erişim adresi: <https://www.noaa.gov/sites/default/files/documents/2016%29%20Dive%20Operations%20Plan%20Pre%20and%20Post%20Dive%20Checklist.pdf>
- NOAA 2020. National Oceanic and Atmospheric Administration. *NOAA diving standards and safety manual*. NOAA Office of Marine and Aviation Operations. Erişim adresi: <https://www.oma.noaa.gov/sites/default/files/documents/NDSSM%20Rev%2005%20May%202020.pdf>
- PADI 2018. Professional Association of Diving Instructors. *The proper dive buddy check: How do you say BWRAF?* PADI Blog. Erişim adresi: <https://blog.padi.com/how-do-you-say-bwraf/>
- PADI 2022. Professional Association of Diving Instructors. (2022). *Predive safety check.* 'Begin with review and friend. PADI. Erişim adresi: <https://blog.padi.com/wp-content/uploads/2023/03/752DT-BWRAF-Predive-Safety-Check-Poster-8x11.pdf>
- TSAF. 2025. Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu *Donanımlı dalış talimatı*. Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu. Erişim adresi: <https://www.tssf.gov.tr/wp-content/uploads/2025/11/Turkiye-Sualti-Sporlari-Federasyonu-Donanimli-Dalis-Talimati.pdf>
- TSAF. 2008. Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu. *Donanımlı dalış yönetmeliği*. Türkiye Sualtı Sporları Federasyonu. Erişim adresi: <https://www.tssf.gov.tr/wp-content/uploads/2025/10/Donanimli-Dalis-Yonetmeli.pdf>

- URL 5. 2024. WorkSafe Queensland. *Recreational diving, recreational technical diving and snorkelling code of practice 2024*. Queensland Government. Erişim adresi: https://www.worksafe.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0031/129676/recreational-diving-code-of-practice-2024.pdf
- URL 6. 2026. World Recreational Scuba Training Council. (t.y.). *Standards downloads*. WRSTC. Erişim adresi: <https://wrstc.com/standards-downloads/>

9. Bölüm

Akdeniz Dağ Peyzajlarında Jeolojik Ana Kaya, Topraklar ve Bitki Örtüsü Arasındaki İlişkiler

Serkan SABANCI¹

1. Giriş

Yeryüzündeki Doğal ekosistemlerin yapısı ve işleyişi, biyotik ve abiyotik çevresel faktörlerin uzun jeolojik zaman ölçeklerinde gerçekleşen karşılıklı etkileşimi sonucunda şekillenmektedir. Küresel ölçekte bitki örtüsünün dağılışı incelendiğinde iklimin temel belirleyici faktör olduğu uzun yıllardır kabul edilmekle birlikte, aynı iklim koşulları altında dahi farklı jeolojik altlıklar üzerinde belirgin biçimde farklı bitki topluluklarının gelişebildiği bilinmektedir. Bu durum, jeolojik yapı, litoloji ve toprak özelliklerinin ekosistemlerin oluşumu ve biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği üzerindeki belirleyici rolünü açıkça ortaya koymaktadır (Jenny, 1941; Huggett, 2004; Brady & Weil, 2017). Günümüzde ekolojik süreçlerin yalnızca iklim temelli yaklaşımlarla açıklanmasının yetersiz olduğu, jeolojik mirasın ve edafik özelliklerin de biyolojik çeşitliliğin şekillenmesinde temel çevresel bileşenler olduğu geniş ölçüde kabul edilmektedir (Gray, 2013; Hjort et al., 2015; Gordon et al., 2018). Son yirmi yılda ekoloji, biyocoğrafya ve koruma biyolojisi alanlarında gerçekleştirilen araştırmalar, jeolojik çeşitlilik (geodiversity) kavramının ekosistemlerin anlaşılmasında giderek daha merkezi bir konuma yerleşmesini sağlamıştır. Gray (2013) jeolojik çeşitliliği kayaçlar, mineraller, fosiller, jeomorfolojik şekiller, topraklar ve bunların oluşturduğu doğal süreçlerin çeşitliliği olarak tanımlamaktadır. Buna göre jeolojik çeşitlilik yalnızca jeolojik mirası temsil eden statik bir unsur olmayıp, aynı zamanda habitat oluşumunu, hidrolojik süreçleri, toprak gelişimini ve biyolojik çeşitliliği yönlendiren dinamik bir çevresel sistemdir. Nitekim Avrupa, Kuzey Amerika ve Avustralya'da gerçekleştirilen çok sayıda çalışma, yüksek jeolojik heterojenliğe sahip alanların daha fazla habitat çeşitliliği oluşturduğunu; bunun da tür zenginliğini, fonksiyonel çeşitliliği ve ekosistem dayanıklılığını artırdığını ortaya koymuştur (Hjort et al., 2015; Gordon et al., 2018; Schrodt et al., 2019; Alahuhta et al., 2020). Jeolojik çeşitlilik ile biyolojik çeşitlilik arasındaki ilişki özellikle dağlık

alanlarda daha belirgin hale gelmektedir. Dağ ekosistemleri kısa mesafelerde değişen yükselti, eğim, bakı, litoloji ve mikroiklim özellikleri nedeniyle dünyanın en yüksek çevresel heterojenliğine sahip doğal sistemleri arasında yer almaktadır (Huggett, 1995; Körner, 2007). Bu heterojen yapı, farklı toprak gelişim süreçlerini ve çok sayıda ekolojik nişin oluşmasını desteklemekte, böylece bitki topluluklarının hem tür bileşimini hem de mekânsal organizasyonunu doğrudan etkilemektedir. Günümüzde dağlık alanların yalnızca biyolojik çeşitlilik açısından değil, aynı zamanda karbon depolama, su üretimi, erozyon kontrolü ve iklim düzenleme gibi ekosistem hizmetleri bakımından da kritik öneme sahip olduğu bilinmektedir (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [IPBES], 2019; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] & United Nations Environment Programme [UNEP], 2020). Bu nedenle dağ ekosistemlerinde jeolojik yapı ile bitki örtüsü arasındaki ilişkilerin ortaya konulması, yalnızca teorik ekoloji açısından değil, sürdürülebilir doğal kaynak yönetimi ve koruma planlaması açısından da büyük önem taşımaktadır. Bitki örtüsünün gelişiminde etkili olan çevresel faktörler arasında litoloji özel bir yere sahiptir. Farklı kayaç türleri ayrışma süreçleri sonucunda fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklı toprakların oluşmasına neden olmaktadır. Kayaçların mineralojik bileşimi, ayrışma hızları ve yapısal özellikleri; toprak derinliği, tekstür, pH, organik madde miktarı, su tutma kapasitesi, geçirgenlik ve besin elementi içeriği gibi bitki gelişimini doğrudan etkileyen temel pedolojik özellikleri belirlemektedir (Jenny, 1941; Brady & Weil, 2017). Karbonatlı kayaçlar üzerinde gelişen Rendzina ve Kırmızı Akdeniz Toprakları ile silisiklastik kayaçlar üzerinde gelişen Kahverengi Orman Toprakları veya genç alüvyal topraklar arasında görülen belirgin farklılıklar, bitki türlerinin dağılışı üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Atalay, 1994). Bu nedenle aynı iklim kuşağı içerisinde yer alan iki farklı litolojik ortam, tamamen farklı orman ekosistemlerinin veya vejetasyon tiplerinin gelişmesine olanak sağlayabilmektedir. Topraklar, jeolojik yapı ile bitki örtüsü arasında işlev gören en önemli ara çevresel bileşendir. Hans Jenny'nin (1941) klasik toprak oluşum modeli, toprak gelişiminin ana materyal, iklim, topografya, organizmalar ve zaman faktörlerinin ortak etkisi altında gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu model günümüzde de geçerliliğini korumakta ve özellikle dağ ekosistemlerinde litoloji-toprak-bitki ilişkilerinin açıklanmasında temel kuramsal çerçeveyi oluşturmaktadır. Ana kayanın fiziksel ve kimyasal özellikleri, ayrışma süreçlerinin hızını ve karakterini belirlerken, topografik koşullar su hareketini, erozyonu ve toprak derinliğini kontrol etmekte; iklim ise ayrışma süreçleri ile organik madde birikimini yönlendirmektedir. Bitki örtüsü yalnızca iklim koşullarına bağlı olarak değil, aynı zamanda jeolojik ve pedolojik özelliklerin

oluşturduğu karmaşık çevresel gradyanlar boyunca şekillenmektedir (Brady & Weil, 2017; Huggett, 1995).

Akdeniz Havzası, küresel ölçekte biyolojik çeşitlilik açısından en önemli bölgelerden biri olup, Myers ve arkadaşları (2000) tarafından dünyanın öncelikli biyolojik çeşitlilik sıcak noktalarından (biodiversity hotspot) biri olarak tanımlanmıştır. Bölgenin karmaşık tektonik evrimi, farklı jeolojik dönemlere ait kayaç topluluklarının bir arada bulunması, belirgin topografik farklılıklar ve tipik Akdeniz iklimi, çok sayıda endemik bitki türünün gelişmesine uygun çevresel koşullar oluşturmuştur (Médail & Quézel, 1999; Blondel et al., 2010). Akdeniz dağ sistemleri, kıyı kuşağından yüksek dağlık alanlara kadar kısa mesafelerde değişen sıcaklık ve yağış koşulları sayesinde farklı bitki kuşaklarının oluşmasına olanak sağlamaktadır. Bu çevresel heterojenlik, jeolojik çeşitlilik ile birlikte değerlendirildiğinde, Akdeniz peyzajlarının mozaik yapısını oluşturan temel mekanizma olarak kabul edilmektedir (Médail, 2017; IPBES, 2019). Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde yer alması nedeniyle Avrupa ve Yakın Doğu'nun en karmaşık jeolojik yapılarından birine sahiptir. Paleozoik'ten Kuvaterner'e kadar uzanan çok sayıda jeolojik yaş grubuna ait kayaç topluluklarının kısa mesafelerde birlikte bulunması, ülkenin jeolojik çeşitliliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Atalay, 1994). Bu durum özellikle Toros Dağları boyunca belirginleşmekte; karbonat platformları, ofiyolit kuşakları, metamorfik masifler ve genç alüvyal havzalar son derece heterojen doğal peyzajların oluşmasına neden olmaktadır. Batı Toros Dağları, bu jeolojik çeşitliliğin en belirgin örneklerinden biri olup aynı zamanda Türkiye'nin en yüksek endemizm oranına sahip bölgeleri arasında yer almaktadır (Davis, 1965-1985; Atalay, 1994). Bölgenin jeolojik ve topografik heterojenliği, farklı toprak tiplerinin ve buna bağlı olarak çok sayıda orman ekosisteminin gelişmesine olanak sağlamaktadır. Akdeniz Havzası'nın doğu kesiminde yer alan Toros Dağları, yalnızca yüksek biyolojik çeşitliliği ile değil, aynı zamanda jeolojik evrim açısından da dikkat çeken doğal sistemlerden biridir. Toros orojenik kuşağının uzun jeolojik geçmişi boyunca meydana gelen çökelme, metamorfizma, ofiyolit yerleşimi ve tektonik yükselme süreçleri, günümüzde oldukça karmaşık bir litolojik mozaik oluşturmuştur. Paleozoik yaşlı metamorfik kayalardan Mesozoyik karbonat platformlarına, Senozoyik kırıntılı sedimanlardan Kuvaterner alüvyal çökellerine kadar uzanan geniş litolojik çeşitlilik, farklı ayrışma süreçlerinin gelişmesine ve buna bağlı olarak birbirinden farklı pedolojik ortamların oluşmasına neden olmuştur (Atalay, 1994; Okay & Tüysüz, 1999; Göncüoğlu, 2010). Jeolojik çeşitlilikteki bu zenginlik, Batı Toroslar'ı yalnızca jeoloji açısından değil, aynı zamanda biyocoğrafya, orman ekolojisi ve koruma biyolojisi bakımından da Türkiye'nin en önemli araştırma alanlarından biri hâline

getirmiştir. Karbonatlı kayaçların baskın olduğu Akdeniz dağlarında gelişen karstik topoğrafya, ekolojik süreçlerin şekillenmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan karbonat platformları; dolinler, uvalalar, polye tabanları, lapyalar, düdenler ve derin kanyon sistemleri gibi çok sayıda karstik yer şeklinin oluşmasına olanak sağlamaktadır. Bu morfolojik çeşitlilik, suyun yüzey ve yeraltındaki dolaşımını kontrol ederek toprak nemini, drenaj koşullarını ve bitki gelişimini doğrudan etkilemektedir (Ford & Williams, 2007). Aynı zamanda karstik alanlarda görülen kısa mesafeli topografik değişimler, güneşlenme süresi, mikroklima ve toprak kalınlığı üzerinde önemli farklılıklar oluşturarak çok sayıda mikrohabitatın gelişmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle karbonatlı dağ sistemleri, Akdeniz Havzası'nda endemik bitki türlerinin en yoğun bulunduğu alanlar arasında yer almaktadır (Médail & Quézel, 1999; Blondel et al., 2010). Jeolojik yapı ile bitki örtüsü arasındaki ilişkinin açıklanmasında yalnızca litolojik farklılıklar yeterli değildir. Aynı litolojik birim üzerinde topoğrafya, yükselti, bakı ve hidrolojik süreçlerin etkisiyle farklı toprak özellikleri gelişebilmekte, bu durum da aynı kayaç üzerinde farklı bitki topluluklarının oluşmasına neden olabilmektedir. Özellikle dağ ekosistemlerinde yükseltiye bağlı sıcaklık azalması ve yağış artışı, ana materyalin etkisiyle birleşerek belirgin vejetasyon kuşakları oluşturmaktadır (Körner, 2007). Alçak yükseltilerde kuraklığa dayanıklı sklerofil maki toplulukları ve kızılçam ormanları hâkim olurken, orta yükseltilerde meşe toplulukları ve karışık ormanlar gelişmekte; daha yüksek kesimlerde sedir (*Cedrus libani*), karaçam (*Pinus nigra*), göknar (*Abies cilicica*) ve ardıç (*Juniperus spp.*) toplulukları baskın hâle gelmektedir (Atalay, 2018). Bu yükselti zonlaşması yalnızca iklimsel farklılıkların değil, aynı zamanda jeolojik altlık ve toprak gelişiminin ortak ürünüdür. Son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modelleri ve uzaktan algılama tekniklerinin gelişmesi, jeolojitoprak-bitki örtüsü ilişkilerinin nicel olarak değerlendirilmesine önemli katkılar sağlamıştır. Raster tabanlı mekânsal analizler, farklı tematik katmanların üst üste çakıştırılması yoluyla litolojik birimler ile toprak grupları, topraklar ile orman ekosistemleri veya jeolojik yaş ile arazi örtüsü arasındaki ilişkilerin yüksek doğrulukla analiz edilmesine olanak tanımaktadır (Burrough & McDonnell, 1998; Longley et al., 2015). Özellikle çok katmanlı CBS analizleri, çevresel değişkenlerin birbirleriyle olan etkileşimlerini yalnızca nitel olarak değil, aynı zamanda nicel ölçütlerle ortaya koyabilmektedir. Bu yaklaşım günümüzde peyzaj ekolojisi, koruma biyolojisi ve doğal kaynak planlamasında standart yöntemlerden biri hâline gelmiştir.

Literatür incelendiğinde jeoloji, toprak veya bitki örtüsü üzerine gerçekleştirilen araştırmaların büyük bölümünün bu bileşenleri bağımsız olarak

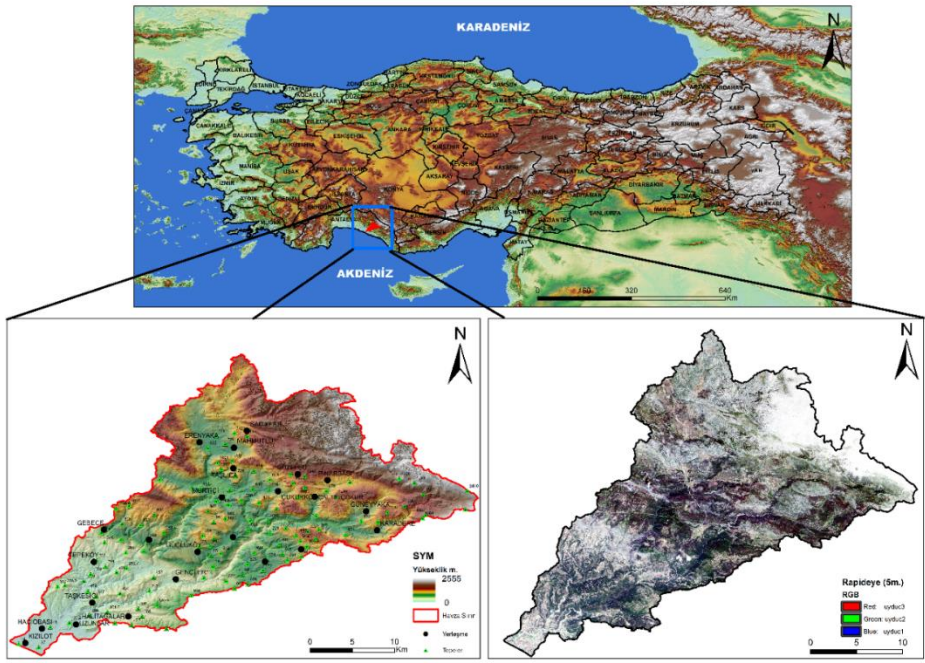
değerlendirdiği görülmektedir. Jeolojik haritalama çalışmaları daha çok litolojik dağılım ve tektonik özelliklere odaklanırken; pedolojik araştırmalar toprak sınıflandırması ve arazi kabiliyeti üzerine yoğunlaşmış; biyocoğrafik çalışmalar ise bitki topluluklarının floristik özelliklerini ve yükselti zonlaşmasını incelemiştir (Davis, 1965-1985; Atalay, 1994). Buna karşılık jeolojik yaş, litoloji, büyük toprak grupları, orman ekosistemleri ve arazi örtüsünü aynı CBS veri tabanı içerisinde bütünleşik olarak değerlendiren çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Özellikle Akdeniz dağ peyzajlarında jeolojik çeşitlilikten başlayarak litoloji, toprak oluşumu ve bitki örtüsüne kadar uzanan neden-sonuç ilişkilerinin nicel olarak ortaya konulduğu araştırmalar henüz yeterli değildir. Son yıllarda geodiversity kavramına olan ilginin artmasına rağmen, bu çalışmaların önemli bir bölümü Avrupa'nın kuzey kesimleri veya nemli iklim bölgeleri üzerinde yoğunlaşmış; Akdeniz dağ ekosistemleri ise görece daha az araştırılmıştır (Hjort et al., 2015; Alahuhta et al., 2020; Gordon et al., 2018). Türkiye'de de benzer bir durum söz konusudur. Toros Dağları'nın florası, orman ekosistemleri, jeolojisi ve toprak özellikleri üzerine çok sayıda değerli araştırma bulunmasına rağmen, bu bileşenlerin tamamını aynı mekânsal analiz yaklaşımı içerisinde değerlendiren çalışmalar oldukça azdır. Özellikle Batı Toroslar'da jeolojik çeşitliliğin bitki örtüsünün mekânsal organizasyonu üzerindeki etkisinin nicel olarak ortaya konulması, doğal kaynak yönetimi, ormancılık planlaması ve biyolojik çeşitliliğin korunması açısından önemli bir bilgi eksikliğini giderecektir. Bu eksiklik, koruma önceliklerinin belirlenmesinde yalnızca biyolojik verilerin değil, aynı zamanda jeolojik ve pedolojik çeşitliliğin de dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda Karpuzçay Havzası, söz konusu ilişkilerin araştırılması açısından son derece uygun bir doğal laboratuvar niteliğindedir. Havza, Akdeniz kıyısından Batı Toros Dağları'nın yüksek kesimlerine kadar uzanan yaklaşık 2500 m'yi aşan yükselti farkı, Paleozoik'ten Kuvaterner'e kadar farklı yaşlara ait kayaç toplulukları, yaygın karbonat platformları, genç alüvyal birimler, farklı büyük toprak grupları ve zengin orman ekosistemleri sayesinde kısa mesafelerde son derece yüksek çevresel heterojenlik sunmaktadır. Bunun yanında havza, kızılçam, sedir, karaçam, ardıç ve meşe topluluklarının yanı sıra maki formasyonları, riparyan bitki örtüsü ve kıyı ekosistemlerini birlikte barındırması nedeniyle Akdeniz biyocoğrafyasının karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. Son yıllarda turizm, tarım, madencilik, ulaşım yatırımları ve hidroelektrik projeleri gibi insan faaliyetlerinin artması ise havzanın doğal peyzajı üzerindeki baskıyı giderek artırmaktadır. Bu nedenle havzanın jeolojik yapı-toprak-bitki örtüsü ilişkilerinin ayrıntılı biçimde ortaya konulması yalnızca bilimsel açıdan değil, aynı zamanda sürdürülebilir arazi kullanım planlaması ve ekosistem temelli koruma stratejileri açısından da önemli katkılar sağlayacaktır.

Bu çalışmanın temel amacı, Karpuzçay Havzası'nda jeolojik yaş, litolojik özellikler, büyük toprak grupları ve bitki örtüsü arasındaki ilişkileri Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı mekânsal analizler kullanarak bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmektir. Bu kapsamda (i) jeolojik yaş gruplarının litolojik dağılımı, (ii) litolojinin toprak oluşumu üzerindeki etkisi, (iii) toprak gruplarının orman ekosistemleri ve arazi örtüsü ile ilişkisi ve (iv) bitki örtüsünün litolojik birimler üzerindeki mekânsal organizasyonu nicel olarak analiz edilmiştir. Böylece çalışma, Batı Toroslar'da jeolojik çeşitlilikten başlayarak toprak gelişimi ve bitki örtüsüne kadar uzanan ekolojik ilişkiler zincirini aynı veri tabanı içerisinde bütünlük olarak değerlendiren örneklerden biri olmayı amaçlamaktadır. Elde edilen bulguların, Akdeniz dağ ekosistemlerinde doğal kaynak yönetimi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve ekosistem temelli planlama çalışmalarına bilimsel altyapı sağlaması beklenmektedir.

2. Çalışma Sahası

Karpuzçay Havzası, Türkiye'nin güneybatısında, Antalya ili sınırları içerisinde, Batı Toros Dağları'nın güney yamaçları ile Akdeniz kıyısı arasında yer almaktadır (Şekil 1). Havza, yaklaşık 31°32'53"-32°02'46" doğu boylamları ile 36°42'09"-37°01'22" kuzey enlemleri arasında uzanmakta olup deniz seviyesinden yaklaşık 0-2550 m arasında değişen belirgin bir yükselti kuşağını kapsamaktadır. Havza; Manavgat, Alanya, Akseki, İbradı, Gündoğmuş ve kısmen Konya'nın Taşkent ilçeleri arasında yer almakta olup Akdeniz kıyısındaki Kızılot Mahallesi'nden başlayarak Batı Toros Dağları'nın yüksek kesimlerine kadar uzanmaktadır. Havzanın ana drenaj sistemini oluşturan Karpuzçay, kuzeydeki dağlık alanlarda farklı isimlerle (Uludere, Kapız Deresi, Çenger Çayı ve Karadere gibi) beslenerek güneye doğru akmakta ve Kızılot kıyısında Akdeniz'e dökülmektedir. Çok sayıda sürekli ve mevsimlik yan kol tarafından beslenen akarsu sistemi, derin vadiler boyunca uzanarak havzanın morfolojik gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Havza, Antalya Körfezi'nin doğusunda yer almakta olup batıda Manavgat Havzası, doğuda Alara Çayı Havzası ve kuzeyde Batı Toros Dağları ile çevrilidir. Karpuzçay Havzası, Akdeniz kıyı kuşağı ile Batı Toros Dağları arasında yer alan önemli bir geçiş alanı niteliğindedir. Kısa mesafelerde değişen yükselti basamakları, eğim ve bakı koşullarındaki farklılıklar, derin akarsu vadileri, karstik platolar ve yüksek dağlık alanlar havza içerisinde belirgin bir çevresel heterojenlik meydana getirmektedir. Topografyanın bu karmaşık yapısı, güneşlenme süresi, toprak nemi, yüzey akışı ve mikroklimatik koşullar üzerinde doğrudan etkili olarak çok sayıda farklı habitat tipinin gelişmesine olanak sağlamaktadır. İklim özellikleri yükseltiye bağlı olarak önemli değişimler göstermektedir. Kıyı kesimlerinde tipik Akdeniz

iklimi hâkim olup yıllık ortalama sıcaklık yaklaşık 18-19 °C civarındadır. Yükseltinin artmasıyla birlikte sıcaklıklar düzenli olarak azalmakta ve yüksek dağlık alanlarda yıllık ortalama sıcaklık 8 °C'nin altına düşmektedir (Sabancı, 2012). Buna karşılık yıllık yağış miktarı kıyı kuşağında yaklaşık 1100 mm iken yüksek kesimlerde 2400 mm'nin üzerine çıkmaktadır. Bu belirgin sıcaklık ve yağış gradyanı, havza içerisinde kıyı ekosistemlerinden yüksek dağ ekosistemlerine kadar uzanan farklı iklim kuşaklarının oluşmasını sağlamaktadır. Jeolojik açıdan Karpuzçay Havzası oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Havzada Paleozoik'ten Kuvaterner'e kadar farklı jeolojik yaşlara ait çok sayıda kayaç topluluğu yüzeylenmektedir. Özellikle karbonatlı kayaçlar (kireçtaşı ve dolomit), kumtaşı, şeyl, konglomera ve Kuvaterner yaşlı alüvyal birimler geniş alanlar kaplamaktadır. Karbonatlı kayaçların yaygınlığı nedeniyle karstik şekiller havza morfolojisinin karakteristik unsurlarını oluşturmakta; dolinler, uvalalar, polye benzeri düzlükler ve dar kanyon vadileri geniş yer kaplamaktadır. Farklı litolojik birimler üzerinde gelişen ayrışma süreçleri sonucunda Kırmızı Akdeniz Toprakları, Kahverengi Orman Toprakları, Rendzina, Kolüvyal ve Alüvyal topraklar gibi çeşitli toprak grupları gelişmiş olup bu durum bitki türlerinin dağılışı üzerinde önemli bir çevresel kontrol oluşturmaktadır (Sabancı, 2016). Çevresel koşullardaki bu çeşitlilik havzada oldukça zengin bir bitki örtüsü mozağının gelişmesini sağlamıştır. Kıyı kesimlerinde kıyı kumulları, sulak alanlar, maki formasyonu ve kızılçam (*Pinus brutia*) ormanları yaygın olarak görülmektedir. Orta yükseltilerde meşe (*Quercus spp.*) toplulukları ile karışık Akdeniz ormanları gelişirken, daha yüksek kesimlerde karaçam (*Pinus nigra*), sedir (*Cedrus libani*) ve ardıç (*Juniperus spp.*) toplulukları baskın hâle gelmektedir. Akarsu vadileri boyunca riparyan bitki toplulukları gelişmiş olup havza genelinde çok sayıda endemik ve nadir bitki türü bulunmaktadır. Bu habitat çeşitliliği, memeliler, kuşlar, sürüngenler, iki yaşamlılar ve omurgasızlar açısından da önemli yaşam alanları oluşturmaktadır. Son yıllarda kıyı turizmi, sera tarımı, taş ve mermer ocakları, ulaşım yatırımları, baraj ve hidroelektrik santral projeleri ile diğer arazi kullanım değişiklikleri havza üzerindeki insan kaynaklı baskıları artırmıştır. Bu faaliyetler özellikle kıyı kumulları, akarsu koridorları ve doğal orman ekosistemlerinde habitat parçalanmasına neden olmakta ve biyolojik çeşitlilik üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Buna karşın sahip olduğu jeolojik çeşitlilik, topografik heterojenlik, farklı toprak grupları ve zengin bitki örtüsü sayesinde Karpuzçay Havzası, Akdeniz dağ ekosistemlerinde jeoloji-toprak-bitki ilişkilerinin araştırılması açısından Türkiye'nin en önemli doğal laboratuvarlarından biri olma özelliğini korumaktadır (Şekil 1).



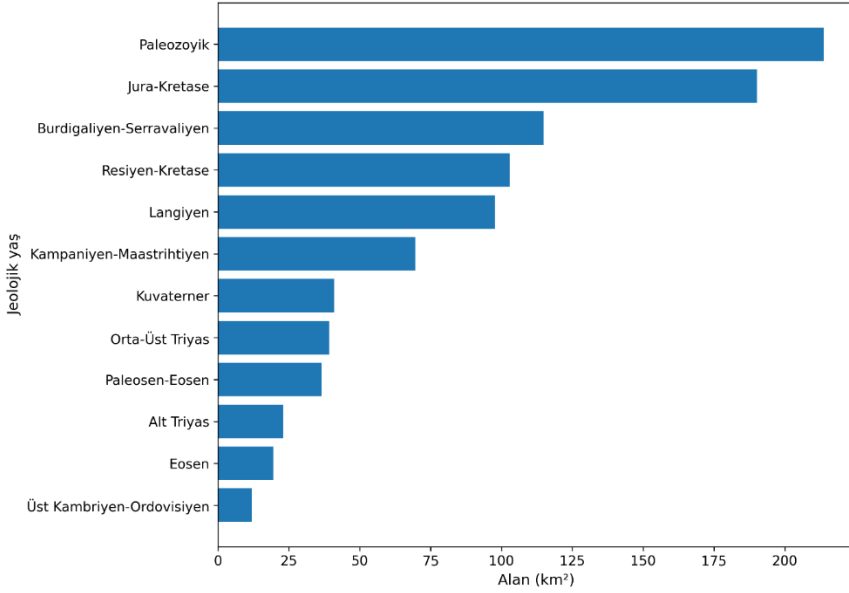
Şekil 1. Karpuzçay Havzası'nın konumu ve coğrafi özellikleri.

3. Bulgular

3.1. Jeolojik Yapı ve Litolojik Özellikler

Karpuzçay Havzası, Batı Toros Dağları'nın güney kesiminde yer alan ve jeolojik açıdan oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan önemli havzalardan biridir. Jeoloji haritası (Şekil 2), havzada Paleozoik'ten Kuvaterner'e kadar uzanan geniş bir jeolojik zaman aralığını temsil eden çok sayıda kayaç biriminin bulunduğunu göstermektedir. Bu durum, havzanın uzun jeolojik evrim süreci boyunca farklı çökme ortamları, tektonik hareketler ve aşınma süreçlerinin etkisi altında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Şekil 2 incelendiğinde, havzanın kuzey ve kuzeydoğu kesimlerinde Jura-Kretase yaşlı karbonatlı kayaçların geniş alanlar kapladığı görülmektedir. Bu birimler özellikle yüksek dağlık alanlarda yaygın olup karstik topografyanın geliştiği başlıca sahaları oluşturmaktadır. Orta kesimlerde Triyas yaşlı karbonatlı ve kırıntılı kayaçlar mozaik bir dağılış sergilerken, batı ve güneybatı kesimlerinde Neojen yaşlı sedimanter birimler yaygınlaşmaktadır. Akarsu vadileri boyunca Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, kıyı kesiminde ise kıyı kumulları ve plaj çöelleri gözlenmektedir. Havza genelinde faylarla parçalanmış karmaşık jeolojik yapı, litolojik çeşitliliği artırarak topografik ve ekolojik heterojenliği önemli ölçüde güçlendirmektedir. Jeoloji haritası aynı zamanda karbonatlı kayaçların havzada baskın olduğunu açıkça

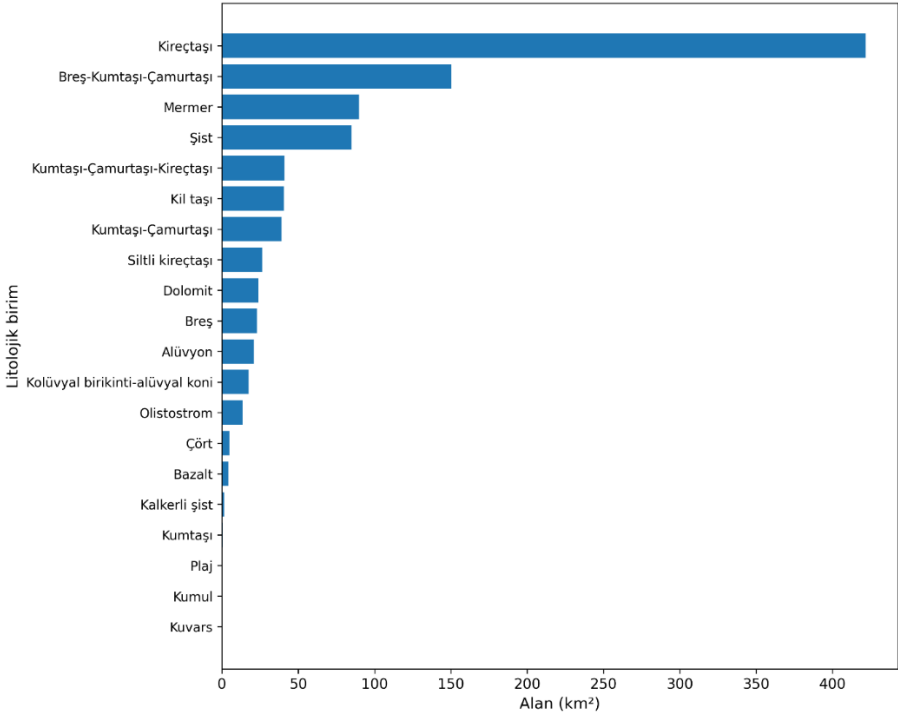
çok havzanın orta ve güney kesimlerinde yer almaktadır. Kuvaterner yaşlı birimler ise yaklaşık 41 km² alan kaplamakta olup toplam havza alanının nispeten küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu birimler büyük ölçüde Karpuzçay vadisi boyunca gelişen alüvyal düzlükler ile kıyı kesimindeki plaj ve kumul alanlarında yoğunlaşmaktadır. Dolayısıyla havzanın jeolojik yapısı esas olarak Paleozoik ve Mesozoyik yaşlı temel kayalardan oluşmakta, genç çökeller ise yalnızca sınırlı alanlarda görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Jeolojik yaş gruplarının alansal dağılımı.

3.1.2. Litolojik Birimlerin Dağılışı

Litolojik dağılım incelendiğinde havzada oldukça yüksek bir kayaç çeşitliliğinin bulunduğu görülmektedir (Şekil 4).

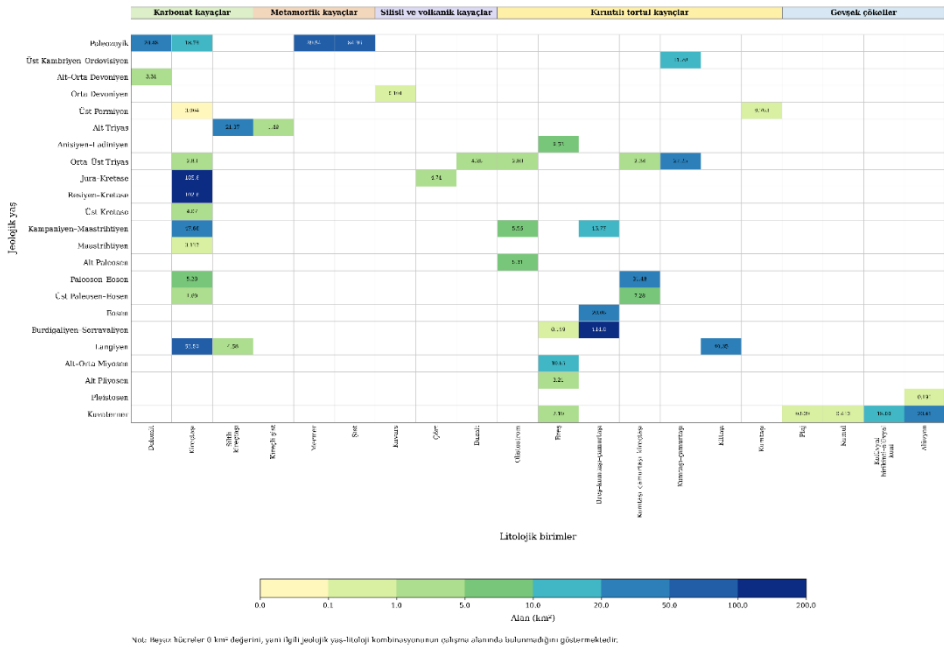


Şekil 4. Litolojik birimlerin alansal dağılımı.

Toplam alan bakımından en yaygın litolojik birim yaklaşık 421.9 km² ile kireçtaşıdır. Bu değer, karbonatlı kayaçların havza jeolojisindeki baskın konumunu açıkça göstermektedir. Kireçtaşlarını sırasıyla breş-kumtaşı-çamurtaşı (150.3 km²), mermer (89.7 km²), şist (84.7 km²), kiltası (40.4 km²) ve kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı (40.9 km²) birlikleri izlemektedir. Dolomit, siltli kireçtaşı, alüvyon, breş ve kolüvyal birikintiler ise daha sınırlı alanlarda yayılmış göstermektedir. Karbonatlı kayaçların baskınlığı havzada karstik topoğrafyanın gelişmesini desteklemiş; dolinler, lapyalar, düdenler ve kanyon vadileri gibi karakteristik karst şekillerinin oluşmasına olanak sağlamıştır. Buna karşılık kırıntılı sedimanter kayaçların yaygın olduğu alanlarda daha kalın toprak profilleri gelişmiş olup bitki gelişimi açısından farklı ekolojik koşullar ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar, litolojik çeşitliliğin yalnızca jeomorfolojik süreçleri değil, aynı zamanda toprak oluşumu ve bitki topluluklarının mekânsal dağılışını da doğrudan etkileyen temel çevresel faktörlerden biri olduğunu göstermektedir.

3.1.3. Jeolojik Yaş-Litoloji İlişkisi

Jeolojik yaş ile litolojik birimler arasındaki ilişki incelendiğinde belirli yaş gruplarının karakteristik kayaç birlikleriyle temsil edildiği görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Jeolojik yaş ile litolojik birimler arasındaki alansal ilişki matrisi.

Paleozoik yaşı birimler ağırlıklı olarak mermer, şist, dolomit ve kireçtaşlarından oluşurken, Jura-Kretase ve Resiyen-Kretase yaşı formasyonlarda kireçtaşı belirgin biçimde baskındır. Burdigaliyen-Serravaliyen yaşı birimler ise büyük ölçüde breş-kumtaşı-çamurtaşı birliklerinden meydana gelmektedir. Triyas yaşı kayalar, karbonatlı kayalarla birlikte kumtaşı ve çamurtaşı aralanmalarını içeren daha karmaşık bir litolojik yapı sergilemektedir. Kuvaterner yaşı birimler ise başlıca alüvyon, kolüvyal birikintiler, plaj ve kumul çökellerinden oluşmaktadır. Bu dağılışı, jeolojik yaş ile litolojik özellikler arasında güçlü bir ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 5'te sunulan ilişki matrisi, karbonatlı kayaların özellikle Paleozoik ve Mesozoyik yaşı formasyonlarda yoğunlaştığını, genç Kuvaterner birimlerinin ise gevşek sedimanlardan oluştuğunu açıkça göstermektedir. Bu durum, havzada gözlenen toprak çeşitliliği ve bitki örtüsü farklılaşmasının jeolojik temelini oluşturmaktadır. Nitekim karbonatlı kayalar üzerinde gelişen Rendzina ve Kırmızı Akdeniz Toprakları ile alüvyal çökeller üzerinde gelişen derin profilli alüvyal topraklar farklı bitki topluluklarının gelişmesine olanak sağlamaktadır.

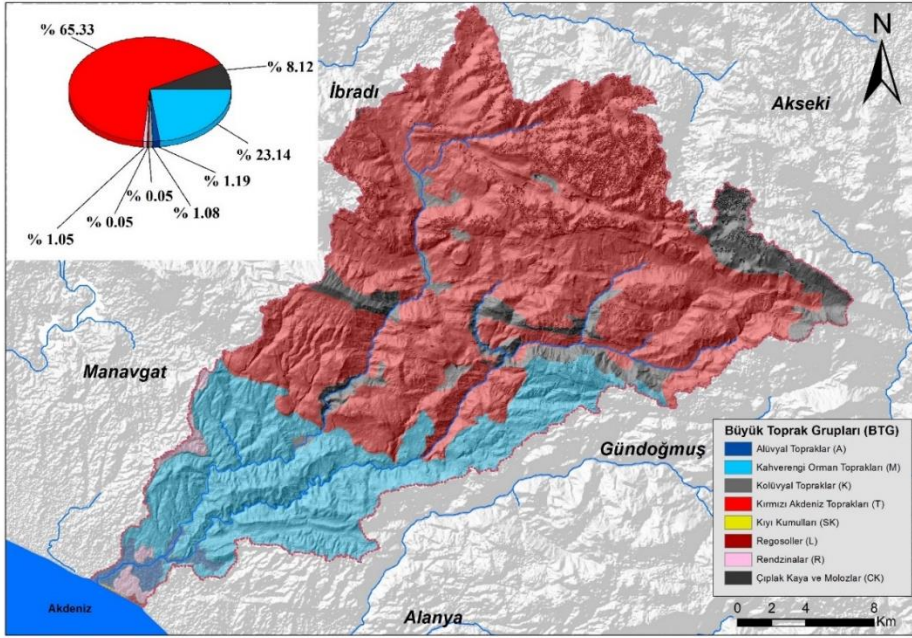
Bu nedenle jeolojik yaş ve litolojik yapı, havzadaki ekolojik örüntünün şekillenmesinde belirleyici çevresel faktörler arasında yer almaktadır.

3.2. Toprak Özellikleri

Karpuzçay Havzası'nın toprak özellikleri; ana kaya, jeolojik yaş, topoğrafya, iklim, bitki örtüsü ve akarsu süreçlerinin birlikte etkisiyle şekillenmiştir. Havzada kıyı kesimlerinden Batı Torosların yüksek dağlık alanlarına kadar uzanan belirgin yükselti farklılıkları, toprak oluşum süreçlerinin mekânsal olarak çeşitlenmesine neden olmuştur. Bu nedenle havzada hem Akdeniz ikliminin karakteristik zonal toprakları hem de genç alüvyal, kolüvyal ve sığ topraklar birlikte bulunmaktadır (Atalay, 2011). Toprak gruplarının dağılışı aynı zamanda orman ekosistemlerinin, arazi kullanımının ve biyolojik çeşitliliğin belirlenmesinde temel çevresel faktörlerden biridir (Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü [SYGM], 2024).

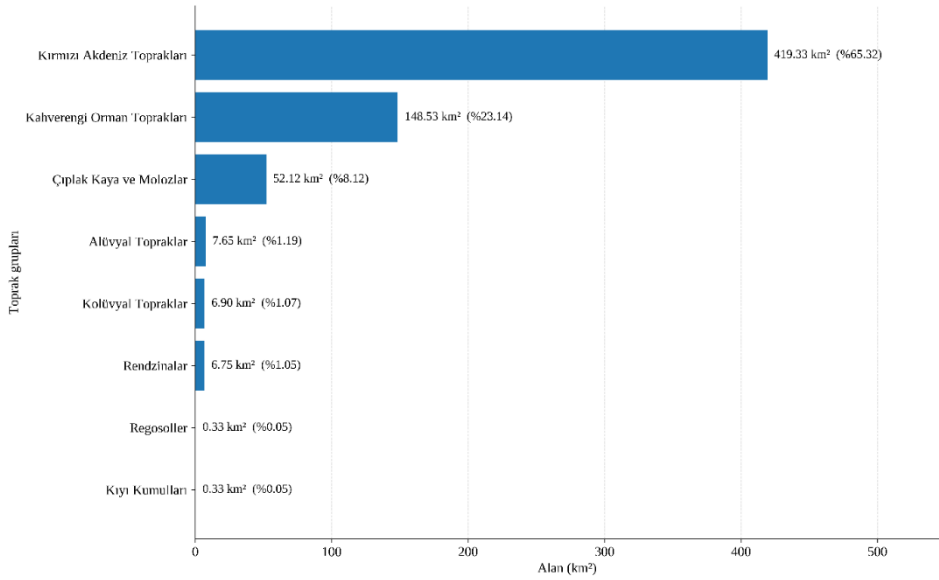
3.2.1. Toprak Gruplarının Mekânsal ve Alansal Dağılışı

Karpuzçay Havzasında sekiz farklı büyük toprak grubu belirlenmiştir (Şekil 6). Toprakların dağılışı incelendiğinde havzanın büyük bölümünün Kırmızı Akdeniz Toprakları tarafından kaplandığı görülmektedir. Bu topraklar özellikle orta ve kuzey kesimlerde geniş alanlara yayılmakta olup karbonatlı ana kaya üzerinde gelişmiş tipik Akdeniz zonal topraklarını temsil etmektedir. Güney ve güneybatı kesimlerde ise yükseltinin arttığı dağlık alanlarda Kahverengi Orman Toprakları yaygınlaşmaktadır. Akarsu vadileri boyunca Alüvyal Topraklar, yamaç eteklerinde Kolüvyal Topraklar, yüksek eğimli kayalık alanlarda ise Çıplak Kaya ve Molozlar ile yer yer Rendzinalar ve Regosoller görülmektedir. Kıyı Kumulları yalnızca Akdeniz kıyısındaki dar kıyı şeridinde sınırlı bir yayılım göstermektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı [TOB], 2026).



Şekil 6. Karpuzçay Havzası büyük toprak gruplarının mekânsal dağılışı.

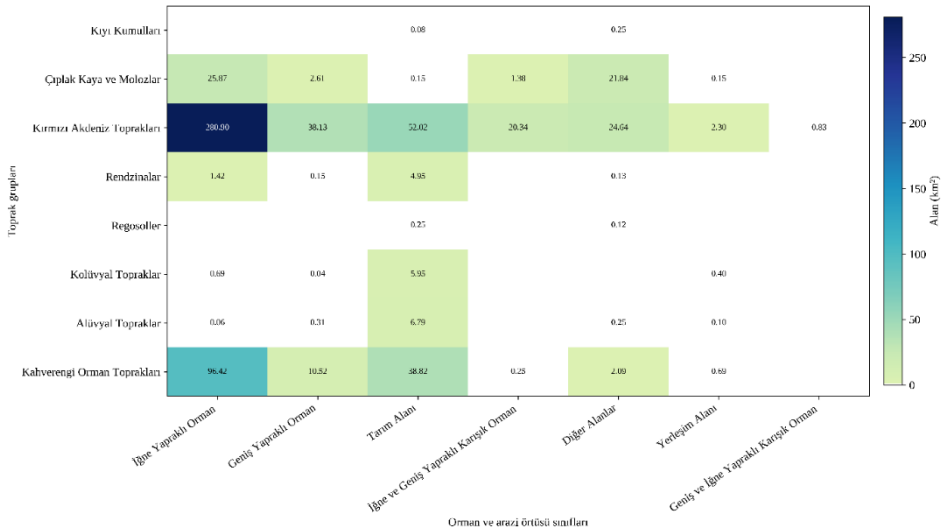
Toprak gruplarının alan dağılımı incelendiğinde Kırmızı Akdeniz Topraklarının 419.33 km² ile havzanın %65.32'sini oluşturduğu görülmektedir (Şekil 7). İkinci sırada 148.53 km² (%23.14) ile Kahverengi Orman Toprakları yer almaktadır. Çıplak Kaya ve Molozlar 52.12 km² (%8.12) alan kaplarken; Alüvyal Topraklar 7.65 km² (%1.19), Kolüvyal Topraklar 6.90 km² (%1.07) ve Rendzinalar 6.75 km² (%1.05) ile daha sınırlı alanlarda bulunmaktadır. Regosoller ve Kıyı Kumulları ise yaklaşık 0.33 km² (%0.05) ile havzanın en küçük toprak gruplarını oluşturmaktadır. Bu dağılışı, havzanın büyük bölümünün Akdeniz iklim koşullarında gelişmiş olgun zonal topraklardan oluştuğunu; genç taşınmış topraklar ile kıyı ve kayalık alanların ise oldukça sınırlı alan kapladığını göstermektedir.



Şekil 7. Karpuzçay Havzasında büyük toprak gruplarının alan ve yüzde dağılımı.

3.2.2. Toprak Grupları ile Orman ve Arazi Örtüsü İlişkisi

Toprak grupları ile orman ve arazi örtüsü sınıfları arasındaki ilişki incelendiğinde, havzadaki doğal bitki örtüsünün büyük ölçüde Kırmızı Akdeniz Toprakları ve Kahverengi Orman Toprakları üzerinde geliştiği görülmektedir (Şekil 8).

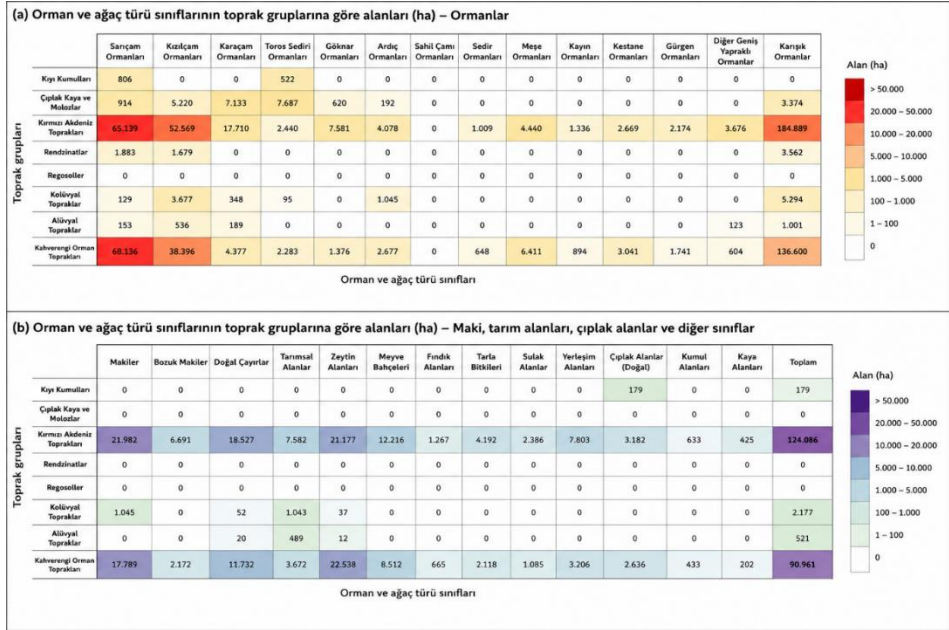


Şekil 8. Karpuzçay Havzasında toprak grupları ile orman ve arazi örtüsü sınıfları arasındaki ilişki.

Özellikle iğne yapraklı ormanlar Kırmızı Akdeniz Toprakları üzerinde 280.90 km², Kahverengi Orman Toprakları üzerinde ise 96.42 km² alan kaplamaktadır. Bu durum, söz konusu toprakların kıvılcım başta olmak üzere Akdeniz orman ekosistemlerinin gelişimi açısından temel pedolojik ortamı oluşturduğunu göstermektedir. Tarım alanları en fazla Kırmızı Akdeniz Toprakları (52.02 km²) üzerinde bulunurken, Kahverengi Orman Toprakları (38.82 km²) ikinci sırada yer almaktadır. Bunun yanında Alüvyal, Kolüvyal ve Rendzina topraklarında tarımsal faaliyetlerin yoğunlaşması, bu toprakların akarsu vadileri ve eğim kırıklarının bulunduğu daha elverişli alanlarda gelişmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Çıplak Kaya ve Molozlar üzerinde de önemli miktarda iğne yapraklı orman (25.87 km²) bulunmasına rağmen, bu alanlarda kayalık ve taşlık yüzeylerin yaygınlığı nedeniyle orman örtüsü parçalı bir karakter göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, havzadaki doğal ormanların büyük bölümü Kırmızı Akdeniz Toprakları üzerinde gelişmiş olup, arazi kullanım desenleri ile toprak özellikleri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır.

3.2.3. Toprak Grupları ile Orman ve Vejetasyon Sınıfları Arasındaki İlişki

Toprak grupları ile orman ve diğer arazi örtüsü sınıfları arasındaki ilişki incelendiğinde, havzadaki bitki örtüsünün dağılışının büyük ölçüde toprak özellikleri tarafından kontrol edildiği görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Toprak grupları ile orman ve diğer arazi örtüsü sınıfları arasındaki ilişki: (a) Orman ve ağaç türlerinin toprak gruplarına göre dağılımı (ha), (b) Maki, tarım alanları, doğal açıklıklar ve diğer arazi örtüsü sınıflarının toprak gruplarına göre dağılımı (ha).

Analizin daha anlaşılır sunulabilmesi amacıyla orman ekosistemleri ile diğer arazi örtüsü sınıfları iki ayrı panel halinde değerlendirilmiştir. Şekil 9a orman ve ağaç türlerini, Şekil 9b ise maki, tarım alanları, doğal açıklıklar ve diğer arazi örtüsü sınıflarını göstermektedir. Şekil 9a'ya göre orman ekosistemlerinin en geniş yayılış gösterdiği toprak grupları Kahverengi Orman Toprakları ile Kırmızı Akdeniz Topraklarıdır. Kahverengi Orman Toprakları üzerinde özellikle Sarıçam Ormanları (68.136 ha), Kızılçam Ormanları (38.396 ha), Meşe Ormanları (6.411 ha) ve Karışık Ormanlar (136.600 ha) geniş alanlar kaplamaktadır. Benzer şekilde Kırmızı Akdeniz Toprakları üzerinde Sarıçam Ormanları (65.139 ha), Kızılçam Ormanları (52.569 ha), Karaçam Ormanları (17.710 ha) ve özellikle Karışık Ormanlar (184.889 ha) yoğunlaşmaktadır. Bu iki toprak grubunun toplam orman alanının büyük bölümünü oluşturması, havzanın doğal orman ekosistemlerinin gelişimi açısından en uygun pedolojik koşulları sunduğunu göstermektedir. Buna karşılık Kolüvyal, Alüvyal, Rendzinalar, Çıplak Kaya ve Molozlar ile Kıyı Kumulları üzerinde orman alanları daha sınırlıdır. Bu gruplarda daha çok parçalı ve lokal yayılış gösteren orman toplulukları bulunmaktadır. Özellikle Çıplak Kaya ve Molozlar üzerinde karaçam, sedir ve kızılçamın yer yer gelişebilmesi,

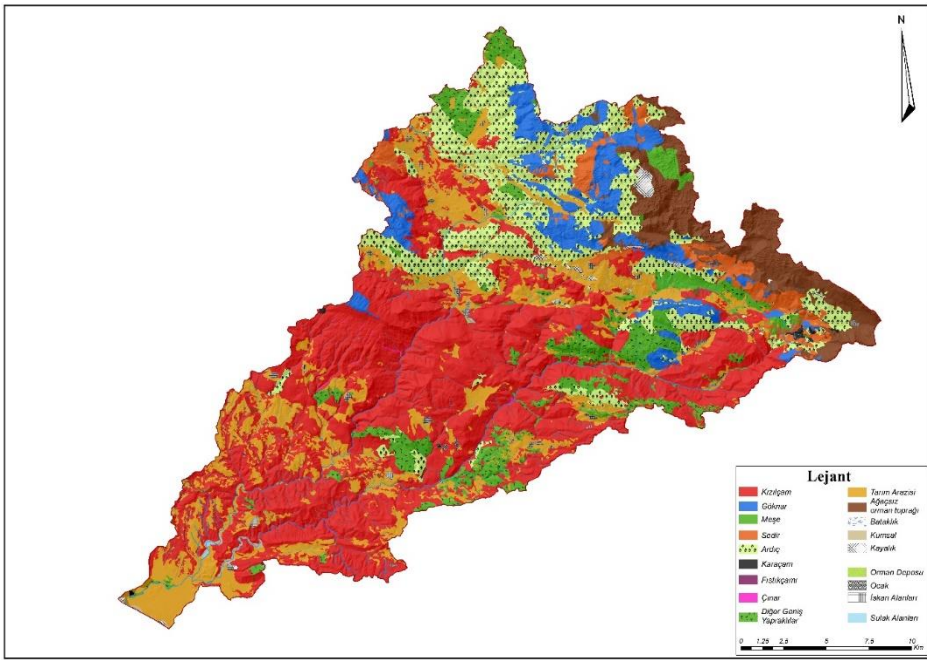
topografik ve litolojik koşulların etkisini ortaya koymaktadır. Şekil 9b, orman dışındaki arazi örtüsü sınıflarının dağılışını göstermektedir. Bu panel incelendiğinde Makiler, Zeytin Alanları, Doğal Çayırlar, Meyve Bahçeleri, Yerleşim Alanları ve Tarımsal Alanların büyük ölçüde Kırmızı Akdeniz Toprakları ile Kahverengi Orman Toprakları üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Kırmızı Akdeniz Topraklarında makilik alanlar 21.982 ha, zeytin alanları 21.177 ha, doğal çayırlar 18.527 ha ve meyve bahçeleri 12.216 ha büyüklüğe ulaşmaktadır. Kahverengi Orman Topraklarında ise zeytin alanları 22.538 ha, makilik alanlar 17.789 ha, doğal çayırlar 11.732 ha ve meyve bahçeleri 8.512 ha ile önemli yer tutmaktadır. Bu dağılış, her iki toprak grubunun yalnızca doğal ormanlar için değil, aynı zamanda tarımsal faaliyetler ve Akdeniz maki formasyonlarının gelişimi açısından da oldukça elverişli olduğunu göstermektedir. Kolüvyal ve Alüvyal Topraklar üzerinde ise daha çok tarımsal kullanım ön plana çıkmaktadır. Özellikle tarımsal alanlar ve bazı bahçe tarımı sınıfları bu toprak gruplarında yoğunlaşırken, kıyı kumulları doğal kumul alanları ve sınırlı bitki örtüsü ile temsil edilmektedir. Regosoller ise havzada oldukça dar alan kapladığından hem orman hem de diğer arazi örtüsü sınıflarında belirgin bir yayılış göstermemektedir. Havzadaki orman ve diğer vejetasyon tiplerinin dağılışı büyük ölçüde toprak özellikleriyle uyumludur. Kırmızı Akdeniz Toprakları ile Kahverengi Orman Toprakları, hem doğal ormanların hem de maki ve tarımsal alanların en yoğun geliştiği toprak grupları olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık alüvyal, kolüvyal, rendzina ve çıplak kaya alanları daha sınırlı ve özel ekolojik koşullar sunmakta olup, bu durum arazi kullanım deseninin ve bitki örtüsünün mekânsal dağılışını doğrudan şekillendirmektedir.

3.3. Bitki Örtüsü ve Meşcere Özellikleri

3.3.1. Bitki Örtüsünün Mekânsal Dağılışı

Karpuzçay Havzası, Akdeniz kıyı kuşağından Batı Toroslar'ın yüksek kesimlerine kadar uzanan belirgin yükselti farklılıkları nedeniyle oldukça zengin bir bitki örtüsü çeşitliliğine sahiptir (Şekil 10). Havzada bitki örtüsünün dağılışı; yükselti, eğim, bakı, litolojik özellikler, toprak grupları ve iklim koşullarının ortak etkisiyle şekillenmektedir. Deniz seviyesine yakın kıyı kesimlerinde maki toplulukları ve tarım alanları yaygın olarak görülürken, orta yükseltilerde kızılçam ormanları baskın durumdadır. Yükseltinin artmasına bağlı olarak sedir, göknar, karaçam ve ardıç toplulukları giderek genişlemekte, en yüksek kesimlerde ise kayalık alanlar ile seyrek orman örtüsü hâkim olmaktadır (Orman Genel Müdürlüğü (OGM, 2025)). Şekil 10 incelendiğinde havzanın özellikle güney ve güneybatı kesimlerinin geniş ölçüde kızılçam ormanları ile kaplı olduğu görülmektedir. Kızılçam toplulukları havzanın en geniş yayılış gösteren doğal

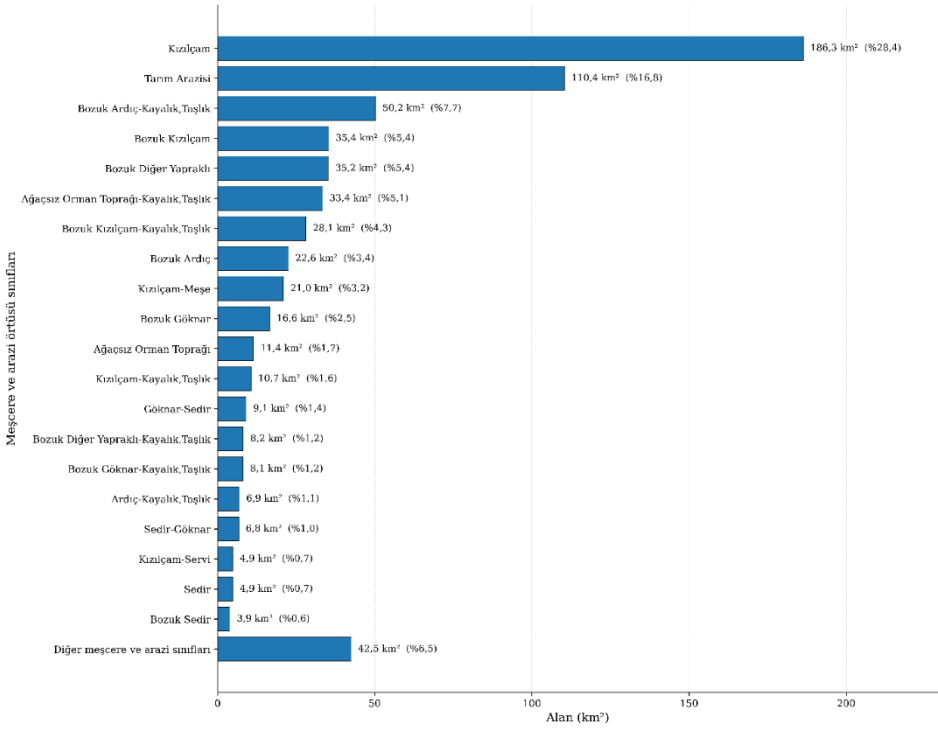
orman formasyonunu oluşturmakta ve özellikle düşük ile orta yükselti kuşağında süreklilik göstermektedir. Buna karşılık kuzey ve kuzeydoğu kesimlerde yükseltinin artmasına bağlı olarak sedir, göknar, karaçam ve ardıç ormanlarının yayılışı belirgin şekilde artmaktadır. Bu dağılış, Akdeniz ikliminden dağ iklimine geçişi yansıtın karakteristik bir yükselti zonlaşmasını ortaya koymaktadır. Orman ekosistemleri dışında maki toplulukları, tarım alanları, kayalık sahalar, çıplak orman toprakları, kumul alanları, sulak alanlar ve yerleşim alanları havzanın farklı bölümlerinde mozaik bir yapı oluşturmaktadır. Özellikle vadi tabanları ve kıyı ovasında tarımsal kullanım yoğunlaşırken, yüksek eğimli yamaçlarda doğal orman örtüsü korunmuş durumdadır.



şekil 10. Çalışma sahasının meşcere haritası

3.3.2. Meşcere Tiplerinin Alansal Dağılışı

Meşcere tiplerinin alansal dağılımı, havzada doğal orman ekosistemlerinin açık bir üstünlüğe sahip olduğunu göstermektedir (şekil 11).

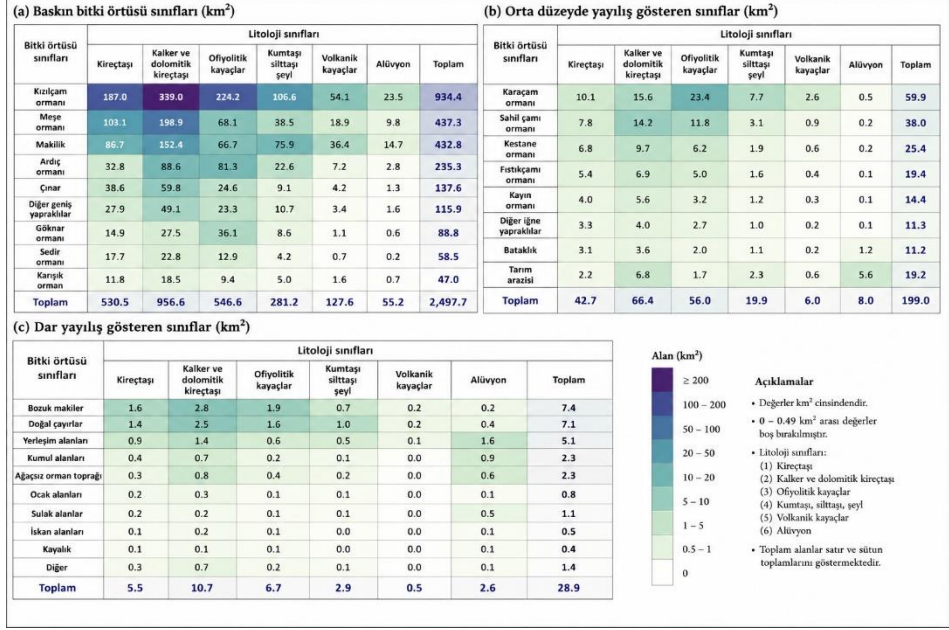


Şekil 11. Karpuzçay Havzası'ndaki meşcere ve arazi örtüsü sınıflarının alan (km²) ve toplam alan içerisindeki yüzde dağılımı.

Analiz sonuçlarına göre en geniş alanı Kızılçam meşcereleri oluşturmaktadır. Bunu tarım alanları, bozuk kızılçam, bozuk diğer yapraklı ormanlar, bozuk ardıç ve ağaçsız orman toprakları izlemektedir. Bu durum, havzanın büyük bölümünün doğal Akdeniz ormanları tarafından kaplandığını, ancak insan faaliyetleri ve topografik koşullar nedeniyle yer yer bozuk meşcere alanlarının da önemli büyüklüklere ulaştığını göstermektedir. Yüksek dağlık alanlarda gökmar, sedir ve ardıç meşcereleri daha sınırlı alanlarda yayılım göstermektedir. Buna karşılık fıstık çamı, çınar ve bazı karışık meşcere tipleri oldukça küçük alanlar kaplamakta olup çoğunlukla lokal ekolojik koşullar altında gelişmektedir. Tarım alanları ise özellikle havzanın alçak kesimleri ile alüvyal düzlüklerde yoğunlaşarak doğal bitki örtüsü üzerinde önemli bir arazi kullanım baskısı oluşturmaktadır. Meşcere dağılımı genel olarak değerlendirildiğinde, havzanın doğal orman karakterini büyük ölçüde koruduğu, ancak bozuk meşcereler ve tarımsal kullanım alanlarının da önemli bir mekânsal paya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum geçmiş arazi kullanım değişimleri, ormancılık faaliyetleri ve topoğrafik koşulların birlikte etkili olduğunu göstermektedir.

3.3.3. Bitki Örtüsü ile Litoloji Arasındaki İlişki

Bitki örtüsünün litolojik birimlere göre dağılımı incelendiğinde, jeolojik altlığın meşcere kompozisyonu üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Bitki örtüsü ile litolojik birimler arasındaki ilişki: (a) baskın meşcere ve arazi örtüsü sınıfları, (b) orta büyüklükte yayılış gösteren sınıflar ve (c) dar yayılışlı sınıflar. Hücrelerde litolojik birimler üzerinde bulunan alanlar (km²) gösterilmektedir.

Litolojik birimlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri; toprak oluşumu, su tutma kapasitesi, drenaj koşulları ve besin elementi içeriğini doğrudan etkileyerek farklı bitki topluluklarının gelişimini yönlendirmektedir. Analizin daha okunabilir biçimde sunulabilmesi amacıyla meşcere sınıfları yayılış büyüklüklerine göre üç panel hâlinde değerlendirilmiştir. Şekil 12a baskın meşcere ve arazi örtüsü sınıflarını, Şekil 12b orta büyüklükte alan kaplayan sınıfları, Şekil 12c ise daha dar yayılışa sahip sınıfları göstermektedir. Şekil 12a incelendiğinde kızılçam, tarım alanları, bozuk kızılçam, bozuk diğer yapraklılar ve ağaçsız orman topraklarının en geniş yayılışı özellikle kireçtaşı, kalker-dolomitik kireçtaşı ve kumtaşı-silttaşı-şeyl birimleri üzerinde göstermektedir. Bu litolojiler havzanın geniş bir bölümünü oluşturduğundan hem doğal ormanların hem de insan kullanımına açılmış alanların gelişiminde temel jeolojik ortamı oluşturmaktadır.

Şekil 12b'de yer alan göknar, sedir, karaçam, sahil çamı, kestane ve diğer ikincil meşcere tiplerinin ise özellikle karbonatlı kayalar ile yüksek dağlık alanlarda yayılış gösteren litolojik birimler üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, yükselti ve litolojinin birlikte etkili olduğu dağlık ekosistemleri yansıtmaktadır. Şekil 12c'de gösterilen daha küçük alanlı arazi örtüsü sınıfları; bataklıklar, kumullar, yerleşim alanları, ocak sahaları, sulak alanlar ve benzeri sınıflardan oluşmaktadır. Bu sınıflar belirli litolojik ortamlarda lokal olarak gelişmekte olup havzanın genel bitki örtüsü desenini belirleyecek büyüklükte değildir. Bununla birlikte bu alanlar biyolojik çeşitlilik, habitat sürekliliği ve arazi kullanım planlaması açısından önemli tamamlayıcı unsurlar oluşturmaktadır. Karpuzçay Havzası'nda bitki örtüsünün mekânsal dağılışı yalnızca iklim ve yükseltiye bağlı olmayıp, litolojik yapı ve buna bağlı gelişen toprak özellikleri tarafından da güçlü biçimde kontrol edilmektedir. Özellikle karbonatlı kayaların yaygın olduğu kesimlerde kızılçam başta olmak üzere doğal Akdeniz ormanlarının baskın hâle geldiği, yüksek dağlık alanlarda ise sedir, göknar, karaçam ve ardıç topluluklarının öne çıktığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, jeoloji-toprak-bitki örtüsü arasındaki güçlü ekolojik ilişkinin havzanın doğal peyzajını şekillendiren temel faktörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır.

3.4. Jeoloji-Toprak-Bitki Örtüsü Etkileşimi ve Peyzajın Oluşumu

Karpuzçay Havzası'nın doğal peyzajı, jeolojik yapı, litolojik özellikler, toprak oluşumu ve bitki örtüsü arasındaki karşılıklı etkileşim sonucunda şekillenmiştir. Havzada gözlenen ekolojik farklılıklar yalnızca iklim koşullarıyla açıklanamaz; ana kayanın fiziksel ve kimyasal özellikleri, ayrışma süreçleri, topoğrafya ve bunlara bağlı gelişen toprak özellikleri birlikte değerlendirilmelidir. Bu nedenle havza, jeomorfolojik süreçler ile biyotik unsurlar arasındaki ilişkinin açık biçimde gözlenebildiği tipik Akdeniz dağ havzalarından biridir. Jeolojik yapı, havzada gelişen toprak tiplerini doğrudan kontrol etmektedir. Geniş alan kaplayan kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları ve diğer karbonatlı kayalar üzerinde çoğunlukla Kırmızı Akdeniz Toprakları ile Kahverengi Orman Toprakları gelişmiştir. Karbonatlı kayaların çatlaklı yapısı, yağış sularının infiltrasyonunu artırırken fiziksel ayrışma süreçleriyle birlikte orta derinlikte toprakların oluşmasına olanak sağlamaktadır. Buna karşılık alüvyonlar üzerinde genç alüvyal topraklar, kolüvyal birikimler üzerinde ise kolüvyal topraklar gelişmiş; dik yamaçlarda ise toprak gelişiminin sınırlı kalmasına bağlı olarak çıplak kaya ve moloz alanları yaygınlaşmıştır. Toprak özelliklerindeki bu farklılaşma, bitki örtüsünün mekânsal dağılışını belirleyen en önemli çevresel etmenlerden biridir. Kırmızı Akdeniz Toprakları, havzanın düşük ve orta yükseltilerinde geniş alan kaplamakta ve özellikle kızılçam ormanlarının gelişimi için uygun ortam

oluşturmaktadır. Aynı toprak grubu üzerinde maki formasyonları, zeytinlikler ve diğer Akdeniz bitki topluluklarının yoğunlaşması, bu toprakların sıcak ve kurak yaz koşullarına uyum sağlamış türler için elverişli olduğunu göstermektedir. Kahverengi Orman Toprakları ise daha yüksek yükseltilerde sedir, göknar, karaçam ve meşe topluluklarının geliştiği alanlarla çakışmaktadır. Böylece yükseltiye bağlı iklim değişimi ile toprak özellikleri birlikte etkili olarak belirgin bir vejetasyon zonlaşması oluşturmaktadır. Bitki örtüsü ile litoloji arasındaki ilişkiler de bu ekolojik bütünlüğü desteklemektedir. Litolojik birimlerin mineralojik bileşimi, ayrışma hızları ve su tutma özellikleri farklı olduğundan, aynı iklim koşulları altında dahi farklı bitki toplulukları gelişebilmektedir. Özellikle karbonatlı kayalar üzerinde gelişen doğal ormanlar havzanın baskın ekosistemlerini oluştururken, alüvyal düzlüklerde tarımsal faaliyetler ön plana çıkmaktadır. Dik eğimli ve sık topraklı alanlarda ise ardıç, bozuk orman toplulukları ve kayalık habitatlar daha yaygındır. Bu durum, litolojinin yalnızca toprak oluşumunu değil, dolaylı olarak bitki örtüsünün bileşimini ve arazi kullanım desenini de yönlendirdiğini göstermektedir. Topografya da bu ilişkiler zincirinde belirleyici bir rol üstlenmektedir. Havzanın kıyı kesimlerinden Batı Toroslar'ın yüksek kesimlerine doğru yükseltinin artmasıyla birlikte sıcaklık azalmakta, yağış miktarı yükselmekte ve buna bağlı olarak hem toprak gelişimi hem de bitki örtüsü önemli değişimler göstermektedir. Güney kesimlerde kızılçam ormanları ve Akdeniz makisi baskın iken, orta kuşakta sedir ve karaçam toplulukları yaygınlaşmakta, daha yüksek alanlarda ise göknar ve ardıç birlikleri öne çıkmaktadır. Bu yükselti zonlaşması, Akdeniz dağ ekosistemlerinin karakteristik bir özelliğini yansıtmaktadır. Arazi kullanım biçimleri de doğal çevre koşullarıyla büyük ölçüde uyumludur. Tarımsal faaliyetler daha çok alüvyal ovalar, vadi tabanları ve eğimin düşük olduğu kesimlerde yoğunlaşırken, doğal ormanlar eğimli ve yüksek alanlarda korunmuştur. Yerleşim alanları ile ulaşım ağları da benzer şekilde topografyanın elverişli olduğu düşük eğimli sahalarda gelişmiştir. Buna karşılık kayalık alanlar, çıplak orman toprakları ve yüksek dağlık kesimler doğal karakterlerini büyük ölçüde koruyarak biyolojik çeşitlilik açısından önemli habitatlar oluşturmaktadır. Karpuzçay Havzası'nda gözlenen doğal peyzaj, jeolojik yapı → litoloji → toprak oluşumu → bitki örtüsü → arazi kullanımı şeklinde birbirini izleyen ve karşılıklı etkileşim içinde bulunan doğal süreçlerin ürünüdür. Havzanın günümüzdeki ekolojik yapısı yalnızca tek bir çevresel faktörün sonucu olmayıp, jeolojik miras ile iklim, topoğrafya ve biyolojik süreçlerin uzun dönemli etkileşiminin bir sonucudur. Bu nedenle havzanın sürdürülebilir yönetiminde jeoloji, toprak ve bitki örtüsünün birlikte değerlendirilmesi; ormancılık, arazi kullanım planlaması ve biyolojik çeşitliliğin

korunmasına yönelik uygulamalarda bütüncül bir yaklaşım benimsenmesi büyük önem taşımaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Batı Toroslar içerisinde yer alan Karpuzçay Havzası'nın jeolojik yapı, litoloji, toprak özellikleri ve bitki örtüsü arasındaki ilişkileri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı mekânsal analizler kullanılarak bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Farklı tematik veri katmanlarının birlikte analiz edilmesi, havzanın doğal peyzajını oluşturan temel çevresel bileşenlerin birbirleriyle olan etkileşimlerini ortaya koymuş ve doğal sistemlerin mekânsal organizasyonunun daha iyi anlaşılmasına olanak sağlamıştır. Analiz sonuçları, havzanın jeolojik yapısının büyük ölçüde Mesozoik yaşlı karbonatlı kayalardan oluştuğunu ve bu litolojik birimlerin havzanın topografik gelişimi ile pedolojik özelliklerini belirleyen temel unsur olduğunu göstermektedir. Karbonatlı kayaların geniş alan kaplaması, Kırmızı Akdeniz Toprakları ve Kahverengi Orman Topraklarının yaygınlaşmasını desteklemiş; buna karşılık alüvyal düzlüklerde genç alüvyal topraklar, eğimli yamaçlarda ise kolüvyal ve sıg topraklar gelişmiştir. Böylece jeolojik yapı ile toprak oluşumu arasında güçlü ve doğrudan bir ilişki bulunduğu belirlenmiştir. Toprak dağılışı ile bitki örtüsü arasındaki ilişkiler de havzanın ekolojik yapısını açıklayan önemli sonuçlar ortaya koymuştur. Kızılçam ormanlarının özellikle Kırmızı Akdeniz Toprakları üzerinde yoğunlaştığı, sedir, göknar ve karaçam topluluklarının ise daha yüksek yükseltilerde gelişen Kahverengi Orman Toprakları ile büyük ölçüde uyum gösterdiği belirlenmiştir. Aynı zamanda maki toplulukları, tarım alanları ve diğer arazi örtüsü sınıflarının da belirli toprak grupları üzerinde kümелendiğı görülmüş; bu durum bitki örtüsünün yalnızca iklim koşullarıyla değil, toprak ve jeolojik altlık tarafından da önemli ölçüde kontrol edildiğini ortaya koymuştur.

Bitki örtüsü ile litolojik birimler arasındaki mekânsal ilişkiler, karbonatlı kayaların doğal orman ekosistemlerinin gelişimi açısından en uygun jeolojik ortamı oluşturduğunu göstermektedir. Buna karşılık alüvyal alanlarda tarımsal faaliyetlerin yoğunlaşması, eğimli ve sıg topraklı alanlarda ise bozuk ormanlar ile ardıc topluluklarının yaygınlaşması, jeolojik yapı ile arazi kullanım biçimleri arasındaki güçlü bağlantıyı ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, doğal kaynak yönetiminde jeolojik altlığın dikkate alınmasının önemini açık biçimde göstermektedir. Çalışmada elde edilen bulgular, Karpuzçay Havzası'nın doğal peyzajının jeolojik yapı-litoloji-toprak-bitki örtüsü-arazi kullanımı zinciri içerisinde gelişen bütünlük süreçlerin ürünü olduğunu göstermektedir. Bu nedenle havzanın doğal kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir yönetimi, yalnızca tek bir çevresel unsurun değerlendirilmesiyle mümkün değildir. Jeoloji,

toprak, bitki örtüsü, topoğrafya ve arazi kullanımının birlikte ele alındığı bütüncül yaklaşımlar, koruma ve planlama çalışmalarında daha sağlıklı kararların alınmasına katkı sağlayacaktır.

Ormancılık açısından değerlendirildiğinde, özellikle karbonatlı kayalar üzerinde gelişmiş doğal kızılçam, sedir ve göknar ormanlarının korunması öncelikli hedefler arasında yer almalıdır. Bozuk meşcerelerin rehabilitasyonu, erozyona duyarlı eğimli alanlarda doğal bitki örtüsünün sürekliliğinin sağlanması ve yüksek biyolojik çeşitliliğe sahip habitatların korunması, havzanın ekolojik direncinin artırılması açısından önem taşımaktadır. Bunun yanında alüvyal düzlüklerde sürdürülebilir tarım uygulamalarının desteklenmesi ve doğal ekosistemlerle uyumlu arazi kullanım planlarının hazırlanması gerekmektedir. Bu çalışma, CBS tabanlı mekânsal analizlerin jeoloji, pedoloji ve biyocoğrafya disiplinlerini bütünleştirmede güçlü bir araç olduğunu göstermektedir. Farklı tematik katmanların birlikte değerlendirilmesi sayesinde doğal sistemlerin işleyişi daha ayrıntılı biçimde ortaya konulabilmekte ve koruma planlaması için bilimsel altyapı oluşturulabilmektedir. Gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalarda yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verileri, ayrıntılı jeokimyasal analizler, iklim değişikliği senaryoları ve zamansal arazi örtüsü değişimleri de bu yaklaşıma dâhil edilerek havzanın ekolojik dinamikleri daha kapsamlı biçimde değerlendirilebilir. Karpuzçay Havzası, Batı Toroslar'ın jeolojik evrimi ile Akdeniz ikliminin ortak etkisi altında şekillenmiş, yüksek jeolojik ve biyolojik çeşitliliğe sahip özgün bir doğal sistemdir. Havzada gözlenen doğal peyzaj desenleri, jeolojik yapıdan başlayarak toprak oluşumu ve bitki örtüsüne kadar uzanan çevresel süreçlerin karşılıklı etkileşimiyle meydana gelmiştir. Bu bütünleşik yapı, havzanın yalnızca bilimsel açıdan değil, aynı zamanda ormancılık, biyolojik çeşitliliğin korunması, ekosistem yönetimi ve sürdürülebilir arazi kullanım planlaması açısından da stratejik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Kaynakça

- Alahuhta, J., Toivanen, M., & Hjort, J. (2020). Geodiversity–biodiversity relationship needs more empirical evidence. *Nature Ecology & Evolution*, 4(1), 2–3. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1051-7>
- Atalay, İ. (1994). Türkiye vejetasyon coğrafyası. Ege Üniversitesi Basımevi.
- Atalay, İ. (2011). Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası, Meta Basım Matbaacılık, İzmir
- Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J. Y., & Boeuf, G. (2010). The Mediterranean region: Biological diversity in space and time (2nd ed.). Oxford University Press.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson.
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). Principles of geographical information systems. Oxford University Press.
- Davis, P. H. (Ed.). (1965-1985). Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Vols. 1-9). Edinburgh University Press.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). The state of the world's forests 2020: Forests, biodiversity and people. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>
- Ford, D. C., & Williams, P. W. (2007). Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>
- Gordon, J. E., Crofts, R., Díaz-Martínez, E., & Woo, K. S. (2018). Enhancing the role of geoconservation in protected area management and nature conservation. *Geoheritage*, 10(2), 191-203. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0240-5>
- Göncüoğlu, M. C. (2010). Introduction to the geology of Turkey: Geodynamic evolution of the pre-Alpine and Alpine terranes. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA Monographs).
- Gray, M. (2013). Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Hjort, J., Gordon, J. E., Gray, M., & Hunter, M. L., Jr. (2015). Why geodiversity matters in valuing nature's stage. *Conservation Biology*, 29(3), 630-639. <https://doi.org/10.1111/cobi.12510>
- Huggett, R. J. (2004). Fundamentals of biogeography (2nd ed.). Routledge.
- Huggett, R. J. (1995). Geocology: An evolutionary approach. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203138717>
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity

- and Ecosystem Services (E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, & H. T. Ngo, Eds.). IPBES Secretariat. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Jenny, H. (1941). Factors of soil formation: A system of quantitative pedology. McGraw-Hill Book Company.
- Körner, C. (2007). The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(11), 569-574. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.09.006>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographical information science and systems* (4th ed.). Wiley.
- Médail, F. (2017). The specific vulnerability of plant biodiversity and vegetation on Mediterranean islands in the face of global change. *Regional Environmental Change*, 2017, 17 (6), pp.1775-1790. {10.1007/s10113-0171123-7}. {hal-01681626}
- Médail, F., & Quézel, P. (1999). Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: Setting global conservation priorities. *Conservation Biology*, 13(6), 1510-1513. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.98467.x>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Okay, A. I., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 475-515. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>
- Orman Genel Müdürlüğü, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü. (2025). Manavgat, Alanya, Akseki, İbradı ve Gündoğmuş orman işletme müdürlüklerine ait sayısal meşcere haritaları.
- Sabancı, S. (2012). Alanya ve Manavgat'ın iklim özellikleri (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Sabancı, S. (2016). Karpuz Çayı havzasının hidrografik analizi (Yayımlanmamış Doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Schrodt, F., Bailey, J. J., Kissling, W. D., Rijdsdijk, K. F., Seijmonsbergen, A. C., van Ree, D., Hjort, J., Lawley, R. S., Williams, C. N., Anderson, M. G., Beier, P., van Beukering, P., Boyd, D. S., Brilha, J., Carcavilla, L., Dahlin, K. M., Gill, J. C., Gordon, J. E., Gray, M., ... Field, R. (2019). Opinion: To advance sustainable stewardship, we must document not only biodiversity but geodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(33), 16155-16158. <https://doi.org/10.1073/pnas.1911799116>
- Şenel, M., Serdaroğlu, M., Kengil, R., Ünverdi, M., & Gözler, M. Z. (1983). Teke Torosları güneydoğusunun jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 95-96, 13-14.

- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı, S., Metin, S., ... Özgül, N. (1992). Eğirdir-Yenişarbademli-Gebiz ve Geriş-Köprülü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanın jeolojisi (MTA-TPAO Raporu No. 3132). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2024). Antalya Havzası Kuraklık Yönetim Planı Nihai Raporu. Ankara, Türkiye.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2026). Ülkesel Toprak Bilgi Sistemi (ÜTBS). <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Duyuru/111/Ulkesel-Toprak-Bilgi-Sistemi>

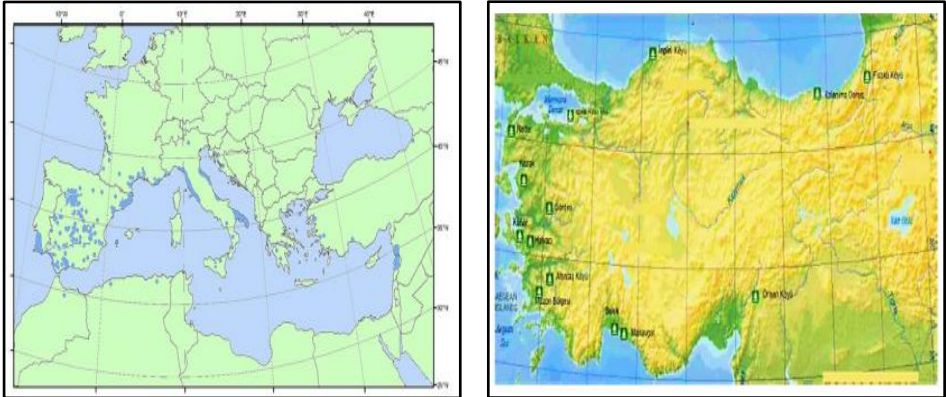
10. Bölüm

A Fıstık Çamı (*Pinus Pinea L.*) Ağaçlandırmaları: Isparta Yöresi Örneği

Yunus ESER¹

1. GİRİŞ

Güncel ormancılık envanterine göre (OGM, 2025), 9.5 milyon hektarı verimsiz olmak üzere 23.4 milyon hektar orman alanı içerisinde, 20160 hektarı verimsiz olmak üzere 160344 ha alanda doğal yayılış gösteren Fıstıkçamı (*Pinus pinea L.*) sosyokültürel, ekolojik, ekonomik ve estetik özelliklerinin yanı sıra odun dışı orman ürünü (ODOÜ) bağlamında da önemli bir paya sahiptir (Yaltırık ve Efe, 2000). Dünyada, Akdeniz iklimin hakim olduğu İspanya, Portekiz, İtalya, Mora Yarımadası, Girit Adası, Afrika'nın batısı ile Güney Amerika'nın nemli ve ılıman bölgeleri ile Anadolu kıyılarında geniş, saf yada karışık meşcereler veya gruplar halinde doğal yayılış göstermektedir (Yaltırık ve Efe, 2000) (Şekil 1). Türkiye'de ise, Bergama-Kozak Yaylası, Aydın-Koçarlı-Mazon yörelerinde, Yatağan-Katrancı havzasında (Kılıcı vd., 2006) ve ayrıca Antalya Manavgat sahil şeridi, Gemlik körfezi kıyılarında, K. Maraş, Çoruh ve Trabzon Kaleneme deresinde lokal küçük gruplar halinde doğal yayılış göstermektedir (Anonim, 2006a) (Şekil 1).



Şekil 1. Fıstıkçamı'nın Dünya ve Türkiye'deki doğal yayılış alanları

¹ Doç. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Atabey Meslek Yüksekokulu, yunuseser@isparta.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9575-1162>.

Türkiye’deki, bu doğal yayılışında, Kızılçam Karaçam ve Meşe türleri ile karışımlar oluşturabilmektedir (Anonim, 2006a). 15-20 m’ye kadar boylanabilen Fıstıkçamı, Coniferae sınıfının pinoidea takımı pinaceae familyası ve *Pinus* cinsinin bir türü olup ılık isteği fazlalığı nedeniyle şemsiye şeklinde geniş bir tepeye sahiptir (Kayacık 1980). Kozalak verimleri, 20-25’li yaşlarda başlamakta, 80 yaşına kadar devam etmekte, 80 yaşından sonra kozalak verimi azalmakta ve 100 yaşı sonrasında ise ekonomik değerini yitirmektedir (Anonim 2006b). Üç yılda olgunlaşan ve o yıl açılan kozalakların ağırlığı 100-500 g arasında değişmekle birlikte, 10-12 cm uzunluğunda ve 5-10 cm genişliğindedir; bol tohum yılı ise 3-4 yılda bir görülmektedir (Yaltırık, 1993; Saatçioğlu, 1967). Kozalak hasadı, iş gücü, sırik vb. aletlerle gerçekleştirilirken, ocak ayında başlayan hasat mayıs sonuna kadar devam etmektedir ve bu kozalaklar, bahar ve yaz aylarında güneşte kurutularak çam fıstığı elde edilmektedir (Anonim, 2001).

Ağaç, ağaççık ve çalıların değişik organlarından elde edilen, kekik, adaçayı, reçine, sığla yağı mazı, palamut, sumak, mahlep ve menengiç gibi ODOÜ yanında, Fıstıkçamı’ndan üretilen çam fıstığı ve reçinesi ülkemiz ODOÜ ihracatında önemli bir paya sahiptir ve kırsal kesimlerde yaşayan halkın önemli bir gelir kaynağıdır (Ertaş, 2024). Örneğin 1200-1300 ton olan Çam fıstığı üretimi (Nergiz ve Dönmez, 2004), son yıllarda 2000 tonun üzerine çıkmıştır (Kurt vd., 2016). Türden, gençleştirme müdahalesi öncesi dönemde yıllık 2 kg/ağaç reçine üretilmektedir (Anonim, 2006b). Bu ekonomik avantajı yanında, çok fonksiyonlu ağaçlandırmalar ve değişik ekolojik koşullara adaptasyonu Fıstıkçamını öncelikli tür haline getirmektedir (Kırdar vd., 2010). Fıstıkçamı örneğin, gerek kumul vb. gibi erozyona açık alanların ağaçlandırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Gezer ve Aslan, 1980). Fıstıkçamı’na yukarıda özetlenen gerek bu avantajları ve gerekse verimsiz ormanların ıslahı bağlamında, doğal yayılış alanında ve bu alanın dışındaki ağaçlandırma uygulamalarında geniş yer verilmektedir (Şekil 2). Fıstıkçamı’nda, ağaçlandırma miktarının 60 bin hektarı bulduğu ifade edilmektedir (OGM, 2006). Ağaçlandırma, kısaca ekim veya dikim yoluyla orman tesisi uygulamaları olarak tanımlanabilir.



Şekil 2. Dikim yoluyla tesis edilen Fıstıkçamı ağaçlandırmasından bir görünüm

Bu uygulamalar ile tekniği; tür, amaç ve yöreye göre değişim gösterebilmektedir. Ülkemizde Fıstıkçamı fidanı yetiştirme işlemi ekim veya dikimle gerçekleştirilirken, İtalya’da ekim yöntemi tercih edilmektedir (Saatçioğlu, 1964). Bununla birlikte aşılı fidan üretimi ile erken yaşta, yüksek kalite ve miktarda tohum elde edilebilmektedir (Kurt, 2000; Kırdar, 1998).

Türde dikim uygulamalarında, dikim aralık x mesafesi, gelişim üzerine oldukça etkilidir ve Kılıcı vd. (2000) 10x10 m dikim önerisinde bulunurken, İktüeren (1986) eğimli veya sığ topraklı alanların ağaçlandırılmasında 1+0 yaşlı tüplü fidanlarla, hektarda 1000 fidan (3x3 m, 4x3 m) dikim önerisinde bulunmuştur. Türkiye’deki ağaçlandırma sahalarında 6x3 m, 6x6 m, 8x8m, 10x10m, 12x12m dikim aralık mesafeleri uygulanmaktadır (Anonim, 2006b).

Bu çalışmada, Fıstıkçamı’nın Isparta yöresinde tesis edilen 20 ve 30 yaşlı iki ağaçlandırma sahası, ağaç boyu, dip çap ve göğüs yüksekliği çapı bakımından değerlendirilerek, sahalar arası karşılaştırmalar ve özellikler arası ilişkiler sahalarla göre irdelenmiştir. Çalışma sonuçlarıyla, türün ağaçlandırma ve diğer silvikültürel özelliklerine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. ÖRNEK ALANLAR VE BÜYÜME ÖZELLİKLERİ

2.1. Ağaçlandırma Sahaları

Çalışmada, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü, Isparta Orman İşletme Müdürlüğü Isparta Orman İşletme Şefliği sınırları içerisindeki, 3x4 m aralık mesafede tesis edilmiş, 20 (A20) ve 30 (A30) yaşlı iki ağaçlandırma sahasından 50' şer sağlıklı birey rastgele örneklenmiştir (Şekil 3, Tablo 1).



Şekil 3. Örneklenen 20 ve 30 yaşlı (sağ şekil) ağaçlandırma sahalarından görünüm

Tablo 1. Ağaçlandırma sahalarının bazı özellikleri

Yaş	Kodu	Enlem (K)	Boylam (D)	Yükselti (m)	Eğim (%)	Bakı
20	A20	272519	4190566	946	2	Kuzeybatı
30	A30	271706	4190093	938	5	Kuzeybatı

Örneklenen bu ağaçlandırma sahaları, yöreye ait orman meşcere haritasında 356 (A20) ve 227 (A30) nolu bölme sınırları içerisinde kalmakta ve ince ağaçlık çağında 2 kapalı Fıstıkçamı ormanı (Çfc2) olarak gösterilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Örneklenen ağaçlandırma sahalarının orman meşcere haritasındaki konumu

2.2. Büyüme Özellikleri ve Veri Analizi

Çalışma kapsamında, örneklenen bireylerde 2026 yılı büyüme dönemi öncesi, ağaç boyu (**B**), dip çap (**DÇ**) ve göğüs yüksekliği çapı (**GYÇ**) özellikleri ölçülmüş (Şekil 5) ve sahaların yaş durumuna göre yıllık artım (**B_{art}**, **DÇ_{art}** ve **GYÇ_{art}**) değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 5. Ağaçlandırma sahalarındaki ölçümlerden görüntüler

Elde edilen veriler ışığında, ağaçlandırma sahaları, ağaç boyu, dip çap ve göğüs yüksekliği çapı ile bunların artımları bakımından doğrusal yani tek faktörlü varyans analiz modeli yardımıyla SPSS paket programında (SPSS, 2011) karşılaştırılmıştır.

Özellikler arası fenotipik ilişkiler ağaçlandırma sahaları ve bu sahaların geneline göre Pearson korelasyon analizi yardımıyla SPSS paket programında (SPSS, 2011) tahmin edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Büyüme Özellikleri

Çalışmaya konu, ağaç boyu, dip çap ve göğüs yüksekliği çapına ilişkin ortalama, minimum, maksimum ve varyasyon katsayısı (%CV) değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Yaş farklılığına bağlı olarak, beklendiği üzere A30 dikim sahası, A20 dikim sahasına göre daha yüksek gelişim göstermiştir. Ancak, artım değerlerine bakıldığında, türün ilk yıllarda daha yüksek gelişim ve varyasyon gösterdiği söylenebilir (Tablo 2, Şekil 6). Her iki ağaçlandırma sahasında da göğüs yüksekliği çapının, ağaç boyu ve dip çapa göre daha yüksek varyasyon gösterdiği söylenebilir (Tablo 2). Uygulanan varyans analizi sonucunda da, çalışmaya konu özellikler ve bunların artımları bakımından sahalar arası anlamlı ($p<0.05$) farklılıklar ortaya çıkmıştır (Tablo 3). Bu varyasyon, türdeki bireysel bakım ve ormancılık uygulamalarında yaşınn önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

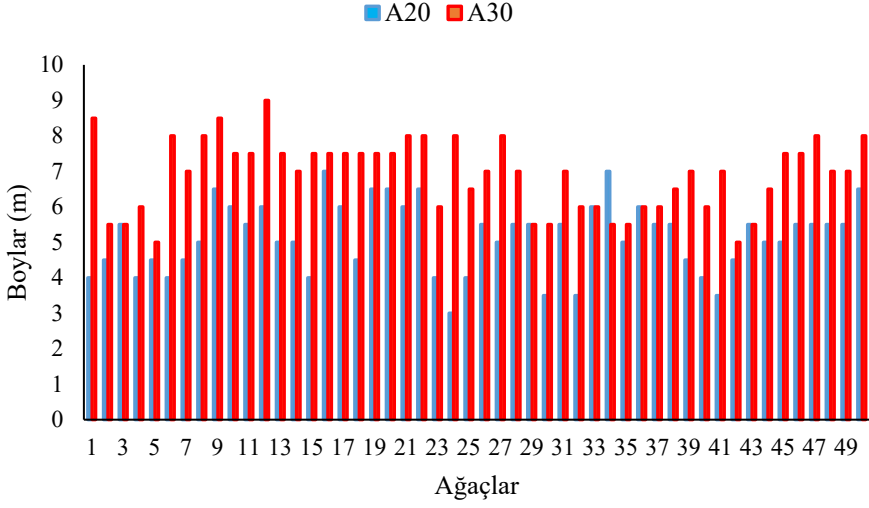
Tablo 2. Ağaçlandırma sahalarında özelliklere ilişkin ortalama, minimum, maksimum ve varyasyon katsayısı (%CV) değerleri

	Özellikler						Artımlar					
	A20			A30			A20			A30		
	B (m)	DÇ (cm)	GYÇ (cm)	B (m)	DÇ (cm)	GYÇ (cm)	B (cm)	DÇ (cm)	GYÇ (cm)	B (cm)	DÇ (cm)	GYÇ (cm)
Ort.	5.15	20.1	17.2	6.9	25.7	19.7	25.7	1.0	0.87	23.0	0.9	0.6
Min.	3.0	13.5	10.5	5.0	16.5	12.5	15.0	0.7	0.5	16.7	0.6	0.4
Max.	7.0	28.5	26.5	9.0	38.5	29.0	35.0	1.4	1.3	30.0	1.3	1.0
SS	19.0	20.0	21.7	14.6	15.5	15.8	19.0	20.0	21.8	14.7	14.4	18.3

Tablo 3. Ağaçlandırma sahalarının artım değerleri bakımından karşılaştırılması

Özellik	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Oranı	Önem Düzeyi (p)
B_{art}	Gruplar arası	1	184.960	10.495	.002
	Grup içi	98	17.624		
	Toplam	99			
DÇ_{art}	Gruplar arası	1	.578	19.889	.000
	Grup içi	98	.029		
	Toplam	99			
GYÇ_{art}	Gruplar arası	1	1.061	45.200	.000
	Grup içi	98	.023		
	Toplam	99			

Bu farklılık sadece sahalar arası değil, saha içinde de bireyler arası yaklaşık iki katı aşan (%200) farklılıklar görülmüştür. Örneğin, A20 ağaçlandırma sahasında ölçülen bireyler arası yaklaşık %230 (3.0 m-7.0 m) ve A30 sahasında bireyler arası %180 (5.0 m- 9.0 m) boy gelişimi farklılığı görülmüştür (Tablo 2, Şekil 6, Şekil 7).

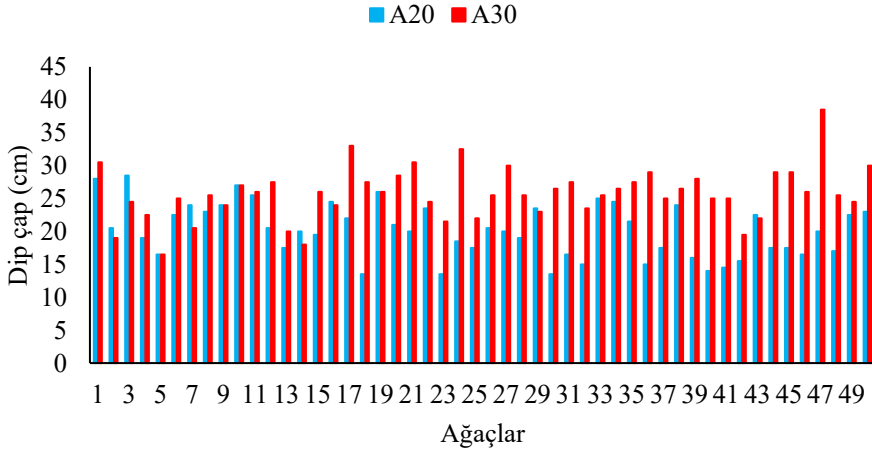


Şekil 6. Ağaçlandırma sahalarındaki boy varyasyonu

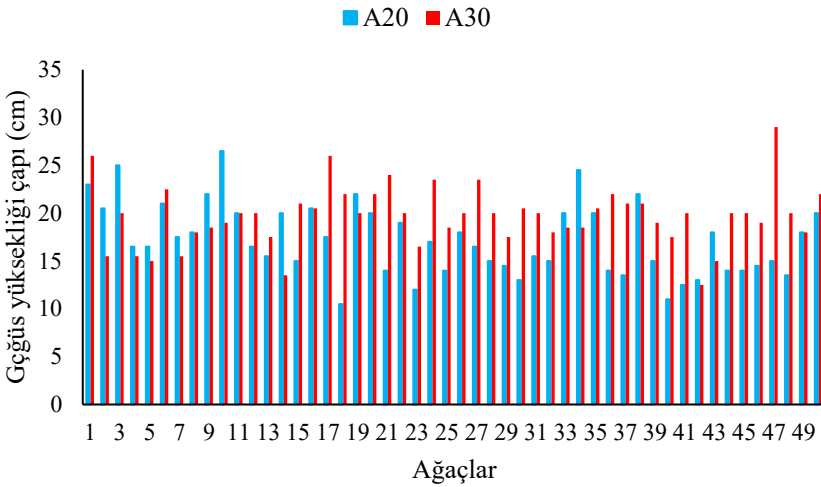


Şekil 7. Ağaçlandırma sahalarındaki boy gelişim farklılıkları

Saha içi bu boy farklılıkları; dip çap ve göğüs yüksekliği içinde ölçülmüş olup, örneğin A30 ağaçlandırma sahasında dip çap bireylerde 16.5 cm-38.5 cm, göğüs yüksekliği çapı 12.5 cm- 29.0 cm arasında değişim gösterirken, A20 sahasında bu değerler sırasıyla 13.5 cm-28.5 cm ve 10.5 cm-26.5 cm arasında değişim göstermiştir (Tablo 2, Şekil 8, Şekil 9). Bu farklılıklar, türden odun ham maddesi üretimi bakımından da önem taşımaktadır. Ancak, bu özellikler türün asli ürünü olan kozalak ve tohum verimi ile ilişkilendirilmelidir.



Şekil 8. Ağaçlandırma sahalarındaki dip çap varyasyonu



Şekil 9. Ağaçlandırma sahalarındaki göğüs yüksekliği çapı varyasyonu

Saha içi bu yüksek farklılıklar, her iki ağaçlandırma sahasında, dip çap ve göğüs yüksekliği çapı için de ortaya çıkmıştır (Tablo 2). Ancak, bu farklılığa birçok biyotik ve abiyotik faktör etkili olabilmektedir. Fıstıkçamı'nda da gelişim üzerine, dikim aralık x mesafesinin önemi vurgulanmıştır (Kılıcı vd., 2000; İktüeren, 1986). Bununla birlikte, türün ağaçlandırma sahalarında, dikimi takip eden bir sonraki yılda tamamlama yapılması önerilmektedir (Anonim, 2006b) ve çalışmada ölçüm yapılan saha içi bireyler aynı yaşlı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma sınırlı sayıdaki birey, alan ve orijin ile özellik üzerinde gerçekleştirilmesine rağmen, ortaya çıkan geniş farklılıklar türdeki geniş genetik tabanın bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Bu farklılıklar, türün fidanlık tekniği ve ağaçlandırma uygulamalarında seleksiyon çalışmalarının önemini ön plana çıkarmaktadır.

3.2. Özellikler Arası İlişkiler

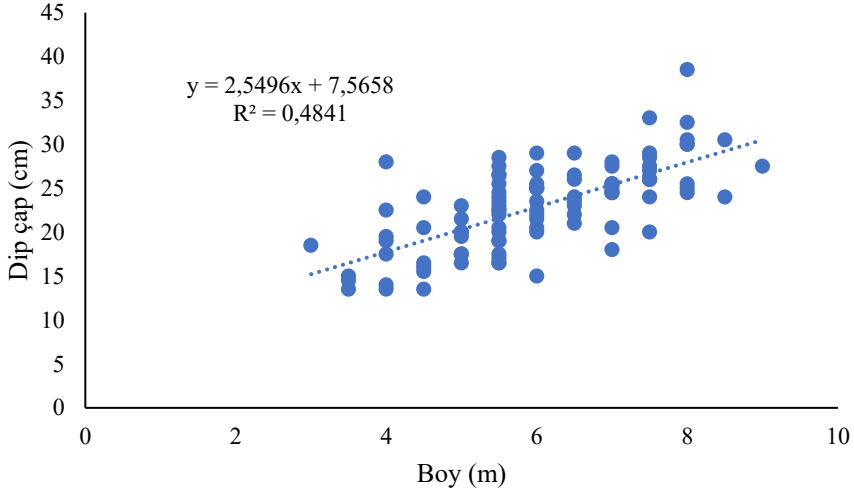
Çalışmaya konu ağaç boyu, dip çap ve göğüs yüksekliği çapı arasındaki ilişkiler, ağaçlandırma sahaları ile bunların tamamında, korelasyon analizi yardımıyla belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Korelasyon analizi sonucunda, her iki ağaçlandırma sahasında ağaç boyu, dip çap ve göğüs yüksekliği çapı arasında anlamlı ($0.01 < p$) pozitif ilişkiler belirlenmiştir (Tablo 4). Ancak özellikler arası artım ilişkileri ağaçlandırma sahalarına göre değişim göstermiştir.

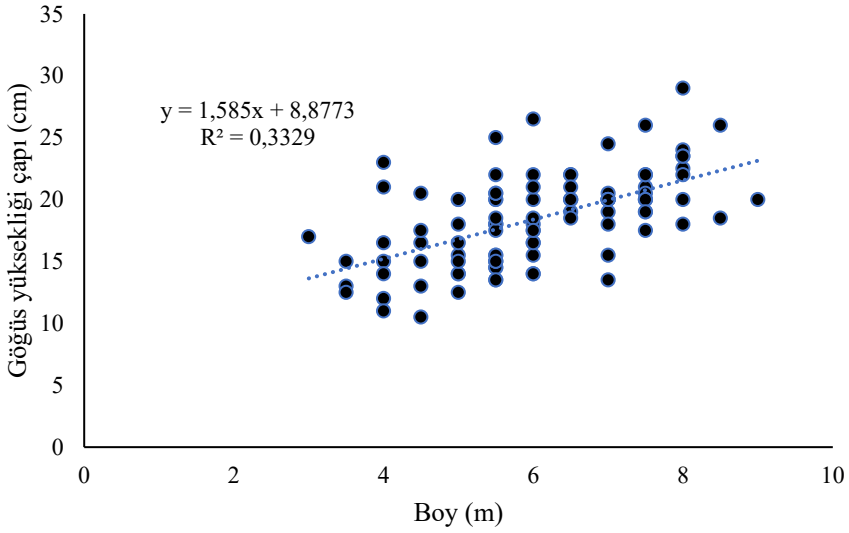
Tablo 4. Ağaçlandırma sahalarına göre özellikler arası ilişkiler

<i>r</i>		B	DÇ	GYÇ
A20	DÇ	.524**	-	
A30		.502**	-	
Toplam		.696**	-	
A20	GYÇ	.456**	.877**	-
A30		.556**	.897**	-
Toplam		.577**	.875**	-

Ağaçlandırma sahalarından en yüksek ilişki dip çap ile göğüs yüksekliği çapı arasında bulunurken, sahaların genelinde, boy ile dip çapın, göğüs yüksekliği çapına göre daha kuvvetli ilişki gösterdiği söylenebilir (Şekil 10, Şekil 11).



Şekil 10. Ağaçlandırma sahalarının genelinde boy ile dip çap ilişkisi



Şekil 11. Ağaçlandırma sahalarının genelinde boy ile göğüs yüksekliği çapı ilişkisi

Boy ile çap özellikleri arasındaki anlamlı ilişki sonucunda (Tablo 4), $DÇ = 2.55B + 7.57$ ($R^2 = 0.48$) ve $GYÇ = 1.59B + 8.88$ ($R^2 = 0.33$) şeklinde ifade edilebileceği ortaya çıkmıştır (Şekil 10, Şekil 11). Bu sonuçlar ileriki çalışmalarda özelliklerin tahmini bakımından önem arz etmektedir.

4. ÖNERİLER

Ağaç boyu, dip çap ve göğüs yüksekliği çapı bakımından, ağaçlandırma sahası içi geniş büyüme farklılığı ortaya çıkmıştır. Türün ormancılık uygulamalarında yaş faktörünün önemli olduğu söylenebilir. Ağaç boyu, dip çap ve göğüs yüksekliği çapı arasında anlamlı ($0.01 < p$) pozitif ilişkiler belirlenmiştir.

Çalışmanın sınırlı sayı ve bireyde gerçekleştirilmiş olması nedeniyle, farklı alan, bireyler ve özelliklerde, yeni çalışmalarla daha geniş önerilerde bulunulabilir. Asli ürün bağlamında, türün büyüme özellikleri ile kozalak/tohum verimi ilişkilendirilmelidir.

TEŞEKKÜR

Saha çalışmalarındaki yardım ve idari desteklerinden dolayı Isparta Orman İşletme Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Anonim (2001). Orman Amenajman Planı. Muğla Orman Bölge Müdürlüğü, Aydın Orman İşletme Müdürlüğü, Koçarlı Orman İşletme Şefliği, Aydın.
- Anonim (2006a). Fıstıkçamı Eylem Planı (2006-2010). Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim (2006b). Fıstıkçamı Eylem Planı (2006-2010). Orman Genel Müdürlüğü, 24 s, Ankara.
- Ertaş, T.B. (2024). Türkiye Ormancılığında Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.). Theoretical and Applied Forestry, 4, 22-26.
- Gezer, A., Aslan, S. (1980). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde İyi Gelişim Gösteren Bazı İğne Yapraklı Ağaç Türlerinin Seçimi Üzerine Araştırmalar. OAE Yayınları Teknik Bülten Serisi No:103, Ankara.
- İktüeren, S. (1986). Fıstıkçamı Biyolojisi ve Gençleştirilmesi, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, Cilt: 32, Sayı 2, Dergi No: 64, Çağ Matbaası, Ankara, 123-132.
- Kayacık, H. (1980). Orman ve park ağaçlarının özel sistematiği, I. cilt, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü Yayın No. 2642, O.F. Yayın No: 281, İstanbul.
- Kırdar, E. (1998). Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.)’nda Erken Tohum Verimini Sağlamak Amacıyla Fidan Yetiştirme Teknikleri, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Kırdar, E., Özel, H., Ertekin, M. (2010). Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) ağaçlandırmalarında budama uygulamasının boy ve çap gelişimi üzerine etkileri, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 12 (18) 1-10.
- Kılıcı, M., Sayman, M., Akbin, G. (2000). Batı Anadolu’da Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.)’nın Gelişmesini Etkileyen Faktörler. Orman Bakanlığı Yayın No: 115. İzmir Orman Toprak Lab. Müd Yayın No:9, 130 s., İzmir.
- Kılıcı, M., Sayman, M., Akbin, G. (2006). Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) Kurak ve Yarı Kurak Bölge Ağaçlandırmaları İçin Uygun Bir Tür Müdür? Türkiye’de Yarı Kurak Bölgelerde Yapılan Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Uygulamalarının Değerlendirilmesi Çalıştay (7-10 Kasım 2006), I. Cilt, 343- 352 s. Ankara.
- Kurt, H. (2000). Fıstıkçamında (*Pinus pinea* L.) Asi Kaynaşması ve Çelik Köklenmesinin Anatomik ve Histolojik Olarak 4ncelenmesi Üzerine Bir Araştırma, 100. Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim dalı Doktora Tezi.
- Kurt, R., Karayılmazlar, S., İmren, E., Çabuk, Y. (2016). Türkiye ormancılık sektöründe odun dışı orman ürünleri: ihracat analizi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 18 (2): 158-167.

- Nergiz, C., Dönmez, İ. (2004). Chemical Composition and Nutritive Value of *Pinus pinea* L. Seeds. Food Chemistry, 86, 365-368.
- OGM. (2006). Fıstıkçamı Eylem Planı (2006-2010). Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM. (2025). Orman İstatistikleri 2024. www.ogm.gov.tr., Ankara.
- Saatçioğlu, F. (1964). Sun'i Orman Gençleştirilmesi ve Ağaçlandırma Tekniği, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No:1109, Kurtuluş Matbaası, İstanbul.
- Saatçioğlu, F. (1967). Orman ağacı tohumları, İ.Ü. Orman fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 1212, O.F. Yayın No: 109, Kurtuluş Matbaası, İstanbul, 174-175.
- SPSS. (2011). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0., NY: IBM Corp.
- Yaltırık, F. (1993). Gymnospermae (Açık Tohumlular). İ.Ü.Yayınları, 3443, (386), 320s., İstanbul.
- Yaltırık, F., Efe, A. (2000). Dendroloji Ders Kitabı Gymnospermae – Angiospermae (Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğrencileri İçin) II. Baskı.

11. Bölüm

Türkiye Gökmarları (*Abies Ssp.*) ve Bazı Silvikültürel Çalışmalar

Yunus ESER¹

1. GİRİŞ

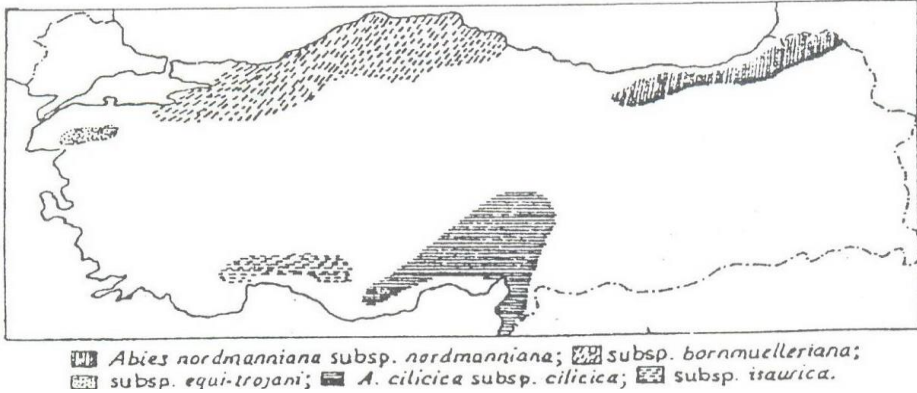
Latince yükselen anlamına *Abies* (Gökmar) ismi ağaç boyunun uzunluğuna işaret etmektedir. Ülkemizde Gökmar türleri, yöreye göre, günar, kuner, küna, künar, kökmar ve küner gibi isimlerle anılmaktadır. Ülkemizdeki gökmar taksonlarından, Doğu Karadeniz gökmarı, Troya atının Gökmar ağacından yapıldığına dair rivayetlere bağlı olarak biyolog Alexander von Nordmann onuruna adlandırılmıştır (OGM, 2013). Çamgiller (Pinaceae) familyasına ait *Abies* taksonları piramidal tepeye sahip ve her mevsim yeşil iğne yapraklı taksonlardır. Kaynaklara göre değişmekle birlikte, Türkiye’de; Toros gökmarı (*Abies cilicica*), Doğu Karadeniz gökmarı (*Abies nordmanniana*), Uludağ gökmarı (*Abies nordmanniana ssp. bornmülleriana*) ve Kazdağı gökmarı (*Abies nordmanniana ssp. equitrojani*) olmak üzere dört gökmar taksonu bulunmaktadır (OGM, 2013). Yaklaşık 60 türü bulunan Gökmarlar (*Abies* Mill.), Kuzey yarıkürenin mutedil ve serin bölgeleri, Güneydoğu Asya, Tropikal bölgeler, Güney-Kuzey ve Orta Amerika, Avrupa ve Kuzey Afrika’da doğal yayılış göstermektedirler (Saribaş, 2008). 70’ten fazla türü bulunduğu belirtilen Gökmarlar, dünya üzerindeki bu geniş yayılışını deniz seviyesinden 4700 m’ye kadar yapabilmektedir (Edwards, 1982).

Türkiyedeki taksonlarından, Doğu Karadeniz gökmarı; Doğu Karadeniz Bölgesinden Kızılırmak’a kadar doğal yayılış göstermektedir. Türkiye’ye özgü Uludağ gökmarı, Kızılırmak vadisinden Uludağ’a kadar yayılış göstermektedir. Endemik bir taksonumuz olan Kazdağı gökmarı asıl yayılışını Kazdağları ve Çataldağ’da yapmakla birlikte, Çanakkale, Balıkesir ve Bursa arası yörelerde, birbiriyle bağlantısız altı farklı alanda yayılış göstermektedir. Bir diğer taksonumuz olan Toros gökmarı ise, Güney Anadolu Toros dağları, Toros ardı ile Amanoslarda yayılışa sahiptir. Kazık kök sistemine sahip bu taksan, uzun, düzgün ve dolgun gövdeli olup sivri tepelidir. Gölgeye dayanıklı Gökmarlar ve Toros gökmarı, nemli ve serin iklim bölgelerinde, derin, havalanması iyi, nemli

¹ Doç. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Atabey Meslek Yüksekokulu, yunuseser@isparta.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9575-1162>.

topraklarda gelişim göstermektedir. Sığ topraklarda fırtına zararlarına maruz kalabilmektedir. Tipik olarak sık ve tabandan dallıdır. Genç sürgünler yeşilimsi sarı renklidir. Üzerlerinde kısa ve sık tüyler vardır. İbreler 2-3.5 cm uzunluğunda, parlak ve koyu yeşil, iki stoma çizgilidir. Koyu kırmızı kahverenkli dallarda dik duran silindirik kozalaklar 15 cm'ye kadar uzayabilmektedir. Tek evcikli olan Toros göknarında tohumlar ekim ayında olgunlaşmaktadır. Göknarlar özellikle mobilya, lambri, kaplama ve inşaat sektöründe yapı malzemesi, ambalaj, fıçı, oyuncak vb. sektörlerde kullanım alanı bulmaktadır (OGM, 2013).

Farjon (2010), Pinaceae familyasının Coniferae sınıfında bulunan Göknarların (*Abies* Mill.), dünyada 48-49 türünün bulunduğunu ifade etmektedir. Anşin ve Özkan (2006), Türkiye'de doğal yayılış gösteren Göknar taksonlarını, *Abies nordmanniana* ve *Abies cilicica* olmak üzere iki ana tür ve *Abies nordmanniana* ssp. *nordmanniana*, *Abies nordmanniana* ssp. *bornmuelleriana*, *Abies nordmanniana* ssp. *equi-trojani*; *Abies cilicica* ssp. *cilicica* ve *Abies cilicica* ssp. *isaurica* olmak üzere beş alt türe ayırmışlardır. Türkiye'deki göknar taksonlarının genel yayılışı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Türkiye Göknar taksonlarının doğal yayılışı (Seçmen vd., 2000)

Göknarlar, güney enlemlerde yüksek dağlık bölgelerde, kuzey enlemlerde ise daha düşük yükseltilerde ya da deniz seviyesinde ki alanlarda saf ya da karışık meşcereler kurmaktadır (Yaltırık ve Efe, 2000). Genç yaşlardan itibaren kazık kök sistemi geliştirdikleri için rüzgâr ve fırtınalara karşı dayanıklıdırlar. Göknar taksonlarının, toprak ve rutubet istekleri fazladır. İlkbahar donlarına karşı hassas ve ışık istekleri azdır.

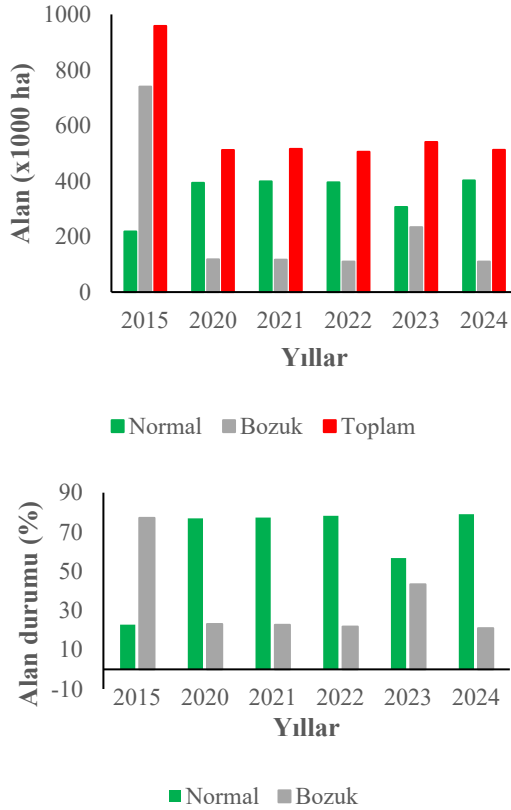
Orman Genel Müdürlüğü 2013 dönemi verilerine göre, Türkiye'de 406.497 ha. normal koru ve 229.044 ha. bozuk olmak üzere 635.511 hektar Göknar ormanı

bulunmaktadır (OGM, 2013). Buna karşın, beş Gökmar taksonu bulunan Türkiye’de, bu taksonlar üzerinde önemli silvikültürel çalışmalardan, az sayıda genetik-ıslah çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Gökmar taksonları üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada Uludağ gökmarı ve Kazdağı gökmarının farklı türler olduğu sonucuna varılmıştır (Şimşek, 1992). Turna vd. (2001) tarafından altı Toros gökmarı popülasyonu üzerinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise, toplam genetik çeşitlilik 0.364, popülasyonlar arası genetik varyasyon %40.9 olarak tespit edilmiştir. Tayanç vd. (2012), Türkiye’de yayılış gösteren gökmar taksonları arasındaki filogenetik ilişkilerin belirlenmesi ve popülasyon düzeyinde genetik çeşitliliğin ortaya konulması amacıyla gerçekleştirmiş oldukları çalışma sonuçlarıyla; taksonların ayırımına katkı sağlamayı hedeflemişlerdir. Gülcü ve Dirlik (2016), Toros gökmarı’nda (*Abies cilicica* Carr.) bazı fidelik ve fidan karakterleri bakımından genetik varyasyonları araştırmışlardır. Gökmar taksonlarında, tozlaşma ve dölleme ilkbaharda gerçekleşir, kozalak olgunlaşmasını 6 ayda tamamlanır ve tohum dökümü Ekim-Kasım aylarında gerçekleşmektedir. Gökmar taksonları tohum vermeye genel olarak 20-30 yaşında başlamakta, 2-4 yılda bir tohum vermekte ve tohum verimi 60-70 yaşlarında üst seviyeye çıkmaktadır (Genç, 2004). Genel olarak, tohum verme yaşının Gökmar türlerinde 60 olduğu belirtilmektedir (Anonim, 1986). Gökmarların 200 yıla kadar baskıda kalabildikleri, her baskı sınıfındaki ağaçların ayrı bir büyüme performansı gösterdiği Saraçoğlu (1988) tarafından belirtmiş ve aynı çalışmada, göğüs boyu şekil katsayısının 0.45-0.55 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Ülkemiz Gökmar taksonlarının yayılış alan miktarı, değişik ormancılık uygulamaları (ağaçlandırma, doğal gençleştirme vb.) ve zararlılarına (yangın vb.), karışıma girdiği türlerin gelişim hızına bağlı olarak yıllara göre değişim gösterebilmektedir. Örneğin, 2013 yılında ortalama 631 kg üretilen Gökmar taksonu tohumları, 2024 yılı verilerinde 48 kg olarak gerçekleşmiştir (OGM, 2025). Türkiye ormancılık envanteri verilerinde Gökmar’ların doğal yayılış alanı cins bazlı ve genel verilmektedir (Tablo 1, Şekil 2, OGM, 2025).

Tablo 1. Bazı yıllar için Türkiye ve Gökmar ormanlarının yayılış alanı

Yıllar		Normal kapalı		Bozuk kapalı		Toplam
		Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	
2015	Türkiye*	12.70	56.8	9.64	43.2	22.34
	Gökmar	218.30	22.8	740.12	77.2	958.42
2020	Türkiye*	13.26	57.9	9.67	42.1	22.90
	Gökmar	393.50	76.9	118.20	23.1	511.70
2021	Türkiye*	13.50	58.4	9.61	41.6	23.11
	Gökmar	398.76	77.3	116.89	22.7	515.65
2022	Türkiye*	13.71	59.0	9.54	41.0	23.24
	Gökmar	395.30	78.2	110.11	21.8	505.41
2023	Türkiye*	13.71	58.7	9.65	41.3	23.36
	Gökmar	306.67	56.7	233.96	43.3	540.63
2024	Türkiye*	13.81	59.0	9.55	41	23.36
	Gökmar	402.16	79.0	110.04	21.0	512.20

*; Milyon hektar



Şekil 2. Gökmar taksonlarının bazı yıllara göre alan ve % dağılımı

2015 yılında 958.420 hektar olan Türkiye'deki Gökmar ormanları, 2024 yılı verilerinde 512.200 hektara düşmüştür. Buna karşın, aynı yıllar için verimli (normal kapalı) orman alanı % 22.8'den %79'a çıkmıştır. Bununla birlikte taksonların alan miktarı ve vafında da yıllara göre değışimler görölmüştür (Tablo 1, Şekil 2).

1.1. Toros Gökmarı

Bu takson üzerinde gerçekleştirilen detaylı çalışmalardan biri, Bozkuş (1988) tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkiye Gökmar taksonlarından olan ve genellikle Toros ve Amanos dağlarında yayılış gösteren Toros gökmarı (*Abies cilicica*), tomurcuklarının reçineli veya reçinesiz olmasına göre Anşin ve Özkan (2006) tarafından iki alt türe ayrılmıştır. 42 metre boy ve 2 metreye kadar çap yapabilen Toros gökmarının, 1150-1200 metrelerden itibaren kurduğı meşcereler, 2000 metrelerdeki orman sınırına kadar ulaşabilmektedir. Önceki dönem orman envanterine göre, %52'si saf ve bozuk olmak üzere 337.437 hektar alanda yayılış göstermektedir (Bozkuş, 1988) (Şekil 3).



Şekil 3. Toros gökmarı birey, kozalak ve meşcere kuruluşlarından görünümeler

Ülküdür (2013); $1500 \text{ m} >$; $1500 \text{ m} \leq - 1750 \text{ m} \geq$ ve $1750 \text{ m} <$ yükselti basamaklarında gerçekleştirmiş olduğu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, kozalak verimi bakımından düşük ve yüksek rakımlar arasında yaklaşık olarak üç kat fark olduğunu ifade etmiştir. Bozkuş (1988) tarafından yapılan çalışmada, Toros Göknarı'nın iki yılda bir bol tohum verdiğini ve tohum veriminin oldukça yüksek olduğu belirtilmektedir. Odabaşı vd. (2004) Toros Göknarı'nın genç bireylerinde 2221-6430 arasında değişen tohum miktarının ortalama 4200 olduğunu, yaşlı bireylerde ise 5641-18392 arasında değişen ağaç başı tohum veriminin ortalama 10400 olduğunu belirtmektedir. Sarıbaş (2008), 15-25 cm boy ve 4-6 cm çapındaki kozalakları (Şekil 1) sebebiyle Toros göknarı'nın Türkiye de en büyük kozalağa sahip göknar taksonu olduğunu belirtmektedir. Adana-Kozan yöresi Toros Göknarı ormanlarında yaprak alan indeksi (YAI)'ne yönelik yapılan bir çalışmada, YAI değerleri kuzey ve güney bakıya göre farklılık göstermiş ve kuzey bakıdan alınan örneklerde daha yüksek çıkmıştır. Çalışma sonucunda silvikültürel müdahalelerin yapılacağı meşcerelerin aynı yapıda olsa dahi farklı şiddette uygulanması önerisinde bulunulmuştur (Oktan, 2019).

Bozkuş (1988), Coode ve Cullen Toros Göknarı'nı, Göksu nehrinin doğusunda yayılış gösteren ve genç sürgünleri tüylü, tomurcukları reçinesiz *Abies cilicica* ssp. *Cilicica* ve nehrin batısında yayılış gösteren, genç sürgünleri tüysüz, tomurcukları bol reçineli olan *Abies cilicica* ssp. *isaurica* olarak iki alt türe ayırmaktadır. Bu farklılık gövde rengi ve kabuk formu farklılıkları ile de desteklenmektedir. Bu tespiti göre, nehrin doğusundaki Göknarlarda kabuk beyaza yakın ve boz renklidir. İleri yaşlarda ise kabuğun dip kısımlarında az miktarda çatlaklar oluşmaktadır. Nehrin batısındaki Göknarlarda ise kabuk genç yaşlardan itibaren gri veya koyu gri bir renk almaktadır.

Toros göknarı; Toros sediri, Anadolu karaçamı ve Ardıç taksonları başta olmak üzere, 50-100 m yükseklik farklı geçiş zonları ve lokal arazilerde Meşeler, Titrek kavak, Servi, Akçaağaç, Kayacık ve Kayın gibi taksonlarla karışıma girmektedir. Geniş Akdeniz Ormanlarının en üst orman basamağında yayılış gösteren Toros Göknarı, yörenin gölge ağacıdır ve bu takson Toros sediri ve Anadolu karaçamı ile oluşturduğu yoğun karışımlarda bu türlere karşı başlangıçtan itibaren büyüme geriliği göstermektedir ve bu durum Toros göknarı'nın ilk yaşlardaki yavaş büyümesi ve siper altında gençleşebilmesinin bir göstergesidir. Toros göknarı yayılış alanlarında iklim yarı nemli ile çok nemli arasındadır ve bu iklim kışları sert, yazları nispeten serin geçen "Akdeniz yüksek dağ iklimidir". Toros göknarının yayılış gösterdiği anakaya, genelde kalker çatlakları ve kırmızı Akdeniz toprağı olan alanlardır. Toros göknarı meşcerelerinde gençleşme açısından herhangi bir ölü ve diri örtü problemi bulunmamaktadır (Bozkuş, 1988). Tek tabakalı ve saf Göknar meşcerelerinde

ışık entansitesi en düşüktür ve bu entansiteyi sırasıyla seçme kuruluşundaki saf Gökmar, Sedir+Gökmar ve Karaçam+Gökmar karışık meşcereleri izlemektedir. Toros Gökmarı meşcereleri genellikle, az bir kısmı tek tabakalı saf veya çok tabakalı saf tabiat ormanıdır. Bu takson, gençlikleri çok hızlı bir kök gelişmesi yaparak, kurak periyod öncesi köklerini mineral toprağa ulaştırmaktadır. Gençleşmenin başarısı için zoobiotik faktörlere karşı da tedbir alınmalıdır.

1.2. Uludağ Gökmarı

Türkiye'ye özgü yayılış gösteren bir Gökmar taksonu olup 30–40 m boyunda birinci sınıf orman ağacıdır. Topaloğlu (2013), Uludağ Gökmarının ortalama yaprak uzunluğunu 23 mm, ortalama yaprak genişliğini ise 1.8 mm olarak belirlemiş ve ibre uzunluğunun yükselti arttıkça kısalıldığını gözlemlemiştir.

Uludağ Gökmarı'nın doğal yayılışı, Kızılırmak'ın denize döküldüğü alan ile Uludağ arasında kalan Batı Karadeniz bölgesi ve Kocaeli havzasında, saf ve genelde Fagetum ve Abietum zonlarında Kayın ve Çam taksonları ile karışık meşcereler olmakla birlikte (Şekil 4), 2000 m'ye yani yukarı orman sınırına kadar çıkabilmektedir (Kayacık, 1980). Ayancık Ormanları, Ilgaz, Seben Dağları, Abant, Bozüyük ve Uludağ'da farklı ağaç türleri ile karışık meşcereler oluşturmaktadır (Anşin ve Özkan, 2006) (Şekil 4).



Şekil 4. Uludağ gökmarı birey ve meşcere kuruluşlarından görünüm

Gökmar kozalakları gökyüzüne doğru bakar ve olgunlaştığında kırmızılaşır (Şekil 5). Gökmar taksonları, odun hammaddesi yanında, odun dışı orman ürünleri bakımından da önemli taksonlardandır,

Uludağ Gökarnı'nın 2+1 yaşı fidanlarının, 9 morfolojik özellik ve 19 popülasyonunda, popülasyon içi genetik çeşitliliğin, popülasyonlar arası genetik çeşitlilikten daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şevik vd., 2013).



Şekil 5. Uludağ göknarı kozalaklarından görünümeler

Şevik (2010) gerçekleştirmiş olduğu doktora tez çalışmasında, Uludağ Gökarnı'nın tohum, fidecik ve fidan özellikleri yardımıyla, popülasyonlar arası varyasyonu araştırmış ve türün genetik çeşitliliğinin yapılanması, temel morfolojik özellikleri, coğrafi varyasyonları ve optimal, ekstrem yayılış alanlarında yetişen bireyler arasındaki morfolojik farklılıklar ortaya çıkarılmış ve popülasyonlar arasında genetik varyasyonların olduğu belirlenmiştir. Özellikler arası anlamlı ilişkiler bulunmuş ve popülasyonların birbirine olan mesafe değerleri tespit edilmiştir.

Kapucu (2016) lisansüstü tez çalışmasında, Uludağ Gökarnı'nda 28 özellik yardımıyla, fidanlarının formları üzerine ışığın etkisini incelemiş ve ışık şiddetinin çalışılan bütün özelliklere etkili olduğu tespit etmiştir. Uludağ Gökarnı'nın dekoratif bir ağaç ve peyzaj düzenlemelerinde aranan bir tür olması sebebiyle dünyada en çok tercih edilen Noel ağaçlarından biri olduğu da bilinmektedir. Gerçekleştirilen bir çalışmada, doğal Uludağ Gökarnı popülasyonları dallanma karakterlerine göre karşılaştırılmış ve Noel ağacı üretimi için uygun popülasyonlar değerlendirilmiştir (Şevik, 2011). Bursa yöresinden örneklenen Uludağ Gökarnı bireylerinde, göğüs yüksekliği çapı ve ağaç boyunun kozalak sayısını etkilemediği ($p>0.05$) tespit edilmiştir (Yıldız, 2023).

1.3. Doğu Karadeniz Gökarnı

Doğu Karadeniz Gökarnı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *nordmanniana*) 40–50 m boylanabilen, geniş piramidal gelişim gösteren, sık dallı ve gri gövdeli bir ağaçtır. Genç sürgünleri yeşilimtırak-sarı renkli, üzeri kısa, sık, esmer tüylerle örtülüdür. İğne yapraklar 2–3.5 cm uzunluğunda, parlak koyu yeşil renkte, uç kısımları kertikli veya küt, alt yüzlerinde iki stoma bandına sahiptir. Olgun kozalaklar ortalama 15–16 cm uzunluğunda ve ortalama 5 cm çapındadır. Kırmızı-kahverengi kozalaklarda dış pullar, iç pullardan (karpel) daha uzundur ve genelde bol reçinelidir (Saatçioğlu, 1971; Anşin ve Özkan, 2006) (Şekil 6). Taksonun kozalakları Eylül sonlarında ve Ekim ayında olgunlaşmaktadır (Saatçioğlu, 1971). Gökarnlar genelde gölge ağacı olmakla birlikte, ışıktaki gelişen türleri mevcut olup nem istekleri yüksek, sıcaklık istekleri ortadır. İlkbahar donlarından etkilenebilirler, genellikle orta ve yüksek dağlık alanların ağaçlarıdır (Anşin, 1994).



Şekil 6. Doğu Karadeniz gökarnı sürgün ve kozalaklarından görünüm

Doğu Karadeniz gökarnı, Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesi ile Batı Kafkaslarda; 1500-2000 m yükseltilerde doğal yayılış göstererek ekonomik meşcereler kurmaktadır (Saatçioğlu, 1976). Bu yayılış alanında, kenar dağlarının deniz etkisindeki rutubetçe zengin mntıkalarında, yer yer dağların arka kısmında karasal iklimin hakim olduğu alanlarda da görülmektedir (Demirci, 2001). Bu takson saf meşcereler halinde, Artvin-Şavşat ve Yusufeli, Gümüşhane, Giresun-Şebinkarahisar ve Gümüşhane-Torul'da geniş yayılışlar göstermektedir. Bu saf yayılışı ile birlikte, Doğu Ladini, Doğu Kayını ve Sarıçam ile de karışık meşcereler oluşturmaktadır (Demirci, 2001) (Şekil 7). Demirci (2001) gerçekleştirmiş olduğu çalışmasında, taksonun ideal seçme meşcerelerine dönüştürülmesi için, tabakalara göre uygulanması gereken müdahale şekilleri

hakkında önerilerde bulunmuştur. Şavşat Yöresin Doğu Karadeniz Göknarı tohum meşcerelerinde, tohum özelliklerine ilişkin gerçekleştirilen bir çalışmada, tohum özelliklerinin yıllara ve meşcerelere göre değişim gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin, 2009 yılı tohumlarında en yüksek 1000 tane ağırlığı 46.23 gr, doluluk oranı %71.6 bulunurken; 2010 yılı tohumlarında bu değerler 82.92 gr ve %79.9 bulunmuştur (Altun, 2011). Bununla birlikte, Karaşahin vd. (2000) ve Tilki (2004) Doğu Karadeniz Göknarı üzerinde gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarda, çimlenme yüzdesi bakımından geniş farklılıklar belirlemişlerdir. Karaşahin vd. (2000) türün tohum ihracatında büyük yer tuttuğunu ifade etmektedir.



Şekil 7. Doğu Karadeniz göknarı meşcere ve bireylerinden görünümeler

1.4. Kazdağı Göknarı

Ülkemizdeki yayılışı 5512 hektar olan Kazdağı göknarı (*Abies equitrojani* Ascher et Sinten), endemik bir türümüzdür (Ata, 1975). Simsar (2007) yayılış alanı konusunda farklı değerler söz konusu olduğunu belirtmekle birlikte, güncel verilere göre 3.591 ha'lık bir alan kapladığını belirtmektedir. Ata (1975), botaniksel olarak Kazdağı göknarının (*Abies equitrojani* Ascher et Sinten) Toros göknarından kozalak dış pullarında görülen farktan; *Abies nordmanniana*'dan ise

genç sürgünlerindeki ve tomurcuklarındaki farktan kolayca ayırt edilebildiğini; Kazdağı göknarının *Abies alba* Mill.'e benzetmesi ve *Abies alba* var. *equi-trojani* demesine rağmen, Kazdağı Göknarı genç sürgünlerinin tüysüz oluşu ile genç sürgünleri tüylü olan *Abies alba*'dan farklılık gösterdiğini ifade etmektedir.

Kazdağı Göknarı, birinci sınıf orman ağacı olup yaklaşık 30-40 m boylanabilen ekonomik açıdan oldukça önemli bir türdür (Anşın, 2001) (Şekil 8). Kazdağı Göknarı Türkiye'de Çanakkale ile Balıkesir illeri arasındaki Kazdağları'nda, Çan, Yenice, Kalkım, Edremit, Bayramiç'te 650 m ile 1600 m yükseltilerde yayılış gösterir (Ata,1975). Yüksel (2017) tarafından gerçekleştirilen doktora tez çalışmasında; türün tohum özellikleri 11 popülasyon ölçeğinde araştırılmış ve türün tohum özellikleri morfolojik, biyokimyasal ve fizyolojik parametreler açısından analiz edilmiştir.



Şekil 8. Kazdağı göknarı birey, kozalak ve meşcere kuruluşlarından görünümüler

2. ÖNERİLER

İlgili literatür ışığında, yukarıda kısmen de açıklandığı üzere, Gökmar taksonlarında sistematik sınıflandırma sorunları bulunmaktadır ve giderilmesi ormancılık uygulamaları bağlamında önemlidir. Buna bağlı olarak, Gökmar taksonları yayılış alan ve miktarları takson bazında açıklığa kavuşturulmalıdır. Türkiye Gökmar taksonlarında, genetik-ıslahı da içeren silvikültürel çalışmalara ağırlık verilmelidir.

KAYNAKLAR

- Altun, Ü. (2011). Şavşat yöresindeki Doğu Karadeniz göknarı (*Abies nordmanniana* supsp. *nordmanniana*) tohum meşcerelerinin tohum özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Anonim (1986). Fidanlık Çalışmaları. O.G.M yayınları, 168s, Ankara.
- Anşin, R., Özkan, Z.C. (2006). Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta)- Odunsu Taksonlar. KTÜ Orman Fakültesi Yayınları, 450s, Trabzon.
- Anşin, R. (1994). Tohumlu Bitkiler (Gymnospermae), 1. Cilt, 2. Baskı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi. Trabzon.
- Anşin, R. (2001). Tohumlu Bitkiler: Gymnospermae (Açık Tohumlular). I. Cilt, III. Baskı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, Trabzon
- Ata, C. (1975). Kazdağı Göknarı (*A. equitrojani* Ascher et Sinten)'nın Türkiye'deki Yayılışı ve Silvikültürel Özellikleri. Orman Fak. Dergisi, 11:165-219.
- Bozkuş, H.F. (1988). Toros Göknarı (*Abies cilicica* Carr.)'nın Türkiye'deki Doğal Yayılışı ve Silvikültürel Özellikleri. OGM Yayınları, 118s, Ankara.
- Demirci, A. (2001). Saf Doğu Karadeniz Göknarı (*Abies nordmanniana* Stev.) Ormanlarında Meşcere Kuruluşlarının Saptanması ve Silvikültürel Öneriler. KÜ Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1: 16-27.
- Edwards, D.G.W. (1982). Collection, processing, testing and storage of true fir seeds: a review. Proceedings, Symposium on the Biology and Management of True Fir in the Pacific Northwest; 1981; Seattle/Tacoma, WA. Contrib. 45. Seattle: University of Washington, Institute of Forest Resources: 113B137.
- Farjon, A. (2010). A Handbook of the World's Conifers. Leiden, Netherlands: Brill Academic Publishers.
- Genç, M. (2004). Silvikültürün Temel Esasları. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, 341s, Isparta.
- Gülcü, S., Dirlik, S. (2016). Toros Göknarı'nda (*Abies cilicica* Carr.) bazı fidecik ve fidan karakterleri bakımından genetik varyasyonlar. Turkish Journal of Forestry, 17(1): 1-6.
- Karaşahin, H., Şengün, S., Velioğlu, E., Nur, M. (2000). Artvin Yöresi Doğu Karadeniz Göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach.) Tohum Meşcerelerinde En Uygun Kozalak Hasat Zamanının Araştırılması. Orman Ağaçları Ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü Teknik Bülten No: 5, Ankara.

- Kapucu, Ö. (2016). Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) fidanlarının formları üzerine ışığın etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Kayacık, H. (1980). *Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği*, Gymnospermae (Açık Tohumlular), 1. Cilt, 4. Baskı, İstanbul Üniversitesi Yayın No 2642, Orman Fakültesi Yayın No 281, Kutulmuş Matbaası, İstanbul, 388 s.
- Odabaşı, T., Çalışkan, A., Bozkuş, H.F. (2004). Silvikültür Tekniği (Silvikültür II). İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 314s, İstanbul.
- OGM. (2013). Orman Atlası. Orman Genel Müdürlüğü yayınları, Ankara.
- OGM. (2025). Orman İstatistikleri-2024. www.ogm.gov.tr, Ankara.
- Oktan, E. (2019). Toros Göknarı (*Abies cilicica* Car.)’nda Yaprak Alan İndeksinin Belirlenmesi: Adana Kozan Yöresi Örneği. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 20 (2), 218-223.
- Saatçioğlu, F. (1971). Orman Ağacı Tohumları. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No:1649, Fakülte Yayın No:173 Sermet Matbaası, İstanbul.
- Saatçioğlu, F. (1976). Silvikültür-I. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No: 2187(222), 423s, İstanbul.
- Saraçoğlu, Ö. (1988). Karadeniz yöresi göknar meşcerelerinde artım ve büyüme. OGM yayını, Ankara.
- Sarıbaş, M. (2008). Dendroloji-I (Gymnospermae). Dönmez-Ofset Yayınları, 321s, Ankara.
- Seçmen, Ö., Gemici, Y., Görk, G., Bekat, L., Leblebici, E. (2000). Tohumlu Bitkiler Sistematiği. Ege Ü. Fen Fakültesi Yayınları, 394s, İzmir.
- Simsar, M. (2007). Kazdağı göknarı (*Abies equi-trojani* Aschers et Sinten) ormanlarının meşcere kuruluş özellikleri (Karaköy örnek çalışması), Y. Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak. Z.K.Ü. Fen Bil. Enst., 91s.
- Şevik, H. (2010). Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf) Populasyonlarında Genetik Çeşitliliğin Yapılanması, Doktora Tezi, KTU Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 151 s.
- Şevik, H. (2011). Dallanma Karakterleri Bakımından Noel Ağacı Üretimine Uygun Uludağ Göknarı Populasyonlarının Belirlenmesi. Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi, 2011, 11 (1): 102 – 107.
- Şevik, H., Topaçoğlu, O., Umur, R., Çiftçi, S. (2013). Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* mattf.)’nda 2+1 Yaşlı Fidan Morfolojik Özellikleri Bakımından Populasyonlar Arası Farklılıklar. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi 3(9):91-102, 2013.

- Şimşek, Y. (1992). “Türkiye Orijinli Gökna r Türlerinin (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach., *Abies bornmulleriana* Mattf., *Abies equi-trojani* Achers et Sint.) Genetik Yapıları Üzerine Araştırmalar, OAE Yayınları, Teknik Bülten, No:221.
- Tayanç, Y., Çengel, B., Kandemir, G., Velioğlu, E. (2012). Türkiye’de Yayılış Gösteren Gökna r (*Abies* spp.) Populasyonlarının Genetik Çeşitliliği ve Flagenetik Sınıflandırılması, Yayın No:47, Teknik Bülten No: 33
- Tilki, F. (2004). *Abies nordmanniana* ((Stev.) Spach.) Tohumunun Çimlenmesi Üzerine Katlama, Işık ve Çimlendirme Sıcaklığının Etkisi, Gazi Ü. Orman Fak. Dergisi, 4: 164–172.
- Topaloğlu, Y. (2013). Türkiye’de Doğal Yayılış Yapan Uludağ Gökna rı (Batı Karadeniz Gökna rı) (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. Subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.) Coode & Cullen) Üzerinde Morfolojik Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Turna, İ., Üçler, A.Ö., Yahyaoğlu, Z. (2001). Genetic Analysis of Isoenzymes Variations in Cilicican Fir (*Abies cilicica* Carr.). Pb. Univ. Res. Bull., 51, 99-107.
- Ülküdü r, F. (2013). Seydişehir Yöresi Toros Gökna rı (*Abies cilicica* Carr.) Popülasyonlarında Kozalak Verimi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Yaltırık, F., Efe, A. (2000). Dendroloji. İ.Ü. Or. Fak. İstanbul.
- Yıldız, M.C. (2023). Uludağ Gökna rı’nda (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) kozalak verimi x bazı büyüme özellikleri etkileşimi. Theoretical and Applied Forestry 3: 14-17.
- Yüksel, T. (2017). Kazdağı gökna rı [*Abies equi-trojani* (asch. & sint. ex boiss)]’nın tohum özellikleri üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.