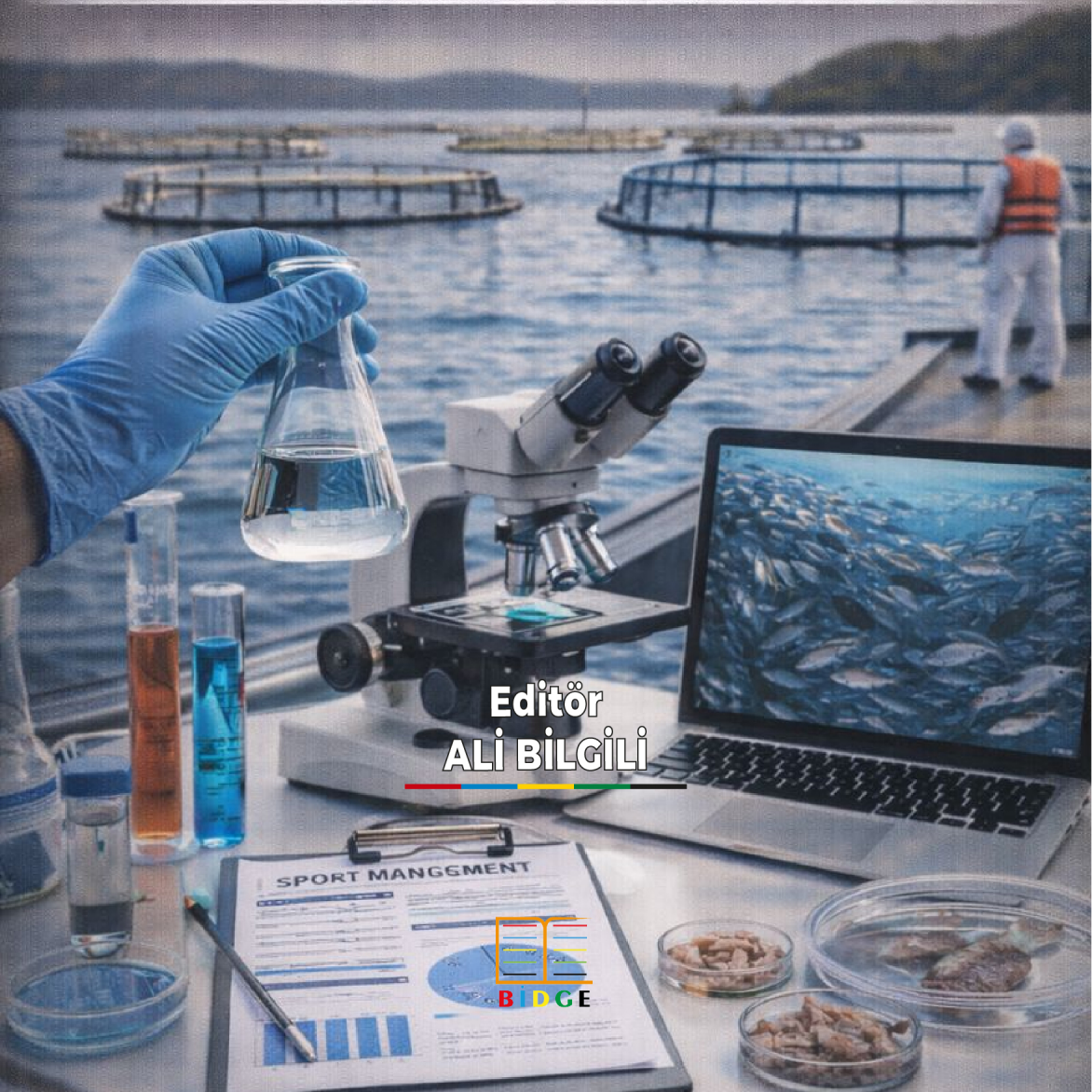


Su Ürünleri Alanında Özgün Bilimsel Konular



Editör
ALİ BİLGİLİ



BİDGE Yayınları

Su Ürünleri Alanında Özgün Bilimsel Konular

Editör: ALİ BİLGİLİ

ISBN: ISBN EKLENECEK

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-12-25

BİDGE Yayınları

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

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

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

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

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



ÖNSÖZ

Adıgüzel Baraj Gölü cladocera ve copepoda komünitesi açısından besin zenginliği yüksek (mezotrofik-ötrofik) bir karakter sergilemektedir. Bu bölümde Adıgüzel barajının planktonik crustacea kompozisyonu ele alındı.

İnşaat ve yıkım atıkları, yalnızca yıkım sonrası molozlardan değil; yapım, bakım, onarım ve yenileme süreçlerinde oluşan heterojen bir atık içermekte olup, küresel ölçekte artan miktarları ve çevresel etkileri nedeni ile atık yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bu kapsamda inşaat ve yıkıntı atıklarında kirleticiler ve ekotoksiste konusunda bilgiler sunuldu.

Su ürünleri, özellikle balıklar çeşitli gıda kaynaklı patojenlerle kontamine olabilen bir gıda kategorisidir. Uluslararası verilerin de gösterdiği gibi, su ürünleri tüketimi sürekli artmakta ve tüketicilerin tercihleri minimum işlenmiş ve hazır ürünlere doğru kaymaktadır. Bu değişiklikler, uluslararası ticaretin genişlemesi ve su ürünleri yetiştiriciliğinin balık ticaretine artan katkısıyla birlikte, bu gıdalarla gerçekleşebilecek hastalık riskini artırmaktadır. Bu nedenle, ulusal hükümetler ve dünya çapında yetkili makamlar tarafından benimsenen gözetim sistemleri, kontaminasyonları önlemek ve halk sağlığını korumak için temel öneme sahiptir. Dünya çapında su ürünleri ile ilgili salgınların sayısını azaltmak, birçok farklı kuruluşun sürekli ve koordineli çabalarını gerektirmektedir. Modern işleme tesislerinde sıkı uygulamalar yürütülse de balık ve diğer deniz ürünlerinin işlenmesinde, güvenli gıda üretimini ve besin değerinin korunmasını sağlayacak teknolojilerin uygulanması esastır.

Alzheimer–Parkinson–Epilepsi üçlü model tasarımı yalnızca bir deneysel yenilik değil, aynı zamanda gelecekteki nörodejenerasyon araştırmalarına yön verecek çok boyutlu bir

bilimsel çerçeve sunmaktadır. Bu yaklaşım hem temel mekanizmaların anlaşılmasını hem de yeni terapötik stratejilerin geliştirilmesini hızlandırabilecek potansiyele sahiptir. Balık modellerine dayalı bu entegre yöntem, nörodejeneratif hastalıkların karmaşık doğasını anlamak için önemli ve güçlü bir araştırma aracı olarak değerlendirilmektedir.

Mevcut literatür teleost bağışıklık sistemini ve organlarını çok boyutlu bir adaptasyon alanı olarak tanımlamakta ve bu yapının hem evrimsel biyoloji hem de uygulamalı balık sağlığı açısından zengin bir araştırma alanı sunduğunu göstermektedir. Teleost balıklarının bağışıklık sistemi; timus, ön böbrek, dalak, karaciğer ve geniş mukozal yüzeyler aracılığıyla hem özgül hem de özgül olmayan savunma mekanizmalarını barındıran karmaşık bir yapıdır. Balık bağışıklığı üzerine yapılan genomik ve hücresel araştırmalar arttıkça, akuakültürde hastalık yönetimi ve türlere özgü bağışıklık stratejileri geliştirme olanakları daha da genişleyecektir.

Balıklarda antioksidan savunma sistemi dinamik, uyarlanabilir ve çevresel koşullarla doğrudan ilişkili bir yapıdır. Modern yetiştiricilik yaklaşımı yalnızca enzim aktivitelerini değil, aynı zamanda gen ekspresyonu, miRNA profili ve epigenetik düzeyi de birlikte değerlendirmelidir. Böyle bir yaklaşım üretimde dayanıklılığı artıracak, kaliteyi yükseltecek ve sürdürülebilir akuakültür uygulamalarına bilimsel temel sağlayacaktır.

Balık tüketimi, sadece protein veya omega-3 kaynağı olarak değil, aynı zamanda doğru tür ve pişirme yöntemi seçildiğinde, toplumdaki Ca eksikliğinin giderilmesinde de etkili bir beslenme stratejisi olarak değerlendirilmelidir.

Sulak alanlar, yüksek üretkenlikleri, ekolojik çeşitlilikleri ve karmaşık yapılarıyla dünyanın en önemli ekosistemleri arasında yer almaktadır. Bu kapsamda kaybolan ekosistemler, sulak alanlar, önemi ve koruma stratejisi incelendi.

Suyun korunması yalnızca çevresel bir zorunluluk değil, aynı zamanda gıda güvenliği, ekonomik kalkınma ve insan sağlığının korunması açısından stratejik bir gerekliliktir. Bu doğrultuda, kirli suların sulamada kontrolsüz kullanımının önüne geçilmesi, suyun yeniden kullanımı için ileri arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir su politikalarının yerel düzeyde uygulanması, gelecek nesiller için yaşanabilir bir çevre bırakmanın temel koşuludur.

Günümüzde beslenmede kullanılan gıda maddelerinin ekonomik ve kaliteli olmasının yanı sıra, besin bileşenlerini de dengeli oranda içermesi istenmektedir. Bu kapsamda midye ve beslenmedeki önemi değerlendirildi.

İsparoz; ülkemizin tüm denizlerinde bulunan, fakat özellikle avcılığı yapılan bir balık türü değildir. Başka bir ifade ile, diğer balıkların avlanması sırasında yakalanan bir balıktır. Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) 2023 yılı verilerine göre toplam deniz balıklarının avcılık miktarı 421.000 ton gerçekleşmiştir. Bu miktar içerisinde İsparoz balığı avcılık miktarı ise 64,5 ton olarak bildirilmektedir (TÜİK, 2024). Bunun yanında yine su ürünleri avcılığını düzenleyen ve her yıl yayınlanan sirkülerde de İsparoz balığı ile ilgili herhangi bir avcılık (boy, ağırlık, zaman vb.) kısıtlaması bulunmamaktadır. Amatör olta avcılığının mevsimsel favori balıkları arasındadır.

Su ürünleri yetiştiriciliği, yüksek kaliteli proteinlerin tedarik edilmesinde önemli bir rol oynamış ve 20 yılı aşkın süredir gıda üretiminde en hızlı büyüyen sektör olmuştur. Dünyadaki nüfusun sürekli artması ve insanların gelirlerinin artması nedeniyle, deniz ürünlerine olan ihtiyaç önümüzdeki on yıllarda önemli ölçüde artacaktır. Su ürünleri yetiştiriciliğinin genişlemesi, yeni ve çığır açıcı teknolojiler gerektirmektedir. Neyse ki, ortaya çıkan ve çığır açıcı birkaç teknoloji, su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde devrim

yaratma potansiyeline sahiptir. Bu kapsamda akuakültürde yeni teknolojilerin kullanımına değinildi.

Biyojenik aminler; amino asitlerin mikroorganizmalar veya endojen enzimler tarafından dekarboksilasyonu sonucu oluşan, düşük molekül ağırlıklı, bazik karakterde azotlu bileşiklerdir. Biyojenik aminlerin toksikolojik etkileri, yalnızca histamin zehirlenmesi ile sınırlı olmayıp; aminlerin birlikte varlığı ve bireysel hassasiyetler dikkate alındığında daha karmaşık bir risk profili ortaya koymaktadır. Bu nedenle biyojenik aminlerin izlenmesi, su ürünlerinde kalite ve gıda güvenliği değerlendirmesinin vazgeçilmez bir bileşeni olarak kabul edilmektedir.

Prof. Dr. ALİ BİLGİLİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

BALIK VE BALIK ÜRÜNLERİ TÜKETİMİNDE BİYOLOJİK RİSK FAKTÖRLERİ	1
<i>FATMA ÇOLAKOĞLU, SERHAT ÇOLAKOĞLU</i>	
İNŞAAT VE YIKINTI ATIKLARINDA KİRLETİCİLER VE EKOTOKSİSİTE	36
<i>FATMA ÇEVİK</i>	
ADIGÜZEL BARAJI'NIN (DENİZLİ) PLANKTONİK CRUSTACEA (CLADOCERA VE COPEPODA) KOMPOZİSYONU	51
<i>CEM AYGEN, DİDEM ÖZDEMİR MİS, M. RUŞEN USTAOĞLU</i>	
BALIKLARDAKİ KALSİYUMUN (CA) İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ÖNEMİ	64
<i>MİNE PERÇİN OLGUNOĞLU, İLKAN ALİ OLGUNOĞLU</i>	
BALIKLARDA OKSİDATİF STRESİN BİYOLOJİK TEMELİ .	71
<i>SERPİL MİŞE YONAR, MUHAMMET ENİS YONAR</i>	
KAYBOLAN EKOSİSTEMLER-SULAK ALANLAR; ÖNEMİ VE KORUMA STRATEJİSİ	88
<i>NURGÜL ŞEN ÖZDEMİR</i>	
MİDYE (MYTILUS GALLOPROVİNCİALİS) VE BESLENMEDEKİ ÖNEMİ	123
<i>NEDRET İREM ÖZKAYA, SERHAT ÇOLAKOĞLU</i>	
BALIKLARDA ALZHEİMER, PARKİNSON, EPİLEPSİ KOMBİNE MODELLERİ	155
<i>MUHAMMET ENİS YONAR, SERPİL MİŞE YONAR</i>	
TÜRKİYE DENİZLERİNDE BULUNAN İSPARUZ (DİPLODUS ANNULARİS L,1758) BALIĞININ ÖZELLİKLERİ	169
<i>MUSTAFA ORHAN ARAL</i>	
KİRLİ SULAMA SULARININ ETKİLERİ	181
<i>BANU KUTLU</i>	

SU ÜRÜNLERİNDE BİYOJEN AMİNLER206

HASAN BASRİ ORMANCI

AKUAKÜLTÜRDE YENİ TEKNOLOJİLERİN KULLANIMI 238

ERHAN ERDOĞAN, DURALİ DANABAŞ

BALIKLARDA LENFOİD ORGANLAR VE FONKSİYONEL
DİNAMİKLERİ269

MUSTAFA KARGA

BÖLÜM 1

BALIK ve BALIK ÜRÜNLERİ TÜKETİMİNDE BİYOLOJİK RİSK FAKTÖRLERİ

Fatma ÇOLAKOĞLU¹
Serhat ÇOLAKOĞLU²

Giriş

Beslenme, sağlıklı bir yaşamın temel unsurlarından biridir. Günümüzde beslenme yalnızca fizyolojik bir gereksinim olmaktan çıkmış; bireylerin sağlığını destekleyen, yaşam kalitesini artıran bir unsur hâline gelmiştir. Bu nedenle tüketiciler, diyetlerinde yer verecekleri gıdaları daha özenle seçmekte; yüksek protein içeriğine sahip, sindirimi kolay, sağlıklı yağ asitleri içeren ve fonksiyonel özellik taşıyan besinlere yönelmektedirler.

Balık, sunduğu yüksek kaliteli protein, n-3 çoklu doymamış yağ asitleri, vitamin ve minerallerle dengeli beslenmenin önemli bir bileşenidir. Bu ürün grubu; çiğ veya minimal işlenmiş taze

¹ Prof. Dr., Çanakkale Osekiz Mart Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gıda Teknolojisi Bölümü, Çanakkale/Türkiye. Orcid: 0000-0002-2211-8371

² Prof. Dr., Çanakkale Osekiz Mart Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Çanakkale/Türkiye. Orcid: 0000-0003-3526-6477

iftliklerde rnler uygun kalitedeki sulardan hasat edilmelidir (Amagliani & ark., 2012:788; Feldhusen, 2000:1660). Tüketicinin biyolojik risklerden korunabilmesi için sınır değerlerin belirlenmesi, üretimde düzenli kontrollerin yapılması, “İyi Hijyen Uygulamaları” ile HACCP prensiplerinin uygulanmasına yönelik çok disiplinli yaklaşımlar büyük önem taşımaktadır.

Balık ve Balık rnleri:

Balık ve balık ürünleri, n işlemiden geçirilmiş, uygun yöntemlerle pişirilmiş, tüketime hazırlanmış veya kurutulularak muhafaza edilmiş, diğer bileşenlerin de kullanıldığı gıda maddeleri olarak tanımlanmaktadır.

Taze Balık

Buz içerisinde soğutularak muhafaza edilen balıklardır (TGG, 2010). Taze balık, yakalandıktan sonra soğutulmuş ancak dondurulmamış balık ve balık parçalarını ifade eder. Balık işlenmemiş olarak bütün kalabilir veya temizlenip iç organları çıkarılıp fileto veya dilimlenmiş olarak da soğutulabilir. Taze balıkları saklamak için en iyi soğutma yöntemi buz kullanımıdır. Buz, temiz içme veya deniz suyundan imal edilebilmektedir. Balıklar genellikle, plastik veya strafor kutulara konularak üzerleri buzlanarak paketlenmektedir.

Dondurulmuş Balık

Donmuş balık, balık veya balık parçalarının -40°C şoklanarak dondurulması ve daha sonra -18°C sıcaklıkta muhafaza edilmesi ile elde edilen üründür. Bu işlem, balığın besin değerini, duyuasal özelliklerini ve raf ömrünü büyük ölçüde korur. Donmuş balıklar bütün, fileto veya porsiyonlanmış şekilde piyasaya sunulabilir. Günümüzde, balıklar yakalandıktan sonra kısmen balıkçı gemilerinde çoğunlukla ise fabrikalarda dondurulmakta olup, genellikle tek tek (IQF) veya blok halinde yapılmaktadır.

Tuzlu Balık

Tuzlu balık, balıkların tuzla muamele edilerek olgunlaştırılması sonucu elde edilen üründür. Ürün balık etindeki tuz içeriğine göre üçe ayrılır; sert tuzlanmış balık (100 g balık suyunda tuz içeriği > 20 g), hafif tuzlanmış balık (100 g balık suyunda tuz içeriği 6 g ila 20 g) ve az tuzlanmış balık (balık suyunda tuz içeriği < 6 g). Tuzlu balık ürünleri, daha çok küçük balıklardan yapılan; en çok sardalya ve hamsinin hammadde olarak kullanıldığı ürün tipidir. Balığın olgunlaşması, balığın kendi enzimleri ve tuz ilavesiyle gerçekleşir. Kılçıksız ve derisi alınmış sardalya, salamura edilmiş hamsi filetosu veya halkaları, ayrıca ezme olarak tüketime sunulmaktadır.

Marinat

Marinat daha çok küçük balıklardan veya balık parçalarından üretilen, balığın temizlenip fileto haline getirildikten sonra tuzlu ve asidik bir ortamda (genellikle sirke veya limon suyu) belirli bir süre bekletilmesiyle elde edilen yarı işlenmiş bir balık ürünüdür. Marinat işlemi sırasında asidin etkisiyle balık etindeki proteinler kısmen denatüre olur ve ürün ısıtılma işlemi uygulanmadan tüketime hazır hale gelir. Bu yöntem hem mikrobiyal gelişimi sınırlandırarak koruyucu etki sağlar hem de ürüne kendine özgü tat, doku ve aroma kazandırır. Hamsi marinat genellikle bitkisel yağ, baharat ve aromatik bileşenler ilave edilerek paketlenir ve soğuk zincir altında muhafaza edilir. Türkiye’de özellikle Karadeniz ve Marmara bölgelerinde yaygın olarak üretilen ve tüketilen geleneksel bir su ürünü işleme yöntemidir.

Füme Balık

Balık ve balık parçalarının tuzlandıktan sonra genellikle taze üretilen dumanla muamele edilerek pişirilmesi işlemidir. Duman üretimi için genellikle meşe veya kokulu ağaçların talaşları kullanılır. Aşağıdaki tütsüleme yöntemleri kullanılır:

- Sıcak tsleme (ekirdek sıcaklığı 60°C'nin üzerinde (85°C'ye kadar))
- Soğuk tsleme (oda sıcaklığı +30°C'nin altında (12°C ila 25°C))
- Elektrostatik tsleme (ısı, kızılötesi radyasyon yoluyla uygulanır
- elektrik şarjı)

Tsleme işlemi tamamlandığında ürünler ambalajlanmadan önce, konserve halinde saklanabilmeleri için gerekli sıcaklık derecesine kadar süratle soğutulmalıdır.

Kurutulmuş Balık

Kurutulmuş balık, balık veya balık parçalarının n tuzlamadan geçirildikten sonra suyunun uçurularak kurutulması yöntemi ile üretilen ürün tipidir. Hammadde olarak genellikle kk veya yağsız balık kullanılır, işlem sırasında doku içindeki su doğal koşullarda veya kurutma makinası aracılığı alınır. Kurutulmuş balık, tüketilmeden önce ıslatılır; bu, balığın şişmesine ve tuz içeriğinin azalmasına neden olur.

Havyar

Balık yumurtasıdır. Balığın gonadları gevfetilererek yumurtalar alınır, tuzlanarak havyar adı verilen bir ürüne dönüştürülür. Hava geçirmez kutularda soğuk ortamlarda saklanır. Balık gonadları, bir bütün halde pişmiş olarak yenebilir veya tuzlanarak, kızartılarak ve tslenerek hazırlanabilir, ek olarak salatalarda ve soslarda da kullanılabilmektedir. En nl yumurta türü, mersin balığı havyarıdır, ancak diğer balık türlerinin yumurtalarının da dünya çapında tüketimi çok daha fazla olduğu görülmektedir (ASFA, 2018:29). Farklı deniz ürünlerinin yumurtaları birçok farklı boyut, renk, tat ve dokuya sahiptir ve bu büyük çeşitlilik, yumurtanın hem sıradan hem de lüks bir ürün olarak popülaritesinin nedenidir.

Konserve Balık

Konserve balık, balığın uygun şekilde ön işlemlerden (ayıklama, temizleme vb.) geçirildikten sonra yüksek sıcaklıkta ısı işlemine tabi tutulup hava geçirmez kaplara (teneke, cam vb.) doldurulmasıyla elde edilen bir balık ürünüdür. Konservele otoklavda sterilize edilir. Mikroorganizmaları, özellikle de ısıya dayanıklı *Clostridium botulinum* sporlarını öldürmek için zaman ve sıcaklık parametrelerine dikkat edilmesi oldukça önemlidir. Bu ısı işlem ve steril kapama sayesinde balık, mikroorganizmalar için elverişsiz hale gelir ve uzun süre raf ömrü uzatılmış olarak saklanabilir. Konserve balık ürünlerinde en önemli hammadde hamsi, sardalya gibi küçük balıklardır. Ancak ton balığı, uskumru ve somon gibi diğer balık türleri de yağda, suda veya salçada paketlenmiş olarak tüketiciye sunulabilmektedir.

Taklit, İmatat

Surimi olarak adlandırılan bu ürün, kılçıkları çıkarılmış ve kıyılmış balık etinden, renk ve jelleşme özelliklerini iyileştirmek için yıkanarak elde edilen bir balık ürünüdür. Yıkama işlemi ile balık kasının suda çözünmeyen proteinlerini konsantre hale getirilmesini sağlar. Ürünün istenen kıvamını elde etmek için yumurta akı, baharatlar, şeker ve modifiye nişasta eklenir. Genellikle yengeç etini veya diğer değerli deniz ürünlerini taklit etmek için kullanılmaktadır. Bu tür deniz ürünleri farklı görünümlere sahip olup, kalitesi kullanılan balığın etine bağlı olarak değişmektedir.

Balık ve Balık Ürünlerindeki Patojen Bakteriler

Balık eti, içerdiği zengin besin maddeleri ve yapısal özellikleri nedeniyle mikroorganizmalar için uygun bir ortamdır. Balığın doğal mikroflorası, içinde bulunduğu çevre şartlarının etkisi ile oluşmakta yakalandıktan sonra ise taşıma ve işleme tekniklerinin

etkisi ile yeniden şekillenmektedir (Hobbs, 1983;117; Liston, 1980;605, Feldhausen, 2000:1660). Balıklar, kirli sulardan hastalık edindiklerinde veya hijyenik olmayan koşullarda işlendikleri, taşındıkları veya depolandıklarında patojen bakterilerle kontamine olabilmekte ve insan sağlığı açısından risk oluşturabilmektedir (Feldhausen, 2000:1660; Tülsner, 1994:299). Balık ve diğer su ürünlerinde *Listeria* (Lennon & ark., 1984:34), *Salmonella* (Heinitz & ark., 2000:592) ve *Vibrio* spp. (Colakoğlu & ark., 2006:652; Hood & ark., 1981:560); hepatit A (Koopmans & ark., 2002:205) ve norovirüs (Koopmans & ark., 2002:205) vb. patojenlerle ilişkili çok çeşitli vakalar bulunmaktadır.

***Salmonella* spp.**

Salmonella türleri, *Enterobacteriaceae* ailesinin patojenik olan en önemli temsilcisidir. Gram-negatif, fakültatif anaerob, çubuk şeklinde bakterilerdir. *Salmonella*'nın *S. enterica* ve *S.bongori* olmak üzere iki türü vardır, bununla beraber *S. enterica* türünün altı alt türü bulunmaktadır. Bu bakterinin hem hayvanlarda hem de insanlarda potansiyel patojen olarak kabul edilen 2500'den fazlada serovarı bulunmaktadır (Wan Norhana & ark., 2010:250). Spor ve kapsülü olmayan bu genusun çoğu türü kamçıları sayesinde hareketlidir. Mezofiliktirler ve optimum büyüme sıcaklıkları 35-37 °C arasındadır; büyüme aralığı ise 5 - 46 °C'dir. Bu bakterilerin büyüebilmesi için en uygun pH ise nötr civarıdır ancak 4.0-9,5 aralığında da üreyebilmektedir (Bibek, 2001).

Doğal kaynakları sıcak kanlı hayvanlardır, insan ve hayvanların bağırsaklarında ve ayrıca dışkıyla kirlenmiş sularda bulunur. Çevresel koşullara dayanıklılıkları nedeniyle sucul ekosistemlerde de bulunabilirler (Gannon & ark., 2004:1653; Haley & ark., 2009:1248). Bu nedenle özellikle kıyı sularındaki balıklarda ve su ürünleri yetiştiriciliğinde *Salmonella* türlerine sıklıkla rastlanmaktadır (Koonse & ark., 2005:2532). Bunun dışında varlıkları; kirli sulardan hasat sırasında, depolama ve işleme

sırasında kontaminasyon kaynaklı olabilmektedir. Yapılan çalışmalarda, çiğ veya az pişirilmiş ürünlerde, tütülenmiş balık, çeşitli işlenmiş balık ve kabuklu deniz ürünlerinde *Salmonella* varlığına işaret edilmektedir (Brands & ark., 2005:897; Heinitz & ark., 2000:592).

Salmonella türlerinin çoğu insanlarda Salmonelloz olarak isimlendirilen gıda kaynaklı enfeksiyonlara yol açar. *Salmonella* enfeksiyonu, tifo olarak da adlandırılan enterik sendrom veya gastroenterit şeklinde ortaya çıkmaktadır (Butt & ark., 2004:856). Balık ve deniz ürünleri kaynaklı en yaygın hastalık, akut gastroenterittir. Ancak bağışıklığı zayıf bireylerde etken, bağırsak dışına çıkarak daha ciddi tablolara da; bakteriyemi, sepsisemi, endokardit, artrit vb. yol açabilmektedir. *Salmonella* vakaları, dünya genelinde oldukça yaygın görülmektedir (Wan Norhana & ark., 2010:256). *Salmonella enterica* serovar Enteritidis ve *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, insanları enfekte eden en önemli suşlardır. Ayrıca *Salmonella* Enteritidis, ölümlerle oldukça sık ilişkilendirilen serotiptir (Greig & Ravel, 2009:87). *Salmonella* bakterisi salgınlara yol açabilmektedir (Nesse & ark., 2005:58). Ancak literatürde balık veya diğer deniz ürünleriyle ilişkili az sayıda *Salmonella* salgını bildirilmektedir (Kuhn & ark., 1994:214; Heinitz & ark., 1998:592). Tüketiciler için bir diğer risk faktörü, balık çiftliklerinde antimikrobiyal ilaçların yaygın kullanımı ve buna bağlı olarak insan patojenleri arasında direnç oluşumu ve yayılma riskidir (Serrano, 2005). Antibiyotiklere dirençli ve çoklu dirençli *Salmonella* serovarlarının izolasyonu endişe yaratmaktadır.

***E. coli* - Enterohemorajik *E. coli* (EHEC)**

E. coli, *Enterobacteriaceae* familyasına ait; Gram negatif, çubuk şeklinde fakültatif anaerobik spor oluşturmeyen bir koliform bakterisidir (Koch, 1982:2539). Çok çeşitli çevresel koşullara direnç gösterebilen bu bakteri, normal koşullarda insan ve hayvanların bağırsak mikrobiyotasında bulunur. Mezofilik karakterde, nötr veya

hafif asidik pH da optimum üreme faaliyeti göstermektedir. *E. coli* bakterisinin yüzlerce suşu vardır. Bu genusa ait çoğu suş zararsızdır, ancak EHEC de dahil olmak üzere bazıları virülans faktörleri kazanarak patojenik hale gelir. Enterohemorajik *E. coli* (EHEC) insanda ciddi gıda kaynaklı hastalıklara neden olan en yaygın suşlardandır (Thomas & ark, 2023:7).

Enterohemorajik *Escherichia coli* (EHEC), özellikle *E. coli* O157:H7 başta olmak üzere, patojen serotipleri içeren bir enteropatojen grubudur. Diğer *E. coli*'lerden farklı olarak, şhiga toksini adı verilen güçlü bir toksin üretir. Bu toksin, bağırsak ve böbreklere zarar vererek kanlı ishale neden olur. EHEC suşları düşük infeksiyöz doz ile bulaşabildiğinden (10–100 hücre), halk sağlığı açısından yüksek risk taşır. Enterohemorajik *Escherichia coli*, insan enfeksiyonunda gastroenterit, hemorajik kolit ve hatta küçük çocuklarda yaşamı tehdit eden hemolitik üremik sendroma (HÜS) neden olabilmektedir (Page & Liles, 2013:695).

Patojenlerin birincil rezervuarı çiftlik hayvanlarıdır. Balık ve diğer su ürünleri *E. coli*'nin doğal taşıyıcısı değildir; varlığı genellikle çevresel bulaşmadan kaynaklanmaktadır. Bulaşma yolları ise; gübreli tarım alanlarına yakın çiftlikler, atık suların sucul ortamlara karışması, hasat/işleme ve depolama sırasında oluşan çapraz kontaminasyon kaynaklarıdır (Bolukaoto & ark., 2019:304). EHEC, DSÖ tarafından yayılma potansiyeli en yüksek patojen olarak sınıflandırılmıştır. Asit ve soğuk şartlara dayanıklılığı ve biyofilm oluşturma kapasiteleri nedeniyle özellikle balık işleme tesislerinde yıkama suları ve ekipmanlar üzerinden kolayca yayılabilir (CDC, 2012:31). Çiğ veya az pişmiş su ürünleri tüketimi özellikle: Sushi, sashimi, az pişmiş balık burgerleri, soğuk fûme somon, çiğ yumuşakçalar (midye, istiridye) gibi ürünler EHEC için potansiyel risk oluşturabilir.

Listeria monocytogenes

Listeria cinsi, *Listeriaceae* familyasına ait olan Gram-pozitif, fakültatif anaerob, çubuk şeklinde, sporsuz ve hareketli bir bakteri grubudur. Günümüzde bu genusa ait 28 tür ve 6 alt tür bulunmaktadır. Fiziksel ve kimyasal etkilere nispeten dirençli olan bu bakterinin optimum üreme sıcaklığı 30-37 °C olmasına rağmen, donma sıcaklıklarında bile üreyebildiği tespit edilmiştir. *Listeria* genusu çok fazla tür içermesine rağmen sadece iki tür *L. monocytogenes* ve *L. ivanovii* patojenite gösterdiği kabul edilmektedir.

Listeria monocytogenes, halk sağlığı açısından en önemli türdür. Her yerde bulundukları için topraktan, yüzey suyundan, bitkilerden, hayvanlardan ve insan atıklarından ve ayrıca tarımsal kaynaklardan izole edilebilirler (Feldhusen, 2000:1660). Balık ve balık ürünlerinde de *Listeria* türleri sıklıkla tespit edilir. Patojenler balıklara, hasat veya işleme sırasında kontaminasyon yoluyla ulaşır. Psikrotrof olmaları, düşük pH ve yüksek tuzluluğa dayanabilmeleri *L. monocytogenes*'i balık ve diğer su ürünlerinde gıda güvenliği açısından en dirençli ve en tehlikeli patojenlerden biri yapmaktadır (Harrison & Huang, 1990:880). Özellikle minimal işlenmiş ürünlerde, tütülenmiş, marine edilmiş veya paketlenmiş balık ürünler *Listeria* için ideal gıdalardır (Pelroy & ark., 1994:119; Heinitz & Johnson, 1998:323). Biyofilm oluşturabilmesi nedeniyle de işleme tesislerinde yayılmaya çok elverişlidir (Feldhausen, 2000:1660). Çalışmalar, sadece tütülenmiş, marine edilmiş ve pişirilmiş balık ürünlerinin değil, dondurulmuş deniz ürünlerinin de *Listeria* ile kontamine olduğunu göstermiştir (Lennon & ark., 1984:34; Elliot & Kvenberg, 2000:260).

L. monocytogenes gıda kaynaklı en yüksek fatalite oranına (%20-30) sahip patojenlerden biridir (Osek & Wiczorek, 2023:544). Listeriyozis adı verilen hastalıkta, bakteri farklı organ sistemlerini etkileyerek ciddi enfeksiyonlara neden olabilir.

Özellikle hassas olan hamile, yeni doğan ve yaşlı bireylerde; enterit, sepsis ve menenjit gibi tablolara neden olabilmektedir. Bağışıklık sistemi baskılanmış bireylerde de primer septisemi veya meningoensefalite neden olabilirler. Listeriosis, hamile kadınlarda fetus için de zararlı olabilir (Koopmans & ark., 2023:205). Ulusal Gıda Mikrobiyolojik Kriterleri Danışma Komitesi raporu (2008), *L. monocytogenes*'in yemeye hazır deniz ürünlerinde endişe verici bir patojen olduğunu, ancak tüketiciler tarafından pişirilecek çiğ balık ve deniz ürünleri için endişe verici olmadığını belirtmiştir. *Listeria* ile yoğun şekilde kirlenmiş gıdalardan kaynaklanan küçük salgınlar tanımlanmıştır (Koopmans & ark., 2023:205).

Vibrio spp.

Vibriolar, *Vibrionaceae* familyasına dahil olan Gram negatif, fakültatif anaerobik, bir veya daha fazla polar kamçıya sahip çubuk şeklinde bakterilerdir. Bu genus, halihazırda tanımlanmış 81 türü barındırmaktadır (Alter & ark., 2012:60; Diesterweg, 1992:500). Bunlardan 12'sinin insanlar için patojen olduğu kabul edilmektedir; *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *V. mimicus*, *V. fluvialis*, *V. furnissii*, *V. hollisae*, *V. alginolyticus*, *V. damsela*, *V. metschnikovii*, *V. cincinnatiensis* ve *V. carchariae* (= *V. harveyi*) (Baumgart, 1998:34; McLaughlin, 1995:476).

Vibriolar, denizel ortamın doğal florasının bir parçasıdır. Kıyı sularında yaygın olarak bulunan bu bakteriler, genellikle tropikal ve subtropikal ekosistemlerin sularından rapor edilmiş (Thompson & ark., 2004:431; Colakoglu & ark., 2006:652), kuzey ılıman ve soğuk iklimlerden ise nadiren bildirilmişlerdir (Bauer & ark., 2006:3061). Türleri farklı tuz toleransına sahip olduğundan, *Vibrio* üyeleri deniz, tatlı ve acı sularda varlık gösterebilmektedir (Buller, 2004).

Birçok *Vibrio* türü gıda kaynaklı hastalık etkeni olarak bilinmektedir. İnsanda önem arz eden patojen türler *Vibrio*

parahaemolyticus, *Vibrio cholerae* ve *Vibrio vulnificus*'dur (Elliot & ark., 1992:140; Gulig & ark., 2005:131). Hastalıklar, kontamine balık ve deniz ürünlerinin tüketilmesi veya kirli su ile temas yoluyla meydana gelebilmektedir (Bullock & ark., 1977:1249; Munn, 1977). Patojen *Vibrio* türleri insanda çoğunlukla ciddi gastroenterit, ishal ve kusmaya neden olmakta, yanı sıra yara enfeksiyonları ve sepsis vakaları da oluşturabilmektedir (Thompson & ark., 2004:431; Gulig & ark., 2005:131).

Vibrio parahaemolyticus, deniz ürünleri tüketimiyle oluşan gastroenteritin önde gelen nedeni olarak kabul edilmektedir (Su & Liu, 2007:587). *V. parahaemolyticus*, multiserogruplu bir patojendir (Alam & ark., 2009:6274; Ishibashi & ark., 2000:541), bu bakteri insan hastalığında çeşitli toksin üretebilmektedir (Nishibuchi & Kaper, 1995:2093; Zhang & ark., 2017:2005). Dünya genelinde su ürünleri tüketiminin yaygın olduğu birçok ülkede *V. parahaemolyticus* türünün (Letchumanan & ark., 2015; Butt & ark., 2004:856); çiğ, az pişmiş veya yetersiz hijyen koşullarında hazırlanmış ürünlerin tüketimi sonucu hastalığa sebep olabildiği bildirilmiştir (Joseph & ark., 1983:123; Swift & ark., 2001:270).

Vibrio cholera, genus içinde tıbbi açıdan oldukça önemli bir türdür. *V. cholerae*, 200'den fazla serogruba ayrılmaktadır (Montero & ark., 2023:24). Bakterinin tüm suşları hastalığa sebep olmamakta, çoğunlukla O1 serogrup suşları kolera toksini üretme yetenekleri nedeniyle kolera hastalığına neden olmaktadır. Bu bakteri ince bağırsakta enterotoksin üreterek hastalığına neden olmakta (Varnam & Evans, 1991:183; Vezzulli & ark., 2013:825), sulu ishal tedavi edilmezse dehidrasyona ve ölüme yol açabilmektedir (Faruque & ark., 1998:1314). *V. cholerae*'nin toksijenik olmayan suşları ise ishal, karın krampları ve ateş gibi semptomlarla seyreden gastroenterit ile ilişkilendirilmekte (Hackney & ark., 1992:533), bağışıklık sistemi zayıflamış bireylerde sepsise neden olabilmektedir (Isaac-Márquez & ark., 1998:22; Morris, 1990:191).

V. cholerae dolaylı olarak kontamine olmuş su veya gıda yoluyla bulaşan bir bakteridir. Özellikle sağlık ve hijyen koşullarının kötü olduğu ülkelerde önemli bir halk sağlığı sorunu olarak dikkate alınmaktadır (Charnley & ark., 2022:12; Montero& ark., 2023:24). *V. cholerae* salgınlarla dünya çapında her yıl milyonlarca insanı enfekte etmektedir (CDC, 2006:31).

V. vulnificus'un neden olduğu klinik vakalara, genellikle kontamine deniz ürünlerinin tüketilmesi veya kontamine suyun yaralara nüfuz etmesi neden olmaktadır (Phillips & Satchell, 2017; Baker Austin & Oliver, 2016:13). Diğer *Vibrio* türlerinin aksine, *V. vulnificus* gastroenteritten ziyade ciddi doku enfeksiyonlarına ve şiddetli seyreden sepsisemiye neden olabilen, ölüm düzeyi diğer gıda kaynaklı patojenler arasında en yüksek olan bakterilerdir (FDA/WHO, 2005; Blake & ark., 1979:5). Bağışıklığı baskılanmış kişiler; çocuklar, yaşlılar, hamile kadınlar, bağışıklık sistemini zayıflatan hastalıkları olan kişiler, birincil sepsisemik enfeksiyonlara özellikle duyarlıdır. Bu bakteri ile hastalanan bireylerde vaka/ölüm oranı %50'nin üzerindedir (Zhang & ark., 2017:2005; FAO, 2005]. Sağlıklı tüketicilerde ise bakteri, daha çok gastroenterit riski oluşturmaktadır (Hackney & ark., 1992:533).

Clostridium botulinum

Clostridium botulinum, Gram-pozitif, çubuk şeklinde, zorunlu anaerob ve hareketli bir bakteri türüdür. Bu mikroorganizma, yaygın dağılımı ve sporlu olduğundan ısıya dayanıklılığı ile karakterizedir. *C. botulinum* nedeniyle sporları toprak, sediman ve yüzey suyu ile birlikte deniz ortamında da bulunabilir (Szabo & Gibson, 2003:542). Bu bakteri, nörotoksin (botulinum) üretir, bu nörotoksin insanlarda ve hayvanlarda ağır, bazen ölümcül paraliziye neden olur, gıda kaynaklı botulizm nadir ama çok ciddidir. *C. botulinum*, botulinum toksinin antijenitesine göre gruplandırılmışlardır ve şimdi dört ayrı fenotipik grup, *C. botulinum* grupları I-IV olarak bilinmektedirler. Sekiz adet antijenik

olarak farklı toksin türü vardır ve bunlar A, B, Ca, C β , D, E, F ve G tipleri olarak adlandırılır (Austin, 2001;349). Çoğu izolat tek toksin üreticisidir, ancak bazıları birden fazla toksin üretebilir. A, B, E ve F tiplerinden dördü insanlarda botulizme neden olur, ancak F tipi toksin içeren vakalar nadirdir (Seidel, 1992).

C. botulinum balık ve diğer su ürünlerine kontaminasyonu büyük olasılıkla deniz sedimentinden kaynaklanmaktadır. Deniz ortamlarıyla ve dolayısıyla deniz ürünleriyle en sık ilişkilendirilen toksin tipi E tipidir. (Huss, 1988). Soğuk su bölgelerinde, çiğ balıkta, balıkların yakalandığı gölün dibindeki çamurda, kürlenmiş balıkta ve geleneksel fermente balık ürünlerinde tip E vakaları bildirilmiştir (St Louis & ark., 1988:368; Swaddiwudhipong & Wongwatcharapaiboon, 2000:1025). Konserve balık üretiminde ticari hatalardan kaynaklı konserveler veya paketleme hataları da zaman zaman *C. botulinum* riski ile sonuçlanır. Bakterinin varlığı genellikle şişmiş konserve yiyeceklerle ilişkilendirilir; şekilsiz konserveler, bakterilerin ürettiği gazdan kaynaklanan iç basınç artışından kaynaklanabilir (FDA, 2012) Dünya genelinde deniz ürünleri kaynaklı botulizm olaylarının çoğu geleneksel veya ev tipi; tuzlama, fermente etme, ev yapımı tutsüleme, vakum/kapalı ambalajda saklama, nedeniyle meydana gelmiştir. Tip E sıklıkla soğuk su balıkları ve geleneksel fermente balık ürünleriyle ilişkilidir (Cann, 2001; Gilbert & ark., 2006).

Aeromonas spp.

Aeromonas türleri, Gram negatif, fakültatif anaerobik, spor oluşturmeyen, çubuk şeklinde bakterilerdir (Carnahan & Joseph, 2005:578). Çoğu psikrotroftiktir, 0-+5°C arasındaki sıcaklıklarda çoğalır ve çoğu *Vibrio* türünün aksine tuzsuz ortamlarda bile büyürler. Mezofil olan hareketli *Aeromonas* türlerinin optimum üreme sıcaklığı 28 °C olmakla beraber, çoğu türün 37 °C'de iyi ürettiği belirtilmiştir. Optimum pH değeri 7.2 olan Aromonaslar pH

5–9 aralığında gelişim gösterebilmektedir (Carnahan & Joseph, 2005:578; Palumbo & Buchanan, 1988:51).

Tanınmış *Aeromonas* türlerinden 14'ünün insanda enfeksiyona neden olduğu bildirilmektedir. Enfeksiyonlara bir enterotoksin neden olur. İnsanlarda klinik yönden önem arz eden türler içerisinde; hareketli mezofilik türler olan *A. hydrophila*, *A. caviae*, *A. veronii* bv. *sobria*, bulunmaktadır (Parker & Shaw, 2011:18; Von Graevenitz, 2007:64). Bu genus üyeleri ile oluşan gastroenterit vakalarının %85'i üç türden oluşmaktadır (Janda & Abbot, 1998:334). *Aeromonas*ların insanlarda oluşturduğu hastalıklar; gastrointestinal sistem enfeksiyonları, yara ve yumuşak doku enfeksiyonları, kan yoluyla bulaşan enfeksiyonlar ve çeşitli enfeksiyonlar şeklinde incelenmektedir (Parker & Shaw, 2011:18; Janda & Abbott, 2010:73). *A. caviae* çoğunlukla pediatrik vakalarda 3 yaş altındaki çocuklarda gözlenmekte (Parker & Shaw, 2011:18), *A. hydrophila*'nın gelişmekte olan ülkelerdeki çocuklarda (Dallal & MoezArdalan, 2004:51) ve gezginlerde (Jiang & ark., 2002:502; Vila & ark., 2003:555) ishale neden olduğu da bilinmektedir.

Aeromonas spp.nin doğal yaşam alanları denizler ve tatlı sulardır (El-Hossary & ark., 2013;421). Özellikle durgun sular, denizler, atık ve kirli sular gibi sularda da yaygın olarak bulunurlar (Janda & Abbott, 2010:73). İnsan ve hayvanlarda *Aeromonas* türlerinin en önemli bulaşma kaynağı en önemli bulaşma kaynağı deniz ürünleridir. Çiğ deniz ürünlerinin tüketimi *Aeromonas* spp. ile ilgili potansiyel bir risk oluşturmaktadır (Daskalov, 2006:483). Bununla beraber bu genus üyelerinin, düşük pH değerlerinde, yüksek NaCl konsantrasyonlarında ve soğutma sıcaklıklarında büyüebilmesi, bakterinin diğer gıda ürünlerinde de risk teşkil edebilmektedir. Dolayısıyla kontamine gıdaların veya uygun olmayan koşullarda işlenmiş depolanmış gıdaların tüketilmesi yer almaktadır (Kırov & ark., 1993:168). İnsanlardaki *Aeromonas* türlerinden kaynaklanan gıda enfeksiyonları vakalarının çoğunda

istiridye ve diğer deniz ürünleri gibi gıdalar yer almaktadır (Colakoglu & ark., 2006:652) Füm somonlarda da tespit edilmiştir; ancak bu, filetolama veya paketlenme gibi ileri işlemler sırasında sıcak tütülenmiş balığın yeniden bakteri bulaşmasından kaynaklanmaktadır. *Aeromonas* türlerinin insan enfeksiyonlarındaki görülme sıklığı dünya çapında hızla artış göstermektedir (Palu & ark., 2006:509). Enfeksiyonların görülme sıklığı, bölgesel olarak beslenme alışkanlıkları ve kötü hijyen koşulları ile ilişkili değişiklik göstermektedir (Maalej & ark., 2003:2874; Boynukara & ark., 1998:242).

Balık ve Balık Ürünlerindeki Virüs Kaynaklı Tehlikeler

Virüsler, ışık mikroskobu altında görülemeyen ve diğer mikroorganizmaların aksine hücre içi parazitlerdir. Gıdalarda inerttirler, yani orada çoğalmazlar (Rzezutka & Cook, 2004:453). Gıda kaynaklı hastalıklara yol açan virüsler arasında en önemli olan, enterik virüslerdir. Bunlar gıda yoluyla alınır, bağırsağın mukozasını istila eder ve çoğaldıktan sonra dışkıyla atılır. Yetersiz hijyen koşullarında; gıda işleyicileri tarafından veya kontrol edilmeyen çalışma koşulları nedeniyle kontaminasyonlar gerçekleşebilmektedir (Farid & Committee on Evaluation of the Safety of Fishery Products 1991:432; Olaimat & ark., 2024:190). Viral kontaminasyonun ana yolu fekal-oral geçiştir (Reder, 2009).

Enterik virüsler oldukça bulaşıcıdır ve düşük enfeksiyon dozlarıyla hastalık oluşturabilirler (Todd & Greig, 2015:45). Su ürünleri; balıklar ve özellikle kabuklu deniz ürünleri (midye, istiridye vb.), viral kontaminasyon açısından yüksek riskli gıdalardır. Bu virüsler gıdalarda uzun süre canlı kalabilmektedir; soğutma veya dondurma virüsleri inaktive etmeyebilir; bu nedenle çevresel dayanıklılık kontrollü bir risk faktörüdür (Keyvan & ark., 2018:60). Su ürünleri kaynaklı gıda hastalıklarında önemli olan viral etkenler; Hepatit A, Rotavirüs ve Norovirüs olarak sayılabilir.

Hepatitis A Virus (HAV)

Hepatitis A virusu, karaciğeri hedef alan RNA virüsü olup, *Picornaviridae* familyasının enterovirüs grubuna aittir (Patil & Gupta, 2017:315). Virüs, karaciğer iltihabına neden olur ve karaciğerin işlevini olumsuz etkiler. Hepatit A/Tip A viral hepatiti, ani başlangıçlı ateş, halsizlik, mide bulantısı, iştahsızlık ve karın rahatsızlığı ile karakterize, birkaç gün sonra sarılık ile seyreden bir hastalıktır. HAV'ın klinik belirtileri, asemptomatik vakalardan sarılık, kolestatik hepatit ve nadir durumlarda fulminan hepatit gibi daha ciddi vakalara kadar geniş bir yelpazede değişir. Etken enfekte insanların dışkıyla atılır. Su veya yiyecekler, fekal yolla kontamine olur. Balıklar, kabuklu deniz ürünleri ve hatta enfekte bireylerin elle temas ettiği ısıtılmış işlem görmemiş ürünler vektör görevi görebilirler.

Rotavirus

Rotavirus *Reoviridae* ailesine ait tırlar. Küçük çocuklarda akut gastroenterit ve ishale neden olurlar. Enfeksiyöz gastroenterit ve akut viral gastroenteritin klinik tablosu, rotavirüslerin tetiklediği kusma, sulu ishal ve hafif ateş ile karakterizedir (Omatola & Olaniran, 2022;875). Bu virüsler oldukça bulaşıcıdır. Enfeksiyon gelişmesinde etken, fekal-oral yolla bulaşır. Enfekte kişiler tarafından hazırlanan ve çiğ veya az pişmiş su ürünleri, kontamine kabul edilir. Rotavirüsler genel olarak hafif-orta şiddette gastroenteritlerle ilişkilendirilmektedir.

Norovirus

Caliciviridae familyasında yer alan Noroviruslar akut gastroenteritin dünya genelinde en yaygın nedenidir. Viral gastroenterit vakalarının %95 inden sorumlu oldukları düşünülmektedir (Todd & Greig, 2015:45). Özellikle Küçük çocuklarda gastroenterit ve ishale neden olurlar. Kontamine balıklar ve özellikle kabuklu su ürünleri önemli tehlike kaynağıdır. Yetersiz hijyen koşullarında enfekte bireyler ve sular aracılığı ile

kontaminasyon gerçekleşir (Chan & ark., 2017:1354). Norovirüs çevresel koşullara oldukça dayanıklı ve hızlı bulaşma kapasitesine sahip olduğundan, çevresel bulaşmalar söz konusu olabilmektedir.

Balık ve Balık Ürünlerindeki Parazitik Protozoa ve Solucanlardan Kaynaklanan Tehlikeler

Balıklar ve diğ er su ürünleri çeşitli parazitik protozoa ve helmintler (solucanlar) için doğal konak görevi görebilmekte ve bu durum halk sağ lığı açısından önemli riskler doğ urabilmektedir. Özellikle çiğ veya az pişmiş balıkların veya diğ er su ürünlerinin tüketimi, paraziter zoonozların ortaya çıkmasında kritik rol oynamaktadır. Protozoalar ve makro parazitlerden nematodlar (yuvarlak solucanlar) ile sestodlar (tenyalar) konakçıyı besin kaynağı olarak kullanan en yaygın parazitik organizmalardır. Bulaşma genellikle hayvansal kaynaklı besinler yoluyla gerçekleşir.

Protoozoonlar

Su ürünleriyle ilişkili protozoalar, temelde balık sağ lığını etkileyen ancak dolaylı olarak da gıda güvenliği açısından önem taşıyan parazitlerdir. Su ürünlerinde gıda güvenliği açısından en önemli protozoalar arasında *Giardia lamblia*, *Toxoplasma gondii* ve *Entamoeba histolytica* bulunur. Bu protozoalar genellikle kontamine su ortamları aracılığıyla balıkların yüzeyinde veya sindirim sisteminde bulunabilir.

Giardia lamblia

Tek hücreli bir protozoan olan *Giardia lamblia*, insanlarda giardiyazise neden olur. Hastalık belirtileri arasında ishal, şişkinlik, mide bulantısı, yorgunluk ve kilo kaybı bulunur (Utaaker & ark., 2017:8). Enfekte bireylerde hastalık semptomları, aylarca hatta yıllarca sürebilmektedir. Organizmalar hayatta kalmak için serin ve nemli koşulları tercih eder. Etken enfekte bireylerin dışkısı yoluyla fekal-oral yolla bulaşır. Enfeksiyon kontamine gıdaların

tüketilmesiyle gerçekleşir (Einarsson & ark., 2016: 52). Hastalığın önlenmesi gıda hazırlığı sırasında yeterli kişisel hijyen ve gıdaların iyice pişirilmesi ile mümkün olmaktadır.

Toxoplasma gondii

Toxoplasma gondii insanlarda toksoplazmozis olarak adlandırılan enfeksiyona neden olur. Parazitin başlıca bulaşma kaynağı, kediler aracılığıyla çevreye yayılan ookistlerdir. Etkene ait ookistler yağmur suları ve atık su deşarjları yoluyla su ortamlarına gelerek su ortamlarında uzun süre canlı kalabilirler (Koloren & Demirel, 2013: 968). Kontamine sularla temas eden balıklar ve çift kabuklu yumuşakçalar temelinde, özellikle çiğ veya az pişmiş tüketilen su ürünleri için potansiyel bir halk sağlığı riski oluşturmaktadır (Valenzuela-Moreno & ark., 2019: 205). *Toxoplasma gondii*, su ürünleri aracılığıyla bulaşma potansiyeli bulunan ve halk sağlığı açısından giderek önem kazanan bir protozoan parazittir. Bu nedenle, su ürünleri üretim ve işleme zincirinde çevresel kontaminasyonun kontrolü ve risk temelli yaklaşımların benimsenmesi büyük önem taşımaktadır.

Entamoeba histolytica

Bu parazit öncelikle insanları ve primatları enfekte etmektedir. Parazit trofofaz ve kist aşaması olmak üzere iki aşamada görülür. Kist aşamasında parazitler, konak dışında suda hayatta kalır. Enfeksiyon genellikle kontamine gıdaların tüketilmesi sonucu gerçekleşmektedir. Ana bulaşma yolu fekal-oral yoldur (Shirley & ark., 2018:161). *E. histolytica* insanda gastrointestinal rahatsızlıklara veya dizanteriye (kan ve mukus) neden olmaktadır. Etken bağırsak duvarına nüfuz ederek kan dolaşımı yoluyla diğer organlara da yayılabilir. Hastalığın önlenmesi, yiyeceklerin hazırlığı sırasında kontaminasyonun önlenmesi ile mümkündür, kişisel hijyene dikkat edilmesi ve yiyeceklerin iyice pişirilmesi esastır.

Makro Parazitler - Solucan ve Kurtlar

Anisakis spp.

Yuvarlak kurtlar olarak bilinen *Anisakis*, su ürünleri kaynaklı en önemli zoonotik parazitlerden biridir. Deniz balıkları ve kalamarlarda yaygın görülen bu parazit insanlarda anisakiyazis adı verilen hastalığa neden olur. Semptomları; şiddetli karın ağrısı, bulantı ve kusma ve alerjik reaksiyonlar şeklinde görülebilmektedir (Audicana, 2022: 326). Enfeksiyon özellikle çiğ balık tüketimi; sushi, sashimi, marine balık ile ilişkilendirilmektedir. Bu parazitlerden tüketicilerin korunması için 853/2004 sayılı AB Tüzüğü; çiğ, az pişmiş, marine balık ve balık ürünlerinin minimum -20 °C veya daha düşük bir sıcaklıkta 24 saat boyunca derin dondurulmasını sonrasında işlenerek tüketime sunulmasını şart koşmaktadır.

Contracaecum aduncum

Anisakidae ailesinde yer alan bu nematodların erişkinleri deniz memelileri, enfektif larvaları ise diğer balıklarda bulunmaktadır. *Anisakis* sp ile birlikte bu tür de dünyada oldukça geniş bir yayılışa sahiptir (Umur & ark., 2006). Bu ailede bulunan bazı türler insanlarda visceral larva migrans'a neden olmalarından dolayı halk sağlığı yönünden önem taşımaktadır (Tigin & ark., 1992:119). Etkenler çiğ, az pişmiş veya marine balık tüketimi ile insanlara bulaşmaktadır (Mol, 2006:28).

Bu parazit enfeksiyonlarına dünyanın hemen her yerinde özellikle Asya ülkelerinde oldukça sık rastlanmaktadır. Son yıllarda Karadeniz'de avlanan hamsi balıklarında bu parazite ve larvalarına rastlanmakta, İnsanlarda erişkin hale dönüşemeyen bu nematodlar eosinophilic granuloma sebep olmaktadır (Özkan, 2008:29).

Diphyllbothrium latum

Diphyllbothrium latum, Cestod sınıfına ait şerit kurtlardandır. Tatlı su balıkları ile bulaşır Balık tenyaları olarak bilinir. *D. latum*,

1-2 metre (10 metreye kadar) uzunluğunda, geniş ve uzun bir tenyadır (Scholz & ark., 2009:160). Hastalığa "botriosefaloz" (tenya hastalığı) denir. Enfeksiyon, çiğ ve az pişmiş balık (somon gibi taze balık) tüketimiyle oluşur. Larvalar genellikle taze balıkların bağırsaklarında bulunur ve yutulan tenya embriyosu bağırsak duvarına yapışarak gelişir. Belirtiler arasında şişkinlik, karın krampları ve tüketimden yaklaşık 10 gün sonra ishal bulunur (Scholz & Kuchta, 2016: 38). Hastalığın önlenmesi balık ve diğer su ürünleri yemeklerini iyice pişirmek veya tuzlama, dondurma ya da tuzda saklama yöntemleri ile muamele ederek mümkündür. Tüketicilerin bu parazitlerden güvenilir bir şekilde korunmasını sağlamak için, 853/2004 sayılı AB Tüzüğü (EU, 2004), çiğ veya neredeyse çiğ balık ve balık ürünlerinin -20 °C veya daha düşük bir sıcaklıkta 24 saat boyunca derin dondurulmasını şart koşmaktadır.

Sonuç

Su ürünleri, özellikle balıklar çeşitli gıda kaynaklı patojenlerle kontamine olabilen bir gıda kategorisidir. Uluslararası verilerin de gösterdiği gibi, su ürünleri tüketimi sürekli artmakta ve tüketicilerin tercihleri minimum işlenmiş ve hazır ürünlere doğru kaymaktadır. Bu değişiklikler, uluslararası ticaretin genişlemesi ve su ürünleri yetiştiriciliğinin balık ticaretine artan katkısıyla birlikte, bu gıdalarla gerçekleşebilecek hastalık riskini artırmaktadır. Bu nedenle, ulusal hükümetler ve dünya çapında yetkili makamlar tarafından benimsenen gözetim sistemleri, kontaminasyonları önlemek ve halk sağlığını korumak için temel öneme sahiptir. Dünya çapında su ürünleri ile ilgili salgınların sayısını azaltmak, birçok farklı kuruluşun sürekli ve koordineli çabalarını gerektirmektedir. Modern işleme tesislerinde sıkı uygulamalar yürütülse de balık ve diğer deniz ürünlerinin işlenmesinde, güvenli gıda üretimini ve besin değerinin korunmasını sağlayacak teknolojilerin uygulanması esastır.

Kaynakça

Alam, M., Chowdhury, W. B., Bhuiyan, N. A., Islam, A., Hasan, N. A., Nair, G. B., et al. (2009). Serogroup, virulence, and genetic traits of *Vibrio parahaemolyticus* in the estuarine ecosystem of Bangladesh. *Applied Environmental Microbiology*. 75 6268–6274.

Alter, T., Huehn, S., E. Strauch, E., Dieckmann, R. (2012). Pathogene Mikroorganismen –Vibrio. Behr's Verlag 2012. Kapitel 5: 60.

Amagliani, G., Brandi, G., Schiavano, G.F. (2012). Incidence and role of Salmonella in seafood safety. *Food Research International* 45: 780–788.

Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA) (2018). The caviar market. Production, trade and consumption in and outside the EU. European Union, Luxembourg. 29p. ISBN: 978-92-79-97463-2

Audicana M.T. (2022). Anisakis, Something Is Moving inside the Fish Pathogens, 7;11(3): 326.

Austin J. (2001). Clostridium botulinum. In: Food Microbiology, *Fundamentals and Frontiers*. 2nd edition. Eds: MP Doyle, LR Beuchat and TJ Montville. ASM Press. Washington DC: 329-349.

Baker-Austin, C., Oliver, J.D. (2016) Rapidly developing and fatal *Vibrio vulnificus* wound infection. IDCases 6: 13.

Bauer, A., Ostensvik, O., Florvag, M., Ormen, O., Rorvik, L. M. (2006). Occurrence of *Vibrio parahaemolyticus*, *V. cholerae*, and *V. vulnificus* in norwegian blue mussels (*Mytilus edulis*). *Applied Environmental Microbiology*. 72: 3058–3061.

Baumgart, J. (1998). Vibrionen. In: Mikrobiologische Untersuchung von Lebensmitteln. Behr's Verlag, III.3, S 34.

Bibek, R. (2001). Fundamental food microbiology.

Blake, P.A., Merson, M.H., Vveaver, R.E., Hollis, D.G., Heublein, P.C., (1979). Disease caused by a marine *Vibrio*. Clinical characteristics and epidemiology. *The New England Journal of Medicine*, 300:1-5.

Bolukaoto JY, Kock MM, Strydom KA, Mbelle NM, Ehlers MM (2019) Molecular characteristics and genotypic diversity of enterohaemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 isolates in Gauteng region, *Science of the Total Environment*, 692: 297-304.

Boynukara, B., Gürtürk, K., Ihan, Z., Gülhan, T., Ögün, E., Ekin, H. (1998). Van Gölü'nde yaşayan *Chalcalburnus tarichii* balıklarından izole edilen *Aeromonas*'ların görülme sıklığı. *Van Tıp Dergisi*, 5: 239-242

Brands, D.A., Inman, A.E., Gerba, C. P., Maré, C. J., Billington, S.J., Saif, L.A., Levine, J.F., Joens, L.A. (2005). Prevalence of *Salmonella* spp. in Oysters in the United States. *Applied and Environmental Microbiology*, 71: 893 – 897.

Buller, N.B. (2014). Bacteria and fungi from fish and other aquatic animals. A Practical Identification Manual, 2 nd edition. *CABI Publishing* (UK).

Bullock, G. L., Stuckey, H. M., (1977). UV treatment of water for destruction of 5 gram-negative bacteria pathogenic to fishes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34, 1244-1249.

Butt, A.A., Aldridge, K.E., Sanders, C.V. (2004). Infections related to the ingestion of seafood. Part I. viral and bacterial infections. *The Lancet Infectious Diseases*, 4:201–212.

CDC. (2006). *Vibrio parahaemolyticus* infections associated with consumption of raw shellfish—three states. *Morbidity and Mortality Weekly Report*; 55 (31): 854-856.

Cann, D. C. (2001). Botulism and Fishery Products. Ministry of Agriculture, *Fisheries and Food Torrey Research Station Torrey Advisory Note*, No. 22 (revised)

Carnahan A.M., Joseph, S.W. (2005). Order XII. Aeromonadales, in Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Vol. 2 Part B, D. J. Brenner, N. R. Krieg, and J. T. Staley, Eds., pp. 556–578, *Springer*, New York.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2006). Foodborne outbreak tracking and reporting. p 1–31. In *OutbreakNet, Annual Listing of Foodborne Disease Outbreaks*, United States, Atlanta. <https://www.cdc.gov/foodborneoutbreaks/>.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2012). National Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) surveillance overview. US Department of Health and Human Services.

Charnley, G.E.C, Kelman, I, Murray, K.A. (2022). Drought-related cholera outbreaks in Africa and the implications for climate change: a narrative review. *Pathogens and Global Health*, 116:3–12.

Chan, M.C.W., Chen, H. Y., Podkolzin, H., Zaytseva, A.T., Komano, E.V., et al. (2017). Global spread of norovirus GII.17 Kawasaki 308, 2014–2016. *Emerging Infectious Diseases*, 23:1359–1354.

Colakoglu, F.A., Sarmasik, A., Koseoglu, B., (2006). Occurrence of *Vibrio spp.*, in shellfish harvested off Dardanelles coast of Turkey. *Food Control*, 17: 648-652.

Dallal, M. M. S., MoezArdalan, K. (2004). *Aeromonas spp* associated with children's diarrhoea in Tehran: a case-control study, *Annals of Tropical Paediatrics*, 24(1): 45–51.

Daskalov H. (2006). The importance of *Aeromonas hydrophila* in food safety. *Food Control*, 17:474-483

Diesterweg, I. (1992). *Vibrionaceae* J. Kiesewalter, G. Seidel (Eds.), *Bakterielle Lebensmittelinfektionen und intoxicationen*, Hgg, Akademie Verlag, Berlin, p. 500.

Einarsson; E., Ma'ayeh, S., Svärd S.W. (2016). An up-date on *Giardia* and giardiasis. *Review Current Opinion in Microbiology*, 34:47-52.

El-Hossary, D., Asmaa, M., Elariny E.Y.T., Askora, A., Mervad, A.M.A., Saber, T., Dahshan, H., Hakami, N.Y., Ibrahim, R.A. (2013). Antibiotic resistance, virulence gene detection, and biofilm formation in *Aeromonas* Spp. Isolated from fish and humans in Egypt. *Biology*, 12, 421.

Elliot, E.L., Kaysner, C.A., Tamplin M.L. (1992). *V. cholerae*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus* and other *Vibrio* spp. *Food and Drug Administration Bacteriological Analytical Manual*, Association of Official Analytical Chemists International, Arlington, p. 111–140.

Elliot, E.L., Kvenberg, J.E. (2000). Risk assessment used to evaluate the US position on *Listeria monocytogenes* in seafood. *International Journal of Food Microbiology*, 62:253–260.

EU Regulation (EC) (2004). No 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2004/853/oj/eng>

Farid E. A., & Committee on Evaluation of the Safety of Fishery Products (1991). Microbiological and Parasitic Exposure and Health Effects In: *Seafood Safety. National Academies Press*, 432 p. ISBN-10: 0-309-04387-5.

Faruque, S. M., Albert, M. J., Mekalanos, J, J, (2018). Epidemiology, genetics, and ecology of toxigenic *Vibrio cholerae*. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 62(4):1301-14.

FDA, (2008). National Advisory Committee on Microbiological Criteria For Foods. Response to the questions posed by the Food and Drug Administration and the National Marine Fisheries Service regarding determination of cooking parameters for safe seafood for consumers. *Journal of Food Protection*, 71:1287–1308.

FDA (2012). *Clostridium botulinum*. Bad Bug Book: Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins Handbook. 108–112. Accessed November 20, 2024.

Feldhusen, F. (2000.) The role of seafood in bacterial foodborne diseases. *Microbes and Infection*, 2:1651–1660.

Food and Agricultural Organization of the United Nations /World Health Organization. (FDA/WHO) (2005). Risk assessment of *Vibrio vulnificus* in raw oysters. *Microbiological Risk Assessment Series*, No. 8. 114p.

Gannon, V. P. J., Graham, T. A., Read, S., Ziebell, K., Muckle, A., Mori, J., Thomas, J., Selinger, B., Townshend, I., Byrne, J. (2004). Bacterial Pathogens in Rural Water Supplies in Southern Alberta, Canada *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*, Part A, 67: 1643–1653.

Gilbert, S., Lake, R., Hudson, A., Cressey, P. (2006). Risk profile: *Clostridium botulinum* in Ready-to-Eat-Smoked Seafood in Sealed Packing. Crown Research Institute. New Zeland.

Greig, J. D.& Ravel, A. (2009) Analysis of foodborne outbreak data reported internationally for source attribution. *International Journal of Food Microbiology*, 31;130(2): 77-87.

Gulig, P. A., Bourdage, K. L., Starks, A. M. (2005). Molecular pathogenesis of *Vibrio vulnificus*. *Journal of Microbiology*, 43: 118-131.

Hackney, C.R., M.B. Kilgen, and H. Kator. (1992). Public health aspects of transferring mollusks. *Journal of Shellfish Research*, 11(2): 521-533.

Haley B. J., Cole, D. J., Lipp, E.K. (2009). Distribution, diversity, and seasonality of waterborne salmonellae in a rural watershed. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(5): 1248-55.

Harrison, M. A., Huang, Y.W. (1990). Thermal death times for *Listeria monocytogenes* (Scott A) in crabmeat. *Journal of Food Protection*, 53:878–880.

Heinitz, M.L, Johnson, J.M. (1998). The incidence of *Listeria spp.*, *Salmonella spp.*, and *Clostridium botulinum* in smoked fish and shellfish. *Journal of Food Protection*, 61: 318–323.

Heinitz, M.L, Ruble, R.D., Wagner, D.E., Tatini, S.R. (2000). Incidence of *Salmonella* in fish and seafood. *Journal of Food Protection*, 63: 579–592.

Hobbs, G., Hodgkiss, W. (1982). The Bacteriology of Fish Handling and Processing. In: Developments in Food Microbiology- 1. Davies, R. (Ed.), *Applied Science Publishers Ltd Barking, England*,: 71-117

Hood, M.A., Ness, G.E., Rodrick, G.E. (1981). Isolation of *Vibrio cholerae* serotype O1 from the eastern oyster, *Crassostrea virginica*. *Applied and Environmental Microbiology*, 41:559–560.

Huss, H.H. (1988). Fresh fish-quality and quality changes, FAO Roma.

Isaac-Márquez, A.P., Lezama-Dávila, C.M., EslavaCampos, C., Navarro-Ocaña, A., Cravioto-Quintana, A., (1998). Serotypes of *Vibrio cholerae* Non-O1 Isolated from Water Supplies for Human Consumption in Campeche, México and their Antibiotic Susceptibility Pattern. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, Vol. 93(1): 17-22.

Ishibashi, M., Shimada, K., Honda, T., Sugiyama, T., Miwatani, J. (2000). Current status of OK serotype combinations of *Vibrio parahaemolyticus*. *Nippon Saikingaku Zasshi*, 55, 539-541.

Janda, J.M., Abbot, S.L. (1998). Evolving concepts regarding the genus *Aeromonas*: an expanding panorama of species, disease presentations and unanswered questions. *Clinical Infectious Diseases*, 27: 332-334

Janda J.M, Abbott S.L. (2010). The Genus *Aeromonas*: Taxonomy, Pathogenicity, and Infection. *Clinical Infectious Diseases*, 23:35-73.

Jiang, Z.D., Lowe, B., Verenkar, M.P., Ashley, D., Steffen.R., Tornieporth, N., von Sonnenburg,P., Waiyaki,P., L. DuPont, H. (2002). Prevalence of enteric pathogens among international travelers with diarrhea acquired in Kenya (Mombasa), India (Goa), or Jamaica (Montego Bay), *Journal of Infectious Diseases*, 185(4): 497–502.

Joseph, S. W., Colwell, R. R., and J. B. Kaper. (1983). *Vibrio parahaemolyticus* and related halophilic vibrios. *Critical Reviews in Microbiology*, 10:77-123.

Keyvan, E., Kahraman, H.A., Şen, E., Yurdakul, Ö. (2018). Viral Gıda Enfeksiyonlarında Korunma ve Kontrol. *Türkiye Klinikleri Journal of Food Hygiene and Tecnology -Special Topics*, 4(1):54-60.

Kırov, S.M., Ardestani, E.K., Hayward, L.J. (1993). The growth and expression of virulence factors at refrigeration temperature by *Aeromonas strains* isolated from foods. *International Journal of Food Microbiology*, 20: 159-168.

Koch, A.L, (1982). On the growth and form of *Escherichia coli*. *Journal of General Microbiology*, 128(11): 2527-39.

Koloren, Z. & Demirel, E. (2013). Detection of *Toxoplasma gondii* in Turkish River and Drinking Water Samples by Different PCR and LAMP Methods. *Clean – Soil, Air, Water* 41(10): 963–968

Koonse, B., Burkhardt, WIII, Chirtel, S., Hoskin, G.P. (2005). Salmonella and the sanitary quality of aquacultured shrimp. *Journal of Food Protection*, 68:2527–2532.

Koopmans, M., von Bonsdorff, C.H., Vinjé, J., de Medici, D., Monroe, S. (2002). Foodborne viruses. *FEMS Microbiology Reviews*, 26:187–205.

Koopmans, M. M, & Brouwer, M.C., Vazquez-Boland, J.A., van de Beek, D. (2023) Human listeriosis. *Clinical Microbiology Reviews*, 36(1): e0006019

Kuhn, H., B. Gericke, M. Klepp, G. Fellmann, W. Rabsch. (1994). Ausbruch von *Salmonella paratyphi* B-infektionen im zusammenhang mit dem genuss von raucherfisch. *Gesundheitswesen*, 56: 211–214.

Lennon, D. F., Lewis, B. F., Mantell, C.F., Becfort, D.M.D., Dove, B., Farmer, K., Tonkin, S.M.B., Yeates, N., Stamp, R., Mickleson, K.F. (1984). Epidemic perinatal listeriosis. *Pediatric Infectious Disease*, 3(1): 30-34.

Letchumanan, V., Pusparajah, P., Tan, L.T., Yin, W.F., Lee, L.H., Chan, K.G. (2015). Occurrence and Antibiotic Resistance of *Vibrio parahaemolyticus* from Shellfish in Selangor, Malaysia. *Frontiers in Microbiology*, 6: 1417.

Liston, J. (1980). Fish and shellfish and their products, p.567-605. In: J.H.Silliker, R.P.Élliot, A.C. Baird-Parker, F.L. Bryan, J.H.B. Christian, D.S. Clark, J.C. Olsan and T.A. Roberts (eds.), *Microbial Ecology of Foods*, Vol.II, Academic Press, New York.

Maalej, S., Mahjoubi, A., Elazri, C. Dukan, S. (2003). Simultaneous effects of environmental factors on motile *Aeromonas* dynamics in an urban effluent and in the natural seawater, *Water Research*, 37(12): 2865–2874.

McLaughlin, J.C. (1995). *Vibrio*. In *Manual of Clinical Microbiology*, 6th edn ed. Murray, P.R., Baron, E.J., Tenover, F.C. and Tenover, F.C. and Tenover, R.H. pp. 465-476. Washington, D.C.: ASM Press.

Mol, S. (2006). Çiğ Balık (Sushi) ve Sağlığımız. Bursa Uludağ University Journal of Faculty of Veterinary Medicine, 25 (1-2): 23-28.

Morris J.G. (1990). Non-O Group I *Vibrio cholerae*: A look at the epidemiology of an occasional pathogen. *Epidemiologic Reviews*, 12: 179-191.

Montero, D.A., Vidal, R.M., Velasco, J., George, S., Lucero, Y., Gómez, L.A., Carreño, L.J., García-Betancourt, R., O’Ryan, M., (2023). *Vibrio cholerae*, classification, pathogenesis, immune response, and trends in vaccine development. *Frontiers in Medicine*, 10, p. 1-24.

Munn, C. B. (1977). Vibriosis in fish and its control. *Fish Management*, 8:11-15.

National Advisory Committee on Microbiological Criteria For Foods. (2008). Response to the questions posed by the Food and Drug Administration and the National Marine Fisheries Service regarding determination of cooking parameters for safe seafood for consumers. *Journal of Food Protection*, 71:1287–1308.

Nesse, L.L., Refsum, T., Heir, E., Nordby, K., Vardund T., Holstad, G. (2005). Molecular epidemiology of *Salmonella* spp. isolates from gulls, fish-meal factories, feed factories, animals and humans

in Norway based on pulsed-field gel electrophoresis. *Epidemiology & Infection*, 133; 53–58

Nishibuchi, M., Kaper, J.B. (1995). Thermostable direct hemolysin gene of *Vibrio parahaemolyticus*: a virulence gene acquired by a marine bacterium. *Infection and Immunity*, p.2093-99.7.

Lennon D, Lewis B, Mantell C, Becroft D, Dove B, Farmer K, Tonkin S, Yeates N, Stamp R, Mickleson K. (1984). Epidemic perinatal listeriosis. *Pediatric Infectious Disease*, 3:30–34.

Olaimat, A.N., Taybeh, A.O., Al-Nabulsi, A., Al-Holy, M., Hatmal, M.M., Alzyoud, J., Aolymat. I., Abughoush M.H, Shahbaz, H., Alzyoud, A., Osaili, T., Ayyash, M., Coombs, K.M, Holley, R. (2024). Common and potential emerging foodborne viruses: a comprehensive review. *Life (Basel)* 14:190.

Omatola, C. A., & Olaniran, A, O. (2022). Rotaviruses: From Pathogenesis to Disease Control- *A Critical Review Viruses*, 14(5): 875

Osek, J., Wiczorek, K. (2023). Why does *Listeria monocytogenes* survive in food and food-production environments? *Journal of Veterinary Research*, 19;67(4): 537-544.

Özkan, Y. (2008). Erzurum ili Marketlerinde Satılan Bazı Denizel Teleost Balıklarda Ratlanılan Nematodların Dağılımı. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı. 29 p.

Page, A. V, & Liles, W. C. (2013). Enterohemorrhagic *Escherichia coli* Infections and the Hemolytic-Uremic Syndrome. *Medical Clinics of North America*, 97(4): 681–695.

Palu, A.P., Gomes, L.M., Miguel, M.A.L., Balassiano, I.T., Querioz, M.L.P., Almeida, A.C.F., Oliveira, S.S. (2006), Antimicrobial Resistance in Food and Clinical *Aeromonas* Isolates, *Food Microbiology*, 23: 504-509.

Palumbo, S.A., Buchanan, R.L. (1988). Factors affecting growth or survival of *Aeromonas hydrophila* in foods. *Journal of Food Safety*, 9: 37-51

Parker, J.L., Shaw, J.G. (2011). *Aeromonas* spp. clinical microbiology and disease. *Journal of Infection*, 62(2):10-18.

Patil, V.M., Gupta, S.P. (2017). Studies on Picornaviral Proteases and Their Inhibitors. In: Viral Proteases and Their Inhibitors. Ed. Gupta, S.P. *Academic Press*, 263-315.

Pelroy GJ, Peterson M, Paranjpye R, Almond J, Eklund M. 1994. Inhibition of *Listeria monocytogenes* in cold-process (smoked) salmon by sodium nitrite and packaging method. *Journal of Food Protection*, 57:114–119.

Phillips, K.E., Satchell, K.J.F. (2017). *Vibrio vulnificus*: from oyster colonist to human pathogen. *PLOS Pathogens*, 13: e1006053.

Reder, S., (2009) Keine Ungebetenen gaste am Fischbuffet Haccp-Im Cateringbereich. Mag. rer.nat.Univ.Wien.

Rzezutka, A.& Cook, N. (2004). Survival of human enteric viruses in the environment and food. *FEMS Microbiology Reviews*, 28(4): 441-53.

Seidel, G. (1992). *Clostridium botulinum*. In: Bakterielle Lebensmittel infektionen und – intoksinonen. Ed. Seidel G, Kiesewalter J. Akedemie Verlag.

Serrano, P. H. (2005). Responsible use of antibiotics in aquaculture, *Food & Agriculture Organization*, 469.

Shirley, D.T., Farr, L., Watanabe, K., Moonah, S. (2018). A Review of the Global Burden, New Diagnostics, and Current Therapeutics for Amebiasis *Open Forum Infection Disease*, 5; 5(7): 161.

Scholz, T., Garcia, H.H., Kuchta, R., Wicht, B., (2009). Update on the Human Broad Tapeworm (Genus *Diphyllobothrium*), Including Clinical Relevance. *ASM Journals Clinical Microbiology Reviews*, 22(1): 146-160.

Scholz, T. & Kuchta, R. (2016). Fish-borne, zoonotic cestodes (*Diphyllobothrium* and relatives) in cold climates: A never-ending story of neglected and (re)-emergent parasites. *Food and Waterborne Parasitology*, 4: 23-38.

Su, Y.C., Liu, C. (2007). *Vibrio parahaemolyticus*: A concern of seafood safety. *Food Microbiology*, 24(6):549-587.

ST Louis, M. E., Peck, S. H. , Bowering, D., Morgan, G. B., Blatherwick, J., Banerjee, S., Kettyls, G. D., Black, W. A., Milling, M. E. & Hausschild, A. H. (1988). Botulism from chopped garlic: Delayed recognition of a major outbreak, *Annals of Internal Medicine*, 108, 363–8.

Swaddiwudhipong, W. and Wongwatcharapaiboon, P. (2000) Foodborne botulism outbreaks following consumption of home-canned bamboo shoots in Northern Thailand, *Journal of the Medical Association of Thailand*, 83, 1021–5.

Swift, S., Downie, J. A., Whitehead, N. A., Barnard, A. M., Salmond, G. P., Williams, P. (2001). Quorum sensing as a population-density-dependent determinant of bacterial physiology. *Advances in Microbial Physiology*, 45, 199–270.

Szabo, E.A., Gibson, A.M. (2003). *Clostridium botulinum*: In: Foodborne Microorganisms of Public Health Significance. 6th edition. Eds:AD Hocking. Australian Institute of Food Science and Technology Inc., NSW Branch, *Food Microbiology*, Group:505-542.

TGK (2010). Türk Gıda Kodeksi, Gıda Etiketleme ve Tüketicileri Bilgilendirme, Yönetmeliği Hakkında Klavuz

https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Gida_Isletmeleri/temp/TGK_Gida_Etiketleme_Tuketici_Bilgilendirme_Yonetmelik_Kilavuzu.pdf.

Thomas, C.M., Foster, A., Boop, S., Kirschke, D., Mooney, H., Reid, I., May, A.S., Mullins, H., Garman, K.N., Golwalkar, M., Marr, J.H., Orejuela, K., Ripley, D., Rasnic, R., Terrell, E., Durso, L.M., Schaffner, W., Jones, T.F. (2023). Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157:H7 outbreak associated with school field trips at a farm animal exhibit— Tennessee. *Zoonoses Public Health*, 2024, 1–7.

Thompson, F.L, Lida, T., Swings, J. (2004). Biodiversity of vibrios. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 68: 403–431.

Tiğın, Y., Burgu, A., Doğanay, A., Öge, H., Öge, S. (1992). Balık parazitleri. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, 1: 103-119.

Todd, E.C.D. & Greig, J.D. (2015). Viruses of foodborne origin: a review. *Virus Adaptation and Treatment*, 7: 25-45

Tülsner, M., (1994). Fischverarbeitung. Rohstoffeigenschaften und Grundlagen der Verarbeitungsprozesse. Behrs Verlag.

Umur Ş, Köroğlu E, Tınar R, Güçlü F. (2006). Nematoda. In: *Helmintoloji*.Ed;Tınar R. Nobel Basımevi.

Utaaker, K.S., Kumar, A., Joshi, H., Chaudhary, S., Robertson, J. (2017). Checking the detail in retail: Occurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* on vegetables sold across different counters in Chandigarh, India. *International Journal of Food Microbiology*, 18:263:1-8.

Valenzuela-Moreno, L.F., Rico-Torres, C.P., Cedillo-Peláez, C., Luna-Pastén, H., Méndez-Cruz, S.T., Lara-Martínez, G., Correa, D., Caballero-Ortega, H. (2019). Mixed *Toxoplasma gondii* infection and new genotypes in feral cats of Quintana Roo, México. *Acta Tropica* 193, 199-205.

Varnam, A.H., Evans, M.G. (1991). *Vibrio*. In: Foodborne Pathogens: An Illustrated Text, Wolfe Publishing Ltd, 157-183.

Vezzulli, L., Colwell, R.R., Pruzzo, C. (2013). Ocean Warming and Spread of Pathogenic Vibrios in the Aquatic Environment. *Microbial Ecology*, 65: 817:825.

Vila, J. Ruiz, J., Gallardo, F., Vargas, M., Soler, L., Figueras, M.J., Gascon, J. (2003). *Aeromonas* spp. and traveler's diarrhea: clinical features and antimicrobial resistance. *Emerging Infectious Diseases*, 9(5): 552–555.

Von Graevenitz A. (2007). The Role of *Aeromonas* in Diarrhea: a Review. *Journal of Infection*, 35: 59–64.

Wan Norhana, M.N., Poole, S.E., Deeth, H.C., Dykes, G.A. (2010). The effects of temperature, chlorine and acids on the survival of *Listeria* and *Salmonella* strains associated with uncooked shrimp carapace and cooked shrimp flesh. *Food Microbiology*, 27(2):250-256.

Zhang, Y., Gao, H., Osei-Adjei, G., Zhang, Y., Yang, W., Yang, H., Yin, Z., Huang, X., Zhou, D. (2017). Transcriptional regulation of the type VI secretion system 1 genes by quorum sensing and ToxR in *Vibrio parahaemolyticus*. *Frontiers in Microbiology*, 8, p 2005.

BÖLÜM 2

İNŞAAT VE YIKINTI ATIKLARINDA KİRLETİCİLER VE EKOTOKSİSİTE

FATMA ÇEVİK¹

Giriş

Yirmi birinci yüzyıla girilmesiyle birlikte dünya, doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevresel bozulma ve iklim değişikliği gibi küresel ölçekte etkiler yaratan sorunlarla daha görünür biçimde yüzleşmek zorunda kalmıştır. Bu süreçte “sürdürülebilirlik”, “küresel ısınma” ve “geri dönüştürülmüş malzeme” gibi kavramlar, çevre politikalarının ve bilimsel araştırmaların merkezinde yer almaya başlamıştır. Çevresel sorunların küresel boyutta ele alınması gerekliliği ilk kez 1972 yılında Stockholm Konferansı’nda dile getirilmiş, bu gelişmeyi Birleşmiş Milletler Çevre Programı’nın kurulması izlemiştir. Ardından sürdürülebilirlik kavramı, 1987 yılında Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından tanımlanmış ve çevre koruma ile kalkınma arasındaki dengenin sağlanması temel hedef olarak benimsenmiştir (Bilgen, 2021).

¹ Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Orcid: 0000-0002-9719-3835

İnşaat ve yıkım atıkları (İYA), yalnızca yapıların yıkılması sonucu ortaya çıkan molozlarla sınırlı olmayıp; yapım, bakım, onarım ve yenileme süreçlerinin tamamında oluşan atıkları kapsamaktadır. Artan nüfus, kentleşme, kentsel dönüşüm uygulamaları ve doğal afetler, özellikle gelişmekte olan ülkelerde inşaat ve yıkım atığı miktarlarını daha da artırmaktadır. Her yıl dünya çapında 10 milyar tondan fazla inşaat ve yıkım atığı üretilmekte olup, bunun yaklaşık 700 milyon tonu Amerika Birleşik Devletleri'ne, 800 milyon tondan fazlası Avrupa Birliği'ne, ve yaklaşık 2300 milyon tonu Çin'e aittir (Wu, Zuo, Zillante, Wang, & Yuan, 2019). Gelişmiş ülkelerde, İYA'ların geri dönüşümü yasa ve politikalarla düzenlenmiş ve geri dönüşüm oranları %90'ı çoktan aşmıştır. Avustralya'da bu tür atıkların neredeyse %90'ı, Japonya'nın geri dönüşüm oranı 2012'de %99,5 olup Singapur %99,9 ile en yüksek geri dönüşüm oranını göstermiştir (Mah, Fujiwara, & Ho, 2018).

Kontrolsüz biçimde çevreye bırakılmaları hâlinde; toprak ve su kirliliği, halk sağlığı riskleri ve görsel kirlilik gibi çok yönlü sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, İYA'ların etkin biçimde yönetilmesi, geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması, hem çevresel zararların azaltılması hem de yeniden yapılaşma sürecinin sağlıklı biçimde ilerlemesi açısından kritik öneme sahiptir.

Türkiye'de yapısal atıkların yönetimine ilişkin yasal düzenlemelerde 1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanunu çerçeve yasa niteliğinde olup atık yönetimine ilişkin temel ilkeleri tanımlamaktadır. İnşaat ve yıkım atıklarına özgü düzenlemeler ise 2004 yılında yürürlüğe giren Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği ile ayrıntılandırılmış; bu düzenleme ile atıkların toplanması, taşınması, geri kazanımı ve bertaraf süreçlerine ilişkin teknik ve idari esaslar belirlenmiştir. 2015 yılında yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği ise atık yönetimini bütüncül bir yaklaşımla ele alarak, farklı atık türleri için

ortak bir mevzuat çerçevesi oluşturmuştur (Buzkan & Erman, 2020).

İYA'ların çevre üzerindeki etkilerine ilişkin endişelerin artmasıyla birlikte disiplinler arası yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tehlikeli atık maddeler, yüksek sızıntı potansiyeli nedeniyle düzenli depolama sahası yüzeyinde bertaraf edilememektedir. Çevre üzerindeki etki ekotoksikolojik potansiyel açısından da değerlendirilmelidir. (Mocová, Roztočilová, & Mariaková, 2022). Çevresel kaygılardan dolayı İYA'ların fiziksel ve mekanik özelliklerine ek olarak, sızıntı sularının bir sorun olup olmayacağını belirlemek için ekotoksikolojik risklerini analiz etmek önemlidir. Ekotoksisiteyi değerlendirmek için farklı trofik düzeyler için biyolojik testler yapılmalıdır. Bu tür testler pahalı ve yüksek düzeyde uzmanlık gerektirdiği için de çalışmaların eksikliğine yol açmaktadır (Maia ve diğ., 2022).

Bu derleme ekotoksisite çalışmalarının artması için hazırlanmış bir ön bilgi olup İYA ve geri dönüştürülmüş agrega (RA) fraksiyonlarında yer alan başlıca kirletici gruplarını (ağır metaller/inorganikler, kalıcı organik kirleticiler ve asbest) ve bu bileşenlerin ekosistemler üzerindeki potansiyel etkileri ekotoksikolojik bir çerçevede ele alınmıştır.

İnşaat ve Yıkıntı atıklarının İçeriği

Konut, köprü, yol ve benzeri yapıların tamirâtı, tadilatı, yenilenmesi, yıkımı ve doğal afetler sonucu oluşan atıklar olan inşaat ve yıkıntı atıkları (İYA), inşaat tekniği seçimine ve kullanılan malzemelerin cinsine bağlı olarak değişmektedir. Tipik olarak betonarme, beton, sıva, tuğla, biriket, tahta, cam, metal parçası (çelik alüminyum, bakır, pirinç) alçı kartonpiyer, kiremit, plastik, elektrik malzemeleri, borular ve asfalt malzemeleri gibi materyalleri içermektedir. İYA'ların bölgesel bazlı profiline bakıldığında da atık karakterizasyonu değişim göstermektedir.

Örneğin Hollanda ve Danimarka’da, inşaat atığının %80-85’i beton ve duvar malzemesi, Kuveyt’te ise inşaat ve yıkıntı atığının yaklaşık %30’u betondur (Ölmez & Yıldız, 2008). Genel olarak beton ve duvar, özellikle Akdeniz ülkelerinde İYA’larda hakim olan malzeme fraksiyonudur (Diotti, Plizzari, & Sorlini, 2021). İYA’ların küçük bir kısmı, insan sağlığı, doğal çevre ve toplum üzerinde ciddi etkileri olan tehlikeli bileşenler, örneğin, asbest, içermektedir. Bu nedenle, inşaat ve yıkım atıklarının ve ilgili etkilerin yönetilmesi acil bir ihtiyaçtır (Wu ve diğ., 2019).

6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye’de 11 ili etkileyen büyük depremler sonucu yıkılan veya hasar gören yapıların ürettiği İYA’ların kütsel miktarlarını analiz edilmiş, atık kompozisyonunu da hesaplanarak tehlikeli, geri dönüştürülebilir atıklar, hurda ve mineral miktarları da belirlenmiştir (Tablo 1). Bu hesaplama göre %1.5 tehlikeli madde (kontamine toprak ve taş ya da asbestli inşaat içeriği), %16.8 toprak ve taş, %22.4 bitümlü karışımlar ve ahşap atığı, geriye kalan %59’luk kısmının geri dönüştürülebilir beton, tuğla, kiremit, seramik gibi karışımlardır (Doğdu & Alkan, 2023).

Tablo 1. 11 İl depremleri için ortalama kütsel İYA dağılımı

	Yaklaşık kütsel atık miktarı (ton) (Temelli vd., 2023)	*Tehlikeli maddeler (ton)	Toprak ve taş karışımı (ton)	Bitümlü karışımlar ve ahşap atıklar (ton)	**Mineral fraksiyon atığı (ton)	Betonarme atık miktarı (ton)	Hurda demir atığı miktarı (ton) (Temelli vd., 2023)
Adana	552.024,00	8.280,36	92.740,03	123.653,38	325.694,16	220.809,60	5.330,00
Adıyaman	10.519.872,00	157.798,08	1.767.338,50	2.356.451,33	6.206.724,48	4.207.948,80	101.576,00
Diyarbakır	1.608.574,00	24.128,61	270.240,43	360.320,58	949.058,66	643.429,60	15.532,00
Elazığ	1.899.172,00	28.487,58	319.060,90	425.414,53	1.120.511,48	759.668,80	18.338,00
Gaziantep	5.451.985,00	81.779,78	915.933,48	1.221.244,64	3.216.671,15	2.180.794,00	52.642,00
Hatay	40.252.685,00	603.790,28	6.762.451,08	9.016.601,44	23.749.084,15	16.101.074,00	388.664,00
Kahramanmaraş	18.573.962,00	278.609,43	3.120.425,62	4.160.567,49	10.958.637,58	7.429.584,80	179.343,00
Kilis	470.118,00	7.051,77	78.979,82	105.306,43	277.369,62	188.047,20	4.539,00
Malatya	13.374.053,00	200.610,80	2.246.840,90	2.995.787,87	7.890.691,27	5.349.621,20	129.135,00
Osmaniye	3.012.757,00	45.191,36	506.143,18	674.857,57	1.777.526,63	1.205.102,80	29.090,00
Şanlıurfa	1.152.481,00	17.287,22	193.616,81	258.155,74	679.963,79	460.992,40	11.128,00
Toplam	96.867.683,00	1.453.015,25	16.273.770,74	21.698.360,99	57.151.932,97	38.747.073,20	935.317,00

*Kontamine olmuş toprak ve taşlar veya asbestli inşaat malzemelerinin bir karışımı

**Geri dönüşüm için yüksek bir potansiyele sahip beton, tuğla, kiremit ve seramik karışımları

(Doğdu & Alkan, 2023)

İYA’ların potansiyel olarak küçük bir kısmını oluşturan tehlikeli maddeler içeren maddelerin çoğu, hava koşullarına

dayanıklılığın, mimari ve estetik niteliklerin arttırılması dahil olmak üzere çeşitli amaçlarla çeşitli ürünlerin imalatında kullanılmaktadır. Ayrıca inşaat malzemelerine dahil edilirler ve inşaat ve/veya yıkım faaliyetlerinin atık içeriğine karışırlar. Bu maddelerin bazıları kurşun ve poliklorlü bifenil içeren boyalarla kaplanmış yapı bileşenlerini; asbest içeren yalıtım, yer karoları ve macunlar; poliaromatik hidrokarbonlar içeren asfalt çatı kaplama ve hava koşullarına dayanıklılık ürünleri; arsenik, krom ve bakır içeren ağaç parçaları; cıva ve kadmiyum içeren elektronik cihazlar; ve ağır metal içeren bataryalara sahip aydınlatma sistemleridir. Yapı ürünleri genellikle yukarıda bahsedilenlerden çok daha fazla kimyasal madde içeren karmaşık karışımlardır. İnşaat malzemelerinin ana bileşenlerine ek olarak, bunların imalatına yönelik işlem kalıntıları ve plastikleştiriciler, dengeleyici maddeler, pigmentler, yüzey aktif maddeler ve çözücüler gibi katkı maddeleri nihai İYA içeriğine katkıda bulunur. İnşaat malzemeleri kullanım ömürleri boyunca henüz bilinmeyen maddelere dönüşümlere uğrayabilmektedirler (Molla ve diğ., 2021).

Metaller ve inorganik kimyasallar

Her türlü hava koşuluna dayanıklılığı ve her açıdan sağlamlığı ve esnekliği nedeniyle yapısal kullanımlarının yanı sıra, çürüme ve hava koşullarına karşı yalıtım malzemelerinde, elektrik kablolarında, çatı ve duvar kaplamalarında, boya formülasyonları ve ahşap kaplamalarında farklı türde ağır metaller kullanılmaktadır. Bu metaller arsenik, krom, bakır, kadmiyum, kurşun gibi metallerdir. Ayrıca, İYA sahası sızıntılarında metan, hidrojen sülfür ve cıva buharı gibi yüksek konsantrasyonlarda toksik gazlar rapor edilmiştir. İnşaatla kullanılan ahşabı korumak için kromatlı bakır arsenat (CCA) artık kullanılmamakla birlikte kromatlı bakır arsenat ile işlenmiş ahşabın uzun ömürlü olması nedeniyle İYA'larda bulunması muhtemeldir (Molla ve diğ., 2021). Depolama

sahasındaki alçı bazlı alçıpan içeren karışık yıkım atıkları hidrojen sülfat gazı üretebilmektedir (Wu ve diğ., 2019).

Malzemenin ve ortamının pH'sı birçok bileşenin salınımının belirlenmesinde çok önemlidir. pH, hem İYA'lar hem de RA'lar için genellikle alkalidir. Betondan oluşan İYA'lar yüksek alkaliniteye sahiptirler. Ancak bu durum malzemenin içerdiği betonun özelliklerine ve yaşına bağlı olarak değişebilir. Genç betondan elde edilen RA'lar güçlü alkaline pH değerlerine ($\text{pH} > 13$) sahipken, eski karbonatlı betonlardan üretilen RA'lar daha düşük pH değerlerine ($\text{pH} < 10$) sahiptir. Aslında pH, binanın yaşına, kullanım ömrü boyunca maruz kalma koşullarına ve betonun türüne bağlı olan karbonatlaşma derecesi ile ilişkilidir. Özellikle, çimento hidrat fazları karbondioksit ile reaksiyona girdiğinde karbonasyon meydana gelmekte ve kalsiyum karbonat (CaCO_3) olarak çökelmektedir. Bu süreç genellikle beton yapıların kullanım ömrü boyunca yavaş ilerler ancak bu beton malzemeler yıkılıp geri dönüştürülmüş agregalara dönüştürüldüğünde spesifik yüzeyleri artar ve bu da daha fazla karbondioksit emilimine neden olur. Yaşlanma ve karbonatlama işlemleri malzemenin pH'sını 12–14'ten 9–10'a değiştirmekte, bu durumda birçok kimyasal maddenin süzülebilirliğini önemli ölçüde değiştirmektedir (Diotti, Galvin, Piccinalli, Plizzari, & Sorlini, 2020; Diotti, Plizzari, & Sorlini, 2021).

Karbonatlaşmaya bağlı olarak pH'taki bu düşüş sülfat, silis, krom ve vanadyum salınımlarını arttırmakta ve kalsiyum, baryum, stronsiyum, sodyum ve potasyum salınımlarını azaltmaktadır. Çalışmalar ayrıca toplam kromun çoğunun, pH 5'in altında olduğunda, Cr^{+3} 'e göre daha zararlı olan Cr^{+6} olarak salındığını göstermiştir. Sülfatlar, hem İYA'lar hem de RA'lar için kritik bir parametredir ve genellikle alçı, seramik malzemeler ve harç parçacıklarının varlığı nedeniyle karışık İYA'lardan salınmaktadır. İYA'ların ve RA'ların kimyasal bileşim ve liç davranışı açısından

Çevresel performansları değerlendirildiğinde, alüminyum, demir, krom, mangan ve silisin İYA'larda en çok bulunan parametreler olduğunu, alüminyum, bakır, krom ve çinkonun ise RA'larda en çok bulunan parametreler olduğunu göstermiştir (Diotti ve diğ., 2020).

Toplam krom, imento ve yapışmış harcın varlığından dolayı çoğunlukla çimentolu malzemelerden salınmaktadır. imentodaki kromun ana kaynakları, üretim sürecinde kullanılan hammaddeler ve yakıtlardır. Toprak ve kaya fraksiyonlarında yüksek civa salınımları tespit edilmiştir. Yüksek kimyasal oksijen ihtiyaı esas olarak hem çimentolu hem de toprak ve taş fraksiyonlarıyla ilişkilidir. Bu özellikle ayrışabilir organik maddenin varlığından kaynaklanmaktadır. Tane boyutu da önemli olup hem MRA(Karışık Geri Dönüştürülmüş Agrega)'lar hem de RCA(Beton Geri Dönüştürülmüş Agrega)'lar, kirletici maddelerin salımı açısından, daha ince parçacıklar ($d_{max} \leq 4\text{mm}$) kaba parçacıklara ($d_{max} \leq 10\text{ mm}$) göre daha yüksek kirletici konsantrasyonları salma eğilimindedir. Bunun temel nedeni ince parçacıkların spesifik yüzey alanının daha geniş olmasıdır (Diotti, Plizzari, & Sorlini, 2021).

Organik kimyasallar ve alev geciktiriciler

PCB (Poliklorl bifeniller), PAH (poliaromatik hidrokarbonlar) ve BFR (Bromlu alev geciktiriciler) gibi kalıcı organik kirleticiler (KOK), insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkileme potansiyeline sahip tehlikeli kimyasallardır. Kolayca taşınabildiklerinden çoğu kalıcı organik kirleticiler, salınım kaynağından uzaktaki insanları ve biyotayı etkileyebilmekte, çevrede kalıcı olması nedeni ile besin zinciri yoluyla birikebilmektedir. Bu bileşiklerin bazıları ahşap işlemede kullanılmakta olup kreozot, fenol, kresol, kreosol ve benzen türevleri içerebilmektedir. Zemin halıları ve bölme duvarları gibi

inşaat malzemelerinin yanıcılığını engellemek için birçok kimyasal kullanılır. Hekzabromosiklododekan (HBCDD) ve Polibrominatlı difenil eterler (PBDE), Avustralya'da ve başka yerlerde inşaat sektöründe kullanılan en yaygın iki alev geciktiricidir. HBCDD, en yaygın kullanılan bromlu alev geciktiricilerin katkı maddelerinden biridir. Çevredeki kalıcılığı, insanlar ve hayvanlar üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle küresel çapta önemli bir ilgi görmüştür. HBCDD'ın yaygın olarak kullanıldığı polistiren inşaat endüstrisinde sert yalıtım panelleri/levhalarında olarak kullanılmaktadır. Ayrılmış polistiren malzemeler geri dönüştürülebilir olmasına rağmen, uluslararası kabul görmüş kalıcı organik kirleticilere ilişkin Stockholm Sözleşmesi, HBCDD içeren ürünlerin geri dönüştürülmesini yasaklamaktadır. Hollanda'da sızıntı suyunun partikül fazında 36.000 ng/g kuru ağırlık kadar yüksek HBCDD bulunmuş ve İsveç, Japonya ve Kanada'da sızıntı sularında yaygın olarak tespit edilmiştir. Bromlu alev geciktiricilerin düşük konsantrasyonlarda bile emisyonu, İYA depolama alanları için, özellikle de bu alanlar organik madde içerdiğinde, organik maddenin çeşitli kimyasal bileşenlerinin süzülmesini hızlandırabilmesi nedeni ile kötü sonuçlara yol açabilmektedir. Yapılan çalışmalarda kalıcı organik kirleticiler olarak listelenenler de dahil olmak üzere bromlu alev geciktiricilerin atık depolama alanlarından sızdığı ve dolayısıyla çevreyi kirlettiği vurgulanmıştır (Molla ve diğ., 2021).

Ticari olarak pentaBDE, oktaBDE ve dekaBDE olarak üretilen polibrominatlı difenil eterler, 1970'lerden bu yana yapı malzemesi bileşenlerinde alev geciktirici katkı maddeleri olarak kullanılan başka bir grup organobromin kimyasalıdır. Kalıcılığı, biyolojik birikimi ve toksisitesi nedeniyle pentaBDE ve oktaBDE'nin ticari üretimi 2004 yılında sona erdirilmiş olsa da, polibrominatlı difenil eterlerin pek çok türdeşi hala yaygındır. Japonya'daki duvar kağıdı rulolarında 7,3 ng/g'a kadar

polibrominatlı difenil eter olduğunu tespit edilmiştir. Minnesota (ABD)'da, polibrominatlı difenil eter için yapılan sızıntı suyu çalışması (üç belediye, bir endüstriyel ve bir yıkım depolama alanı)'nda en yüksek sonucun yıkım depolama alanlarından geldiğini belirtilmişlerdir (Molla ve diğ., 2021).

Danimarka'da İYA'larda karakterizasyonu ile yapılan kapsamlı bir çalışmada, MRF (malzeme geri kazanım tesisleri)'den toplanan tüm numunelerde poliklorl  bifeniller ve poliaromatik hidrokarbonlar tespit edilmiştir. İsviçre'de iki nehirden alınan balık örneklerinde AB'nin insan tüketimine yönelik limitlerinin üzerinde bulunduğunu, maruziyetin yakındaki depolama alanlarından kaynaklandığını göstermiştir (Molla ve diğ., 2021).

Asbest

Jeolojik (mineralojik) olarak asbest, lifsi yapıya sahip, magnezyum silikat, kalsiyum-magnezyum silikat, demir-magnezyum silikat ve karmaşık sodyum-demir silikat bileşimde, amfibol ve serpantin serisinden 6 ayrı mineral içermektedir. Bu gruptaki mineraller, endüstriyel ve ticari açılardan aynı derecede öneme sahip değıldir. Krizotil, krosidolit ve amosit'in endüstriyel kullanımı daha yaygın olmakla birlikte yine de 1900-2003 arasında ger ekleş n dünya asbest ticaretinde ve kullanımında liderlik %96'lık bir pay ile krizotile aittir. Ülkemizde, "Bazı Tehlikeli Maddelerin, Müstahzarların ve Eşyaların  retimine, Piyasaya Arzına ve Kullanımına İlişkin Kısıtlamalar Hakkında Yönetmelikte Değışiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik"'in y r rl ge girdiğı 31.12.2010 tarihi itibarıyla tümüyle yasaklanmıştır (Demir ve diğ., 2018). Ülkemizde 2010 yılından sonra asbest kullanımının yasaklandığı düşünülürse, depremler sonrasında oluşan İYA'larda asbest bulunma riskinin oldukça fazla olduğı öngörülmektedir.

Ekosistem ve Ekotoksisite  alışmaları

İYA'lar ile ilgili ekosistem çalışmaları oldukça azdır. Genel olarak birçok konuda ekotoksisite çalışmaları oldukça fazla iken İYA, RA ve RA çeşitleri ile ilgili yapılan çalışmalarda deney yöntemleri ele alınmış, bu çalışmaların hemen hepsinde yöntem geliştirmeye vurgu yapılmıştır.

İYA'dan kaynaklanan metal kontaminasyonunu değerlendirmek için yapılan bir çalışmada, kontrol ve İYA dolu sulak alanlardan toplanan biyoindikatör organizmalardan *Deroceras reticulatum* (sümüklü böcekler)'da İYA bölgesinde toplananlarda önemli ölçüde yüksek metal konsantrasyonu (arsenik, baryum, kadmiyum, kobalt, Antimon, selenyum ve titanyum) tespit edilmiştir (Molla ve diğ., 2021).

21 Mayıs 2003'te Cezayir'de meydana gelen depremden 5 yıl sonra Boumerdes şehrinde yıkım enkazının yeraltı suyu kalitesi üzerine yapılan bir çalışmada sızıntı suyu analizlerinde nispeten yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (1136 mg/L O₂) ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (200 mg/L O₂) içeren organik madde artışı tespit edilmiştir. Ağır metal içerikleri, 0,5 mg/L sınır değerinin biraz üzerinde olan 0,51 mg/L'lik Pb haricinde, ulusal standart sınırların ötesinde tespit edilmiştir. Ayrıca bakteriyolojik analizler (membran filtre ve çoklu tüp yöntemleri) yeraltı suyunun toplam koliformlar, fekal koliformlar ve fekal streptokoklar nedeniyle kirlendiği belirlenmiştir (Benmenni & Benrachedi, 2010).

İrlanda'da sulak alanların İYA'larla dolgulu ve dolgunsuz kısımlarındaki bitki ve diptera topluluklarını (Insecta: Diptera) karşılaştırdıkları çalışmada doldurulmamış sulak alanlarla karşılaştırıldığında önemli ölçüde farklı özelliklere (pH, nem ve organik içerik) sahip olduğunu ve toprak özelliklerinin (pH, nem ve azot içeriği dahil) bitki topluluklarını buna bağlı olarak diptera topluluklarını etkilediğini belirtmişlerdir (Staunton, et al., 2014).

Çeşitli boyutlardaki beton döküntülerinden kaynaklanan sızıntı suyunun üç oligoket türü (*Enchytraeus crypticus*, *Tubifex* ve *Lumbriculus variegatus*) üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada en küçük beton parçacık boyutundan (<1 mm) gelen sızıntının, potansiyel olarak 96 saatlik maruz kalma sonrasında daha büyük parçalara (2-5 cm) kıyasla ortalama 6 kat daha fazla oligoket ölümüne neden olduğu, küçük parçacıkların daha geniş yüzey alanı nedeniyle toksik maddelerin salınmasını kolaylaştırdığını belirtilmiştir (Esterhuizen, 2022).

Asbest minerallerinden krizotilin etkileri, *Oryzias latipes*'in tüm yaşam evrelerine etkisinin değerlendirildiği çalışmada; 10^8 f/l'den daha düşük konsantrasyonlarda yumurta evresini önemli ölçüde etkilemediği, larva ve genç balıkların hassas evreler olduğu, 10^6 – 10^8 f/l'de önemli büyüme azalması ve 56 günlük maruz kalma süresinde 10^{10} f/l'de %100 ölüm meydana geldiği ve epidermal lezyonlar geliştiği tespit edilmiştir (Belanger, Cherry, & Cairns, 1990).

Nehir sularında asbest bulunmasının balıkların davranışları üzerine etkisinin incelendiği çalışmada krizotil ele alınmış, $3,0 \times 10^6$ f/l'e maruz kalan *Oncorhynchus kisutch*'da ve 1,5 ve $3,0 \times 10^6$ f/l'e maruz kalan *Lepomis cyanellus*'da reotaksik pozisyon ve denge kaybı gibi davranışsal stres etkiler gözlemlenmiştir (Belanger ve diğ., 1986).

Sedimentten ve sudan gelen asbestin potansiyel olarak sucul ekosistem üzerine olumsuz etkileri vardır. Liflerin önemli lezyonlara ve hastalıklara neden olabileceği ve balıkların, kabukluların, planktonik algler ve yüksek su bitkilerinin gelişimini, çoğalmasını, hayatta kalmasını, fizyolojik mekanizmalarını ve ekolojik davranışlarını değiştirebileceği belirtilmiştir. Kurbağa ve salyangozların organlarında da asbest liflerinin birikimi gözlemlenmiştir. Ayrıca, asbest lifleri suyun bulanıklığını ve toplam askıdaki katı konsantrasyonlarını arttırmaktadır ve bu nedenle sucul

ekosistemlerde ışık nüfuzunun azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Asbest atıklarının ve liflerinin biyolojik çevre üzerindeki etkileri hakkında ciddi bir bilgi eksikliği bulunmaktadır. Toprak veya sedimentteki asbest için belirlenmiş bir toksisite eşiği bulunmamaktadır. (Jacques & Pienitz, 2022).

Sonuç olarak; İYA, yalnızca yıkım sonrası molozlardan değil; yapım, bakım, onarım ve yenileme süreçlerinde oluşan heterojen bir atık içermekte olup, küresel ölçekte artan miktarları ve çevresel etkileri nedeni ile atık yönetimi açısından oldukça önemlidir. İYA ve geri dönüştürülmüş agrega (RA) fraksiyonlarında ağır metaller/inorganikler, organik kirleticiler ve asbest başlıca kirletici gruplarını oluşturmaktadır. Literatür bulguları, malzeme ve ortam pH'nın (karbonatlaşma/yaşlanma ile değişen alkalinite), tane boyutunun (özellikle ince fraksiyonların geniş özgül yüzey alanı), alçı/sülfat varlığının ve organik içeriğin liç davranışını belirgin biçimde etkilediğini göstermektedir. Metaller (örn. Cr, As, Pb, Cd, Cu) ile birlikte sülfat, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve belirli koşullarda toksik gaz oluşumu, yüzey ve yeraltı suyu ile sediman kalitesi açısından risk göstergeleri olarak öne çıkmaktadır. PCB, PAH ve bromlu alev geciktiriciler gibi kalıcı organik kirleticiler ile asbest lifleri, taşınım ve biyobirikim özellikleri nedeniyle uzun dönemli ekolojik etkiler bakımından ayrıca önem taşımaktadır. İYA ve RA için ekotoksisite verileri sınırlı ve yöntemsel olarak heterojendir. Kimyasal karakterizasyonun standartlaştırılmış ekotoksikolojik testlerle birlikte ele alınması, özellikle afet kaynaklı büyük hacimli İYA oluşumu bağlamında, çevresel riskin daha güvenilir değerlendirilmesi için gereklidir.

Kaynakça

- Belanger, S., Cherry, D. S., & Cairns, J. (1990). Functional and pathological impairment of Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) by long-term asbestos exposure. *Aquatic toxicology*, 17(2), 133-154.
- Belanger, S., Schurr, K., Allen, D., & Gohara, A. (1986). Effects of chrysotile asbestos on coho salmon and green sunfish: evidence of behavioral and pathological stress. *Environmental research*, 39(1), 74-85.
- Benmenni, M., & Benrachedi, K. (2010). Impact of Earthquake Demolition Debris on the Quality of Groundwater. *Am. J. Appl. Sci.* , 7:545–550.
- Bilgen, G. (2021). Sürdürülebilir Çevre Kavramı Çerçevesinde İnşaat ve Yıkım Atıkları. A.Güllü&S.Yalçinkaya içinde, *Mühendislik ve Multidisipliner yaklaşımlar* (s. 403-432). Güven Plus Grup A.Ş., E-ISBN: 978-605-7594-97-6.
- Buzkan, C., & Erman, O. (2020). Yapısal Atıkların Geri Dönüşüm Sorunu ve Türkiye’deki Durumun Mevzuat Bakımından Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(1): 76-89.
- Demir, B., Ercan, S., Aktan, M., & Öztaşkın, H. (2018). Türkiye’nin Asbest Profili ve Asbest Güvenliği Sorunu. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 42:215-232, DOI:10.24232/jmd.486031.
- Diotti, A., Galvin, P., Piccinali, A., Plizzari, G., & Sorlini, S. (2020). Chemical and Leaching Behavior of Construction and Demolition Wastes and Recycled Aggregates. *Sustainability*, 12:10326, DOI:10.3390/su122410326.

- Diotti, A., Plizzari, G., & Sorlini, S. (2021). Leaching Behaviour of Construction and Demolition Wastes and Recycled Aggregates: Statistical Analysis Applied to the Release of Contaminants. *Appl. Sci.*, 11:6265, DOI: 10.3390/app11146265.
- Doğdu, G., & Alkan, S. (2023). Deprem Sonrası Oluşan İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Değerlendirilmesi: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1):38-50.
- Esterhuizen, M., von Wolff, M., Kim, Y., & Pflugmacher, S. (2022). Ecotoxicological implications of leachates from concrete demolition debris on oligochaetes: survival and oxidative stress status. *Heliyon*, 8 e11237.
- Jacques, O., & Pienitz, R. (2022). Assessment of asbestos fiber contamination in lake sediment cores of the Thetford Mines region, southern Quebec (Canada). *Environmental Advances*, 8:100232, DOI:10.1016/j.envadv.2022.100232 .
- Mah, C. M., Fujiwara, T., & Ho, C. S. (2018). Environmental impacts of construction and demolition waste management alternatives. *Chemical Engineering Transactions*, 343-348.
- Maia, M. B., de Brito, J., Martins, I. M., & Silvestre, J. D. (2022). Ecotoxicity of recycled aggregates: application of a prediction methodology. *Materials*, 15(10):3510 DOI:10.3390/ma15103510.
- Mocová, K. A., Roztočilová, H., & Mariaková, D. (2022). Ecotoxicological assessment of recycled aggregate and concrete via aquatic biotests. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 38:672–677.

- Molla, A., Tang, P., Sher, W., & Bekele, D. N. (2021). Chemicals of concern in construction and demolition waste fine residues: A systematic literature review. . *Journal of Environmental Management* , 299:113654.
- Ölmez, E., & Yıldız, Ş. (2008). İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli Kent Yönetimi. *İnsan ve Çevre Sorunları'08 Sempozyumu 02-06 Kasım 2008*. İstanbul.
- Staunton, J., Williams, C. D., Mc Donnell, R., Fleming, G., Henry, T., & Gormally, M. (2014). Challenges in assessing ecological impacts of construction and demolition waste on wetlands: A case study. *Applied Ecology and Environmental Research*, 12(2):457-479 ISSN 1785 0037 (Online).
- Wu, H., Zuo, J., Zillante, G., Wang, J., & Yuan, H. (2019). Status quo and future directions of construction and demolition waste research: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 118163.

BÖLÜM 3

ADIGÜZEL BARAJI'NIN (DENİZLİ) PLANKTONİK CRUSTACEA (CLADOCERA VE COPEPODA) KOMPOZİSYONU

CEM AYGEN¹
DİDEM ÖZDEMİR MİS²
M. RUŞEN USTAOĞLU³

Giriş

Baraj, suyu kontrol altına almak, depolamak ve yönlendirmek için bir akarsu veya vadi üzerine inşa edilen büyük mühendislik yapısıdır. Temel işlevi, su kaynaklarını düzenlemek olan barajların başlıca yapılış amaçları: enerji üretimi, içme ve sulama suyu rezervuarı, taşkın kontrolü, su ürünleri yetiştiriciliği, rekreasyon ve turizm, iklim düzenlemesidir. Baraj gölleri üzerinde inşa edildikleri nehrin zooplankton topluluğunu yeniden şekillendirir. Küçük, akıntıya dayanıklı lotik türlerin yerini, büyük, filtre ederek beslenen lentik türler alır. Zooplankton, barajların

¹ Prof. Dr., Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Orcid: 0000-0002-6351-0409

² Dr. Öğr. Üyesi, Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Orcid: 0000-0002-9962-6577

³ Prof. Dr., Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Orcid: 0000-0002-5526-106X

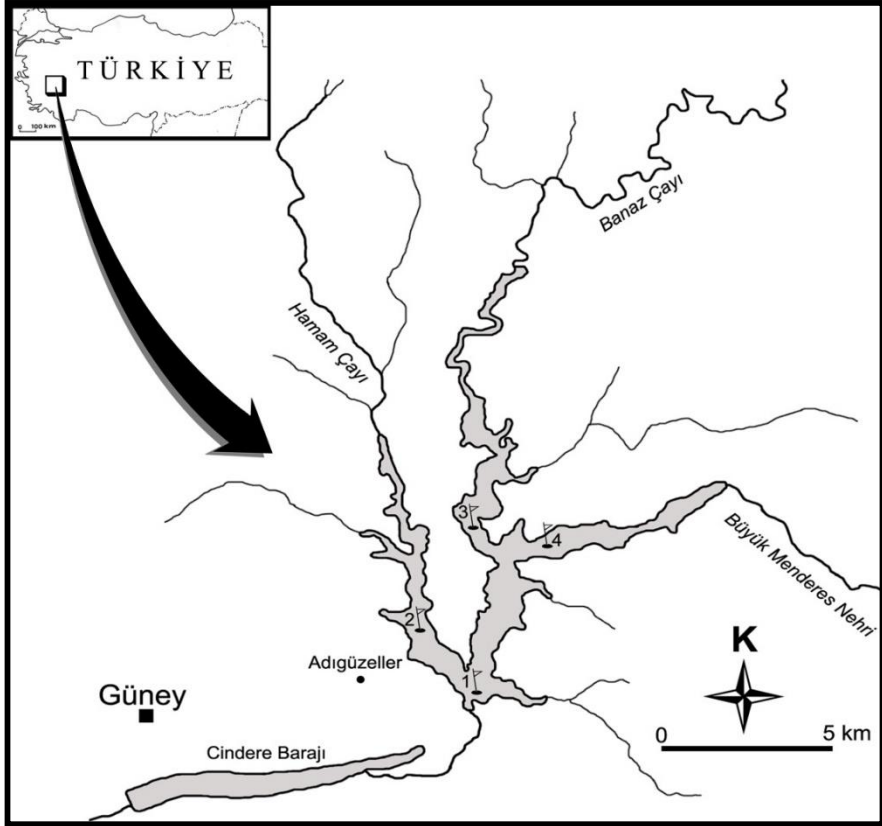
ekosistem üzerindeki etkisini izlemek için uygun bir biyoindikatör olarak kullanılabilir. Barajlar gölleri üzerinde yapılan limnolojik çalışmalar Türkiye'nin biyolojik çeşitliliğinin belirlenmesine katkı sağlamakta, lotik ve lentik biyotoplar arasında oluşabilecek değişimleri ortaya koymaktadır. Baraj gölleri zooplanktonu üzerine ilk çalışma Çubuk Baraj Gölü'nde gerçekleştirilmiştir (Geldiay, 1949). Sonraki yıllarda Kunduzlar ve Çatören Baraj Gölleri (Altındağ & Özkurt, 1998), Göksu Baraj Gölü (Bekleyen, 2003), Yarseli Baraj Gölü (Bozkurt & ark., 2004), Kozan Baraj Gölü (Bozkurt, 2004), Hirfanlı Baraj Gölü (Yiğit & Altındağ, 2005, Baykal & ark., 2006), Gelingüllü Baraj Gölü (Kaya & Altındağ, 2007), Kapulukaya Baraj Gölü (İnce & ark., 2007), Birecik Baraj Gölü (Bozkurt & Sagat, 2008), Asartepe Baraj Gölü (Buyurgan & ark., 2010) Hasan Uğurlu ve Suat Uğurlu Baraj Gölleri (Bozkurt & Akın, 2012), Kalecik Baraj Gölü (Bulut & Saler, 2013), Tahtalı Baraj Gölü (Kocaeli) (Dorak & ark., 2013), Hancağz Baraj Gölü (Saler & Alış, 2014), Beyhan Baraj Gölü (Bulut & Saler, 2014), Uzunçayır Baraj Gölü (Saler & ark., 2014), Tahtaköprü Baraj Gölü (Ulgu & Bozkurt, 2015), Süloğlu Baraj Gölü (Güher & Çolak, 2015) zooplanktonu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Adıgüzel Baraj Gölü'nün rotifer faunası üzerine yapılan çalışmada 25 takson tespit edilmiştir (Özdemir Mis & Ustaoglu 2018). Bu çalışma ile Adıgüzel Baraj Gölü'ndeki Cladocera ve Copepod taksonlarının ortaya koyularak, Türkiye sucul faunasına katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Araştırma alanını oluşturan Adıgüzel Barajı Ege bölgesinin önemli bir akarsu havzası olan Büyük Menderes Havzasında yer almaktadır (Şekil 1). Adıgüzel Baraj Gölü'nün güney kesimleri ve Baraj setti Denizli ilinin Güney ilçesi sınırları içerisinde olup kuzeyde kalan bölümleri ise Uşak ili sınırları içerisindedir. Baraj setti Büyük Menderes nehri ile Hama çayının birleştiği yerde inşa

edilmiştir. Sulama taşkın kontrolü ve enerji üretmek amacıyla kurulmuş olan barajın maksimum göl hacmi 1188 hm³, maksimum göl alanı ise 27,7 km² dir. Deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 430 m dir. Baraj gövdesi kaya ağırlıklı olup, yapımı 1989 yılında tamamlanmıştır.

Şekil 1. Adıgüzel Baraj Gölü'nün genel görünüşü ve istasyonlar.



Kaynak: Özdemir Mis ve Ustaoglu (2018)

Adıgüzel Baraj Gölü'nün planktonik crustacea kompozisyonunu belirlemek amacıyla, Ocak-Aralık 2007 tarihleri arasında, seçilen 4 istasyondan aylık aralıklarla örneklemeler yapılmıştır (Şekil 1). Yatay çekimlerle gerçekleştirilen örneklemelerde 55 µm göz açıklığındaki Hydrobios marka plankton

kepçesi kullanılmış, toplanan örnekler %4'lük formaldehit ile tespit edilmiştir. Temmuz ayında olumsuz saha koşullarından dolayı örnekleme yapılamamıştır. Göl suyunun fiziko-kimyasal özelliklerinin saptanması amacıyla su derinliği, ışık geçirgenliği (30 cm çapında Secchi Diski), su sıcaklığı (YSI30 SCT metre), pH (WTW pH 330 model pH metre), alkalinite (HCL titrasyonu yöntemiyle), çözünmüş oksijen (WTW Oxi 330 model Oksijen metre), tuzluluk ve elektriksel iletkenlik (YSI30 SCT metre) ölçümleri arazide gerçekleştirilmiştir. Tür teşhislerinde Cladocera için Flössner (1972), Smirnov (1974, 1996), Negrea (1983); Copepoda için Dussart (1969), Kiefer (1978), Einsle (1996)'nin kaynaklarından yararlanılmıştır.

Bulgular

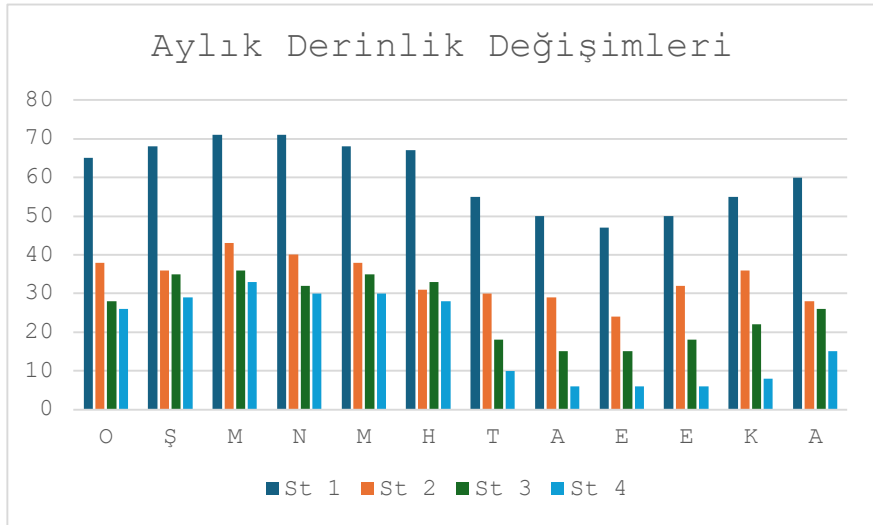
Adıgüzel Baraj Gölü'nde örnekleme periyodu boyunca su seviyesi yaz aylarından itibaren yağışların kesilmesi ve sulama amaçlı su salımından dolayı azalma göstermiştir (Grafik 1). 1. istasyonda Mart ve Nisan aylarında ölçülen 71 m derinlik çalışma boyunca baraj gölünde tespit edilen en yüksek derinlik olmuştur. Derinlikteki en hızlı düşüş Haziran ve Temmuz ayları arasında gerçekleşmiş olup bu aylarda su seviyesinde 12 m'lik bir azalma gözlenmiştir. Baraj gölünde ölçülen en düşük derinlik ise 47 m ile Eylül ayında gözlenmiştir. Adıgüzel Baraj Gölü yüzey suyuna ait

Bazı fiziko-kimyasal parametrelerin istasyonlara göre aylık ortalama değerleri incelendiğinde, ışık geçirgenliği 82,5-400 cm; sıcaklık 8,9- 28,1°C; pH 8,0-8,5; alkalinite 4,7-6,6 meq/L; çözünmüş oksijen 5,3-13,6 mg/L; çözünmüş oksijen doygunluğu % 48-167; tuzluluk ‰ 0,4-0,5 ve elektrik iletkenliği 792-1017 μ S25C yıl içinde değişim göstermiştir (Tablo 1).

Adıgüzel Baraj Gölü'nde cladoceradan 12, kopepodadan 4 olmak üzere 16 tür tespit edilmiştir. Tespit edilen türlerin aylık dağılımlarına baktığımızda, Cladoceradan *Ceriodaphnia* türleri ile

Bosmina longirostris gölde her ay bulunurken, *Daphnia* ve *Diaphanosoma* türleri yılın büyük bölümünde saptanmıştır (Tablo 2). Copepodlardan *Acanthodiaptomus denticornis* ve *Acanthocyclops robustus* türleri yıl boyunca tespit edilirken, *Cyclops vicinus* ve *C. abyssorum* türleri Ekim-Mayıs ayları arasında tespit edilmiştir (Tablo 2). Çalışmada kaydedilen türlerin örnekleme istasyonlarına göre dağılımlarına bakıldığında, kalitatif açıdan önemli olacak bir farklılığa rastlanmamıştır (Tablo 3).

Grafik 1. Adıgüzel Baraj Gölü'nde aylık derinlik değişimleri.



Tablo 1. Adıgüzel Baraj Gölü'nde yüzey suyunda fiziko-kimyasal parametrelerin ortalama değerlerinin aylık değişimi.

Parametre	O	Ş	M	N	M	H	A	E	E	K	A
Berraklık (cm)	350	127,5	392,5	335	222,5	97,5	82,5	100	255	400	270
Sıcaklık (°C)	8,9	12,0	14,3	17,9	23,1	26,5	28,1	22,3	18,1	12,3	8,9
pH	8,2	8,4	8,3	8,3	8,5	8,4	8,3	8,3	8,0	8,0	8,0
SBV (meq/L)	6,6	6,4	6,6	6,4	5,9	5,8	5,1	4,7	5,2	6,2	5,9
Ç. Oksijen (mg/L)	7,0	13,1	12,5	9,5	13,6	12,2	9,4	10,6	6,2	6,2	5,3
Ç.O.Doygunluğu (%)	64	128	129	106	167	153	127	126	68	60	48
Tuzluluk (‰)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Elektriki iletkenlik (µS _{25C})	978	928	980	958	887	792	833	844	935	1017	961

Tablo 2. Adıgüzel Baraj Gölü'n'de tespit edilen cladocera ve copepoda türlerinin aylara göre dağılımı.

Türler /Aylar	O	Ş	M	N	M	H	A	E	E	K	A
CLADOCERA											
<i>Coronatella rectangula</i> (Sars, 1862)	+								+		+
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F.Müller, 1785)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ceriodaphnia laticaudata</i> P.E.Müller, 1867	+	+	+							+	
<i>C. pulchella</i> Sars, 1862	+	+								+	+
<i>C. quadrangula</i> (O.F.Müller, 1785)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F.Müller, 1776)	+	+	+	+	+	+				+	+
<i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862	+	+		+	+			+	+	+	
<i>D. hyalina</i> Leydig, 1860	+	+	+	+	+	+			+		+
<i>D. longispina</i> O.F.Müller, 1785	+	+	+	+	+	+				+	+
<i>Diaphanosoma lacustris</i> Korinek, 1981	+				+	+	+	+	+	+	+
<i>D. mongolianum</i> Ueno, 1938						+	+	+	+	+	
<i>Simocephalus vetulus</i> (O.F.Müller, 1776)	+	+	+						+		
COPEPODA											
<i>Acanthocyclops robustus</i> (G. O. Sars, 1863)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Acanthodiptomus denticornis</i> (Wierzejski, 1887)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cyclops abyssorum</i> G.O. Sars, 1863	+	+	+	+						+	+
<i>C. vicinus</i> Ulyanin, 1875	+	+	+	+	+				+	+	+
Toplam tür (16)	15	13	11	10	10	9	6	7	11	13	12

Tartışma ve Sonuç

Tespit edilen türler Adıgüzel Baraj Gölü'nden ilk kez rapor edilmektedir. Bu türlerin tamamının baraj gölünde homojen bir şekilde bulunduğu saptanmıştır. Büyük Menderes nehir sistemi üzerinde bulunan Işıklı (Çivril) Gölü ile karşılaştırdığımızda (Aygen ve Balık, 2005), Işıklı Gölü'nün kalitatif bakımdan daha zengin olduğu, bununla beraber *Diaphanosoma lacustris*, *Daphnia cucullata*, *D. hyalina*, *Ceriodaphnia laticaudata*, *C. quadrangula* ve *Acanthodiptomus denticornis* haricindeki türlerin her iki rezervuarda da bulunduğu görülmektedir. Aynı nehir sistemi üzerinde bulunan Kemer Baraj Gölü ile karşılaştırıldığında (Tuna, & Ustaoglu, 2016), Kemer Barajı Gölü kalitatif açıdan daha zayıf olmasına rağmen *Diaphanosoma lacustris*, *Daphnia cucullata*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *Bosmina longirostris*, *Coronatella*

rectangula, *Cyclops abyssorum* ve *Acanthodiaptomus denticornis* türlerinin her iki rezervuarda da ortak bulunan türler olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Adıgüzel Baraj Gölün 'de tespit edilen cladocera ve copepoda türlerinin istasyonlara göre dağılımı.

Türler / İstasyonlar	1	2	3	4
CLADOCERA				
<i>Coronatella rectangula</i> (Sars, 1862)		+		+
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F.Müller, 1785)	+	+	+	+
<i>Ceriodaphnia laticaudata</i> P.E.Müller, 1867		+	+	+
<i>C. pulchella</i> Sars, 1862	+	+		
<i>C. quadrangula</i> (O.F.Müller, 1785)	+	+	+	+
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F.Müller, 1776)	+	+	+	+
<i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862	+	+	+	+
<i>D. hyalina</i> Leydig, 1860		+	+	+
<i>D. longispina</i> O.F.Müller, 1785	+			
<i>Diaphanosoma lacustris</i> Korinek, 1981	+	+	+	+
<i>D. mongolianum</i> Ueno, 1938	+	+	+	+
<i>Simoccephalus vetulus</i> (O.F.Müller, 1776)	+	+	+	+
COPEPODA				
<i>Acanthocyclops robustus</i> (G. O. Sars, 1863)	+	+	+	+
<i>Acanthodiaptomus denticornis</i> (Wierzejski, 1887)	+	+	+	+
<i>Cyclops abyssorum</i> G.O. Sars, 1863		+	+	+
<i>C. vicinus</i> Ulyanin, 1875	+	+	+	+
Toplam tür (16)	12	15	13	14

Özdemir Mis & Ustaoglu (2018) Adıgüzel Barajı rotiferleri üzerine yaptıkları çalışmada, Sladeczek (1983)'in *QBrachionus/Trichocerca* indeksine göre baraj gölünün trofik durumunu ötrofik olarak belirlemişlerdir. Çalışmamızda tespit edilen cladocera ve copepod tür kompozisyonuna bakıldığında ötrofikasyon belirteci türlerin ağırlıkta olduğu saptanmıştır (Gannon & Stemberger 1978, Jeppesen & ark., 2011). Bu türlerden *Daphnia cucullata* özellikle ötrofik ve siyanobakteri (mavi-yeşil alg) yoğunluğu yüksek suların tipik bir türüdür (Lampert 1987, Hülsmann & Voight, 2002). Güçlü bir ötrofikasyon göstergesidir. *Bosmina longirostris*, çok yaygın bir türdür ve genellikle

ötrofikasyona toleranslıdır, ötrofik sularda sıklıkla baskın hale gelir (DeMott & Kerfoot, 1982). *Ceriodaphnia* cinsi türleri genellikle ötrofik sularda bolca bulunur. Üç türün bir arada bulunması besin zenginliğine işaret eder (Fernando, 1994). *Chydorus sphaericus*, dünyanın en yaygın cladoceridir ve özellikle ötrofik sularda, fitoplankton patlamaları sırasında çok yüksek yoğunluklara ulaşabilen güçlü bir ötrofikasyon belirticidir (Whiteside, 1970). *Simocephalus vetulus*, litoral bitki örtüsü (makrofit) bulunan, sık ve genellikle besince zengin suları tercih eder. *Diaphanosoma lacustris* ve *D. mongolianum*, daha çok mezotrofik-ötrofik sularda yaygındır ve besin zincirinde önemli süzerek beslenen canlılardır. *Daphnia hyalina* ve *Daphnia longispina*, bu iki tür, genellikle daha temiz (oligotrofik-mezotrofik) sularla ilişkilendirilse de, adapte olabilirler ve listedeki diğer belirgin ötrofik türlerle birlikte görülmeleri, gölde artan besin yüküne işaret ediyor olabilir. Özellikle *D. longispina*, çevresel stresin (balık baskısı, ötrofikasyon) az olduğu yerlerde görülebilir (Benndorf, 1988).

Tespit edilen copepod türlerinin kompozisyonuna baktığımızda cladocerler kadar bariz olmasa da ötrofikasyona eğilim olduğunu söyleyebiliriz. Cyclopoid türler olan *Acanthocyclops robustus* ve *Cyclops vicinus*, ötrofik sularla ve hatta organik kirliliğe toleransla ilişkilidir. *C. vicinus* özellikle ötrofikasyonun tipik bir göstergesidir. *Cyclops abyssorum* türü daha çok oligotrofik-mezotrofik derin göllerle bilinir. Ancak, Adıgüzel Baraj Gölü gibi bir sistemde bulunması, gölün belirli dönemlerde veya bölgelerde daha durgun/az besinli koşullar sunabildiğini veya bu türün popülasyonunun baskı altında olduğunu gösterebilir. Bu tür, listedeki diğer türlere göre bir istisna gibi durmaktadır ve önemli bir detaydır. Calonoid copepod olan *Acanthodiaptomus denticornis*, genellikle mezotrofik suları tercih eder. Ötrofik sularda rekabet nedeniyle azalma eğilimindedir. Varlığı, gölün tamamen aşırı ötrofik

olmadığını, mezotrofik-ötrofik bir geçiş evresinde olduğunu düşündürmektedir.

Sonuç olarak, Adıgüzel Baraj Gölü cladocera ve copepoda komünitesi açısından besin zenginliği yüksek (mezotrofik-ötrofik) bir karakter sergilemektedir. *Daphnia cucullata*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Ceriodaphnia* türleri ve *Cyclops vicinus* gibi güçlü ötrofikasyon göstergelerinin varlığı, gölde ötrofikasyon sürecinin belirgin olduğunu göstermekle beraber *Acanthodiaptomus denticornis* (mezotrofik eğilimli) ve özellikle *Cyclops abyssorum* (oligotrofik-mezotrofik) gibi türlerin bulunması, gölün homojen ötrofik olmadığını düşündürmektedir.

Kaynakça

Altındağ, A. & Özkurt, Ş. (1998). A study on the zooplanktonic fauna of the dam lakes Kunduzlar and Çatören (Kırka-Eskişehir). *Tr.J. of Zoology*, 22, 323-331.

Aygen, C., Balık, S., (2005) Işıklı Gölü ve Kaynaklarının (Çivril-Denizli) Crustacea Faunası. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, Cilt: 22, Sayı (3-4): 371-375.

Baykal, T., Salman, S. & Açıkgöz, İ. (2006). The relationship between seasonal variation in phytoplankton and zooplankton densities in Hirfanlı Dam Lake (Kırşehir, Turkey). *Turk J Zool*, 30, 217-226.

Bekleyen, A. (2003). A taxonomical study on the zooplankton of Göksu Dam Lake (Diyarbakır). *Turk J. Zool.* 2, 95-100.

Benndorf, J. (1988): Objectives and unsolved problems in ecotechnology and biomanipulation: a review. *Limnologica* (Berlin) 19 (1): 11-20.

Bozkurt, A. (2004). Doğu Akdeniz Bölgesi'ndeki bazı baraj ve göletlerin zooplankton faunası üzerine ilk gözlemler. Ulusal Su Günleri 2004 Sempozyumu, 6-8 Ekim 2004, İzmir, *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 2(3), 71-76.

Bozkurt, A. & Akın, Ş. (2012). Zooplankton fauna of Yeşilirmak (between Tokat and Blacksea), Hasan Uğurlu and Suat Uğurlu Dam Lakes. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12, 777-786.

Bozkurt, A. & Sagat, Y. (2008). Birecik Baraj Gölü zooplanktonunun vertikal dağılımı. *Journal of FisheriesSciences.com*, 2(3), 332-342.

Bozkurt, A. Dural, M., & Yılmaz, A.B. (2004). Yarseli Baraj Gölü'nün (Hatay-Türkiye) bazı fiziko-kimyasal özellikleri ve zooplankton (Rotifer, Kladoser ve Kopepod) faunası. Ulusal Su Günleri 2004 Sempozyumu, 6-8 Ekim İzmir, *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 2(3), 307-317.

Bulut, H. & Saler, S. (2013). Kalecik Baraj Gölü (Elazığ-Türkiye) zooplanktonu. *Fırat Üniv. Fen Bilimleri Dergisi*, 25(2), 99-103.

Bulut, H. & Saler, S. (2014). Zooplankton of Beyhan Dam Lake (Elazığ, Turkey). *Turkish Journal of Science & Technology*, 9(1), 23-28.

Buyurgan, Ö., Altındağ, A., & Kaya, M. (2010). Zooplankton community structure of Asartepe Dam Lake (Ankara-Turkey). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10, 135-138.

DeMott, W.R., & Kerfoot, W.C., (1982) Competition among cladocerans: nature of the interaction between Bosmina and Daphnia. *Ecology* 63, 1949–1966.

Dorak, Z., Gaygusuz, Ö., Tarkan, A.S. & Aydın, H. (2013). Diurnal vertical distribution of zooplankton in a newly formed reservoir (Tahtalı Reservoir, Kocaeli): the role of abiotic factors and chlorophyll a. *Turk J Zool*, 37, 218-227.

Dussart, B. (1969) *Les Copepodes des Eaux Continentales d'Europe Occidentale. Tome II, Cyclopoides et Biologie*, N. Boubee et cie, Paris,. Pp:292.

Einsle, U. (1996) Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Copepoda: Cyclopoida, Genera Cyclops, Megacyclops, Acanthocyclops. SPB Academic Publishing, No: 10, 82 p.

Fernando, C.H. (1994) Zooplankton, fish and fisheries in tropical freshwaters. *Hydrobiologia*, 272, 105–123.
<http://dx.doi.org/10.1007/bf00006516>

Flössner, D., (1972). Krebstiere, Crustacea. Kiemen und Blattfüßer, Branchiopoda, Fishlause, Branchiura, Tierwelt Deutschlands, 60. Teil, Veb Gustav Fischer Verlag, Jena, 501 pp.

Gannon, J.E. & Stemberger, R.S. (1978) “Zooplankton (Especially Crustaceans and Rotifers) as Indicators of Water Quality,” Transactions of American Microscopy Society, Vol. 97, No. 1, pp. 16-35.

Geldiay, R. (1949). Çubuk Barajı ve Emir Gölü’nün makro ve mikro faunasının mukayeseli incelenmesi. *Ankara Üniv. Fen Fak. Mecmuası*, 2, 106 s.

Güher, H. & Çolak, Ş. (2015). Süloğlu Baraj Gölünün (Edirne) zooplankton (Rotifera, Cladocera, Copepoda) faunası ve mevsimsel değişimi. *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 16(1), 17-24.

Hülsmann S. & Voigt H. (2002) Life history of *Daphniagaleata* in a hypertrophic reservoir and consequences of non-consumptive mortality for the initiation of a midsummer decline. *Freshwater Biology*, 47, 2313–2324.

İnce, Ö., Aluç, Y., Başaran, G. & Tüzün, İ. (2007). Kapulukaya Baraj Gölü’nde littoral ve pelajik bölgelere ve mevsime bağlı zooplankton dağılımlarının karşılaştırılması. *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 5-8, 297-305.

Jeppesen, E., Nöges, P., Davidson, T. A., Haberman, J., Nöges, T., Blank, K., ... & Amsinck, S. L. (2011). Zooplankton as indicators in lakes: a science-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia*, 676(1), 279-297. doi:10.1007/s10750-011-0831-0

Kaya, M. & Altındağ, A. (2007). Zooplankton fauna and seasonal changes of Gelingüllü Dam Lake (Yozgat-Turkey). *Turk J. Zool.*, 31, 347-351.

Kiefer, F. (1978) Das Zooplankton der Binengewasser 2. Teil, Freilebende Copepoda, Die Binengewasser Band XXVI, E. Schweizerbart sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 315 pp.

Lampert, W. (1987). Feeding and nutrition in Daphnia. In M. De Marchi (Ed.), *Memorie dell'Istituto italiano di idrobiologia* (pp. 143-192). Pallanza, Italy: Istituto italiano di idrobiologia.

Negrea, S. (1983) . Cladocera. In *Fauna R.S. Romania*, Academiei Bucuresti, 4 (12) : 399 pp.

Özdemir Mis, D. & Ustaoglu, M.R. (2018). Adıgüzel Baraj Gölü (Denizli)'nün rotifer kompozisyonu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14(1), 17-24.

Saler, S. & Aliş, N. (2014). Zooplankton of Hancağız Dam Lake (Gaziantep-Turkey). *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 1(1), 36-45.

Saler, S. Haykır, H., & Baysal, N. (2014). Zooplankton of Uzunçayır Dam Lake. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 8(1), 1-7.

Sladecsek, V. (1983). Rotifers as indicator of water quality. *Hydrobiologia*, 100, 189-201

Smirnov, N.N. (1974) Fauna of U.S.S.R. Crustacea. Vol. I, No. 2, Chydoridae, I.P.S.T. Jerusalem, 644 pp.

Smirnov, N.N. (1996) Cladocera: The Chydorinae and Sayciinae (Chydoridae) of the World. Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World Coordinating Editor: H.J.F. Dumont, No.11. SPB Academic Publishing 195 pp.

Tuna, A. & Ustaoglu, M.R. (2016). Kemer Baraj Gölü (Aydın-Türkiye) zooplankton faunası. *LimnoFish*, 2(2), 95-106.

Ulgu, M. & Bozkurt, A. (2015). Zooplankton fauna of Tahtaköprü Dam Lake (Gaziantep). *International Journal of Scientific and Technological Research*, 1(1), 202-215.

Whiteside, M.C. (1970) Danish Chydorid Cladocera: Modern ecology and core studies. *Ecol. Monogr.* 40, 79-118

Yiğit, S. & Altındağ, A. (2005). A taxonomical study on the zooplankton fauna of Hirfanlı Dam Lake (Kırşehir), Turkey. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18(4), 563-567.

BÖLÜM 4

BALIKLARDAKİ KALSİYUMUN (Ca) İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ÖNEMİ

MİNE PERÇİN OLGUNOĞLU ¹
İLKAN ALİ OLGUNOĞLU ²

Giriş

Deniz ürünlerinin insan beslenmesinde kullanımı tarih öncesi çağlara kadar uzanmaktadır. Eski uygarlıklar, balığı sağlığı korumak için mükemmel bir besin olarak kabul ediyorlardı (Karataş, 2024:33); ancak modern bilim, balığın içerdiği makro ve mikro besinlerin tam değerini daha iyi anlamamıza yardımcı olmuştur. Günümüzde balıkların, protein, lipit ve çok az miktarda karbonhidrat gibi makro besinlerin yanı sıra, önemli vitaminler ve mineralleri içeren mikro besinler dahil olmak üzere birçok besin maddesi içerdiği bilinmektedir. Bu mineraller arasında kalsiyum (Ca), insan sağlığı için ayrı bir öneme sahiptir (Mishra, 2020:48).

Ca, yetişkin bir insan vücudunda yaklaşık 1,2–1,6 kg ağırlığında bulunur ve en bol inorganik besin maddesi olma özelliğine sahiptir. Vücuttaki Ca'un %99'u iskelet ve kemiklerde depolanırken, geri kalan %1'i enzim aktiviteleri, kan pıhtılaşması, hormonal sinyalizasyon ve kas kasılması gibi kritik işlevlerde rol oynar (Tores ve ark., 2024:1840). Ancak Beto (2015:6) tarafından vurgulandığı üzere, serum (kan) kalsiyum seviyeleri vücudun Ca deposunu göstermekte yetersiz kalabilir. Vücut, kandaki Ca seviyesini hayati fonksiyonlar için sabit tutmak zorundadır; bu nedenle diyetle yeterli Ca alınmadığında, metabolizma bu ihtiyacı kemik dokusundan "ödünç alarak" karşılar. Bu durum, bireyin kan değerleri normal görünse bile, kemik erimesi sürecinin sessizce ilerlemesine neden olabilir. Cormick ve Belizán (2019:1606) tarafından yapılan kapsamlı incelemeye göre; yeterli Ca alımı sadece kemik sağlığını korumakla kalmaz, aynı zamanda gebelik zehirlenmesi (preeklampsi) riskinin azaltılması, kolorektal adenomların (bağırsak tümörleri) önlenmesi ve özellikle gençlerde kan basıncının düşürülmesi gibi hayati faydalar sağlar. Buna ek olarak Zhang (2023:147), Ca eksikliğinin sadece iskelet sistemini değil, aynı zamanda dış sağlığını da tehdit ettiğini (dış çürümesi ve diş eti hastalıkları); hatta anksiyete ve depresyon gibi duygu durum bozukluklarına zemin hazırlayabildiğini vurgulamaktadır.

Ancak, dünya genelinde Ca alımında ciddi yetersizlikler gözlemlenmektedir. Küresel veriler, kişi başı günlük ortalama Ca arzının 684 mg civarında olduğunu ve bu durumun özellikle Afrika ve Asya ülkelerinde ciddi bir eksiklik riski yarattığını göstermektedir (Cormick ve Belizán, 2019:1606). Birçok ülkede alım miktarı, önerilen günlük 1000 mg/gün'ün çok altında kalarak 400–600 mg/gün seviyelerinde seyretmektedir. Ca eksikliği, hipertansiyon ve bazı kanser türleriyle de ilişkilendirilmektedir. Bu küresel tablo, süt ürünlerine erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde yeni ve sürdürülebilir Ca kaynaklarının keşfedilmesini zorunlu kılmaktadır (Tores ve ark., 2024:1840).

¹ Doç.Dr. Adıyaman Üniversitesi Kahta MYO, Veterinerlik, Orcid: 0000-0002-6504-6689

² Prof. Dr. Adıyaman Üniversitesi Kahta MYO, Veterinerlik, Orcid: 0000-0001-6712-329X

Ca, gıdalarla alınması gereken temel bir besin maddesidir. Ancak yaşlı nüfus ve kadınlar, yetersiz beslenme alışkanlıkları ve laktoz intoleransı nedeniyle yeterli miktarda Ca alamamaktadır. Bu durum, kemiklerin zayıflamasına ve kırıklara yol açmaktadır. Bu eksikliği gidermek için küçük balıklar, kılçıklarıyla birlikte tüketilebildiği için zengin bir Ca kaynağı olarak büyük önem taşımaktadır (Mohanty ve ark., 2019:205).

Diğer minerallerle karşılaştırıldığında, Ca'un sindirim sisteminden sistemik dolaşıma, emilimi sınırlıdır; ortalama olarak, diyetle alınan Ca yalnızca %25 ila %30'u vücut tarafından emilebilmektedir. Bu düşük emilim oranı, yeterli Ca alımının ve doğru besin kaynağı seçiminin önemini artırmaktadır (Balami ve ark., 2019:33). Öte yandan, Ca emilimi, D vitamini (kalsiferol) varlığına da bağlıdır (Mohanty ve ark., 2019:205).

Geleneksel olarak süt ve süt ürünleri ana Ca kaynakları olarak kabul edilse de balık ve özellikle içerdiği kılçıklar dikkate değer bir Ca kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Araştırmalar, balıktan elde edilen Ca'un biyo-yararlanımının yüksek olduğunu ve bu emilim oranının, standart bir Ca kaynağı olan yağsız süt ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, balığın Ca takviyesi ve kemik sağlığı için süt ürünlerine güçlü bir alternatif veya destekleyici bir kaynak olduğunu bilimsel olarak teyit etmektedir (Balami ve ark., 2019:33). Bu anlamda süt ve süt ürünlerinin düşük alımına sahip nüfus gruplarında küçük balıkların üretim ve tüketiminin önemli olduğu vurgulanmaktadır (Larsen ve ark., 2000:191).

Balıklardaki Kalsiyum (Ca) Miktarını Etkileyen Faktörler

Temizlik Yöntemleri ve Beslenme Alışkanlıkları

Balıklardan alınan Ca miktarı, kemiklerinin yenilip yenilmediğine bağlıdır. Bu nedenle, temizlik yöntemleri ve beslenme alışkanlıkları büyük önem taşımaktadır. Yumuşak kemikli küçük balıklar genellikle kemikleriyle birlikte yenir ve bu nedenle sert, yenilemeyen kemikli balıklara göre çok daha fazla Ca sağlar (Roos ve ark., 2003:330).

Balıkların hazırlanmasında uygulanan temizlik yöntemleri, Ca alımını doğrudan etkileyebilir. Kemikleriyle birlikte tüketilen balıklar, besin değerini artırırken, yalnızca et kısmının tercih edilmesi durumunda Ca kaybı yaşanabilir. Bu nedenle, sağlıklı beslenme alışkanlıkları geliştirmek, Ca alımını artırmak için kritik öneme sahiptir (Roos ve ark., 2003:330).

Biyolojik ve Türsel Faktörler

Bu faktörler, balığın doğası gereği sahip olduğu özellikleri kapsar.

Tür ve Genetik Farklılıklar

Farklı balık türleri, beslenme şekilleri ve metabolizma hızları nedeniyle farklı düzeylerde Ca depolayabilir. Örneğin, küçük balıklar, bütün olarak tüketildikleri için büyük balıklara göre diyetle alınan Ca kaynağı olarak daha değerlidir (Larsen ve ark., 2000:191). Ayrıca, bazı türlerin kemik yoğunluğu veya iskeletin vücut ağırlığına oranı daha yüksek olabilir. Balıklar, çevreden aktif olarak Ca alabilirler ve bu durum, türler arasında farklılık gösterir (Hossain ve Yoshimatsu 2014:7).

Yaş, Boyut ve Üreme Durumu

Balık büyüdükçe ve yaşlandıkça iskelet kütlesi arttığından, toplam Ca miktarı da artar. Üreme dönemi sırasında, dişi balıkların yumurta üretimi için Ca depolaması, vücut Ca seviyelerinde dalgalanmalara yol açabilir; bu durum, Ca ihtiyacını artırır (Hossain ve Yoshimatsu 2014:7).

Vücut Kısmı ve Doku Türü

Ca'un büyük çoğunluğu kemik (iskelet) dokusunda bulunur (%99). Bu nedenle, fileto gibi kas dokusunun Ca içeriği düşüktür; tam balık veya kılçıkların tüketimi esastır. Deri, pul ve iç organlarda da az miktarda Ca bulunabilir.

Çevresel ve Ekolojik Faktörler

Bu faktörler, balığın yaşadığı ortamın kimyasal bileşimi ve besin kaynakları ile ilgilidir.

Suyun Kimyasal Yapısı

Balıklar, solungaçları ve derileri aracılığıyla çevreden aktif olarak Ca alabilirler. Suyun Ca içeriği (sertliği), balığın vücut Ca seviyesini dolaylı yoldan etkiler; düşük Ca içeren ortamlarda balıkların büyümesi sınırlı olabilir (Hossain ve Yoshimatsu 2014:2).

Beslenme (Diyet İçeriği)

Ca, solungaçlar aracılığıyla doğrudan suyun içinden alınabilir, ancak su içerek bağırsaklar aracılığıyla da alınabilir. Besin, bağırsak emilimi yoluyla Ca için başka bir kaynak olabilir (Flik ve Verboost, 1993:19) ve balığın tükettiği gıdaların Ca'ca zenginliği (örneğin, kabuklular, planktonlar veya yapay yemler) vücut Ca birikimini etkiler. Diyetin D vitamini içeriği, balığın bağırsaklardan Ca emilimini düzenlemede kritik bir rol oynar; vitamin D, Ca ve fosfat dengesini sağlamak için gereklidir (Hossain ve Yoshimatsu 2014:8).

İşleme ve Hazırlama Faktörleri

Bu faktörler, balığın avlandıktan sonraki süreçte maruz kaldığı işlemleri içerir ve pratik sonuçlar sunar.

Piştirme Yöntemleri

Ca' u koruyan piştirme teknikleri, balığın besin değerini korumak için önemlidir:

Buharda Piştirme: Bu yöntem, balığın bütünlüğünü korurken, Ca dahil besin içeriğinin kaybını en aza indirir. Buhar, besinlerin doğal tatlarını ve dokularını korumasına yardımcı olur.

Fırında Piştirme: Orta sıcaklıkta fırında piştirme, balığın Ca ve diğer besin maddelerini korumasına yardımcı olur. Bu yöntem, balığın dış kısmının hafifçe kızarmasını sağlarken iç kısmının nemli kalmasını sağlar.

Haşlama: Balığı kaynayan sıvıya daldırmak hem Ca içeriğini hem de balığın hassas dokusunu koruma potansiyeline sahiptir. Ancak, haşlama sırasında suya sızan besin maddelerinin kaybını önlemek için haşlama suyunun kullanılabilir olması önemlidir (Frozen Fish Direct; 2025).

Yukarıda bahsi geçen piştirme yöntemleri, balığın Ca içeriğini korumak ve besin değerini artırmak için tercih edilebilir. Doğru piştirme teknikleri, sağlıklı bir diyetin parçası olarak balık tüketiminin faydalarını maksimize eder.

Kaçınılması Gereken Piştirme Teknikleri

Bazı piştirme yöntemleri, balığın besin değerini olumsuz etkileyebilir ve Ca kaybına yol açabilir:

Yüksek Sıcaklıkta Izgara Yapmak: Yüksek sıcaklıkta ızgara yapmak, balığın dış yüzeyinde istenilen lezzeti sağlayabilir; ancak bu işlem, bazı besin maddelerinin bozulmasına ve Ca'un kaybına neden olabilir. Aşırı ısı, besin değerlerini azaltırken, kanserojen bileşenlerin oluşumuna da yol açabilir.

Derin Yağda Kızartma: Derin yağda kızartma, balığın yağ içeriğini artırırken, Ca tutma konusunda herhangi bir ek fayda sağlamaz. Bu yöntem, balığın doğal besin değerlerini kaybetmesine ve sağlıklı yağların yerini doymuş yağların almasına sebep olabilir. Ayrıca, kızartma işlemi sırasında yüksek sıcaklık, besin maddelerinin yapısını olumsuz etkileyebilir (Frozen Fish Direct; 2025).

Yukarıda söz edilen piştirme tekniklerinden kaçınmak, balığın besin değerini korumak ve sağlıklı bir diyetin sürdürülmesi açısından önemlidir. Daha sağlıklı alternatifler tercih etmek, Ca alımını artırmaya ve genel beslenme kalitesini iyileştirmeye yardımcı olur.

Konserveleme

Konserve balıklarda, kılçıklar genellikle yenilebilir hale geldiği için toplam Ca içeriği ve biyoyararlanımı taze filetoya göre çok daha yüksektir.

Doğu Akdeniz Balıklarında Kalsiyum (Ca) Profili: Seçili Türler Üzerine Bir Alan Araştırması

Türkiye denizlerinde avlanan ticari balık türlerinin besin değerlerini güncel verilerle ortaya koymak, tüketici sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, teorik bilgileri somut verilerle desteklemek amacıyla Doğu Akdeniz ekosisteminde yaşayan on farklı balık türü üzerinde güncel bir analiz çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın Kapsamı ve Yöntem

2025 yılı av sezonunun açılmasını takiben (Eylül-Ekim), Doğu Akdeniz bölgesindeki yerel balıkçılardan temin edilen on farklı tür (*Argyrosomus regius*, *Boops boops*, *Helicolenus dactylopterus*, *Lithognathus mormyrus*, *Mugil cephalus*, *Sarpa salpa*, *Saurida lessepsianus*, *Scomber japonicus*, *Sparus aurata* ve *Sphyraena sphyraena*) incelenmiştir. Soğuk zincir korunarak laboratuvara ulaştırılan balıkların yalnızca yenilebilir kas dokuları (fileto) ayrıştırılmış, herhangi bir pişirme işlemi uygulanmadan çiğ materyal üzerinden hassas ölçüm cihazları (ICP-MS) kullanılarak Ca içerikleri mg/100g cinsinden tespit edilmiştir. Bu analiz, balığın kılçıklarından arındırılmış saf etinin sağladığı Ca miktarını göstermesi açısından tüketiciler için pratik bir rehber niteliğindedir.

Bulgular ve Tartışma

Analiz sonuçları, aynı coğrafi bölgede (Doğu Akdeniz) yaşamalarına rağmen, balık türleri arasında Ca depolama kapasitesinin genetik faktörler ve beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak değişim gösterdiğini ortaya koymuştur. İncelenen on tür arasında, kas dokusunda en yüksek Ca içeriği 70,28 mg/100g ile çipura (*S. aurata*) türünde tespit edilirken, en düşük değer 29,71 mg/100g ile kupes (*B. boops*) türünde görülmüştür. Araştırmaya ait elde edilen veriler aşağıdaki Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Doğu Akdeniz'den Temin Edilen Bazı Ticari Balık Türlerinin Kas Dokusu Ca İçerikleri (2025 Verileri)

Balık Türü (Türkçe)	Bilimsel Adı	Ca İçeriği (mg/100g) *
Çipura	<i>Sparus aurata</i>	70,28
Lokum	<i>Saurida lessepsianus</i>	67,24
Sarpa	<i>Sarpa salpa</i>	66,42
Kefal	<i>Mugil cephalus</i>	56,49
İskorpit	<i>Helicolenus dactylopterus</i>	55,88
Mırmır	<i>Lithognathus mormyrus</i>	54,91
Iskarmoz	<i>Sphyraena sphyraena</i>	47,97
Granyöz	<i>Argyrosomus regius</i>	45,41
Kolyoz	<i>Scomber japonicus</i>	44,61
Kupes	<i>Boops boops</i>	29,71

*Değerler yenilebilir kas dokusuna aittir.

Elde ettiğimiz bu bulgular, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında tutarlılık göstermektedir. Örneğin Valverde ve ark. (2000:507), derin su mezgit balığı (*Micromessistius poutassou*) ve berlam (*Merluccius merluccius*) gibi türlerin sadece et kısmındaki Ca miktarının 17,7 mg/100g ile 38,3 mg/100g arasında değiştiğini; dil balığında (*Solea vulgaris*) ise bu oranın 80,1

mg/100g seviyesine kadar çıktığını bildirmişlerdir. Bizim çalışmamızda tespit edilen 29,71 – 70,28 mg/100g aralığı, Valverde ve ark. (2000:507) rapor ettiği bu değerlerle büyük ölçüde örtüşmektedir. Benzer şekilde Mohanty ve ark. (2016:455) da kemiksiz ve derisi alınmış 35 farklı balık türünde Ca miktarının geniş bir yelpazede (64,1 ila 5310 mg/100g) değiştiğini belirtmişlerdir. Çalışmamızdaki veriler, bu geniş aralığın özellikle kas dokusu için belirtilen alt sınırlarıyla uyum içerisindedir. Ayrıca araştırmacılar, balığın kemik ve etiyle birlikte tüketilmesi durumunda Ca değerlerinin 10 kata kadar artabildiğini (350-476 mg/100g) rapor etmişlerdir (Valverde ve ark., 2000:507). Bu durum, çalışmamızın giriş bölümünde değinilen "kılçıkla tüketim" önerisini bilimsel olarak desteklemektedir. Bu yaklaşım küresel beslenme stratejileriyle de örtüşmektedir. Örneğin Beto (2015:6), Kore toplumunda süt ürünlerinin yanı sıra özellikle hamsi gibi bütün tüketilen küçük balıkların, ulusal beslenme alışkanlıklarında kritik bir Ca kaynağı olduğunu rapor etmiştir. Doğu Akdeniz'den elde ettiğimiz veriler ile Uzak Doğu'daki bu tüketim alışkanlıkları birleştirildiğinde; coğrafya fark etmeksizin küçük balıkların iskelet sistemi sağlığı için evrensel bir çözüm olduğu anlaşılmaktadır.

Araştırmada elde ettiğimiz değerler, günlük beslenme pratiği açısından dikkate değer bulgular sunmaktadır. Analizimizde en yüksek Ca içeriği 70,28 mg ile çipuranın (*S. aurata*) 100 gramlık çiğ filetosunda tespit edilmiştir. Yetişkin bir insanın günlük ortalama 1000 mg Ca ihtiyacı göz önüne alındığında; 100 gramlık bir balık filetosu bu ihtiyacın %7'sini, ortalama bir porsiyon (200g) ise yaklaşık %14'ünü tek başına karşılayabilmektedir. Bu durum, balık etinin (fileto) sanılanın aksine, süt ürünlerini destekleyici önemli bir biyolojik Ca kaynağı olduğunu kanıtlamaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Çalışmamızdan elde edilen veriler (29,71 – 70,28 mg/100g), balık etinin (fileto) önemli bir Ca kaynağı olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle çipura türünün 100 gramlık filetosu, yaklaşık 70 mg Ca içermektedir. Bu değer, standart inek sütünün Ca içeriğinin (yaklaşık 120 mg/100g) yarısından fazlasına denk gelmektedir. Dolayısıyla, bir porsiyon (yaklaşık 200g) balık filetosu tüketildiğinde, günlük Ca ihtiyacının %15-20'si sadece etten karşılanabilmektedir. Bu durum, süt ürünleri tüketemeyen bireyler için balık etinin güçlü bir alternatif olduğunu kanıtlamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), özellikle Ca alımının düşük olduğu bölgelerde hamile kadınların gebelik zehirlenmesi (preeklampsisi) riskini azaltmak için günlük 1500-2000 mg Ca almasını önermektedir (Cormick ve Belizán, 2019:1606). Bu yüksek ihtiyaç göz önüne alındığında, sadece balık filetosu tüketmek yeterli olmayabilir. Ancak, küçük balıkların kılçığıyla tüketilmesi veya balık etinin Ca açısından zengin yan ürünlerle desteklenmesi, bu değerli besinin sağlık üzerindeki etkisini maksimize edecektir.

Ca, insan sağlığı ve özellikle iskelet sisteminin bütünlüğü için vazgeçilmez bir mineraldir. Küresel çapta yaşanan Ca eksikliği sorunu, süt ürünlerine alternatif veya destekleyici kaynakların önemini artırmaktadır. Bu kitap bölümünde ele alınan literatür bilgileri ve Doğu Akdeniz özelinde gerçekleştirilen analizler, balıkların bu ihtiyacı karşılamada stratejik bir rol oynadığını göstermektedir.

Elde edilen bulgular, balık etinin (fileto) Ca içeriğinin türden türe önemli ölçüde değiştiğini, ancak asıl Ca deposunun balık iskeletinde ve kılçığında saklı olduğunu düşündürmektedir. Bu nedenle, *S. aurata* (çipura) veya *S. lessepsianus* (lokum) gibi sert kemikli türlerin fileto olarak tüketilmesi günlük Ca alımına önemli bir destek sağlarken; daha küçük türlerin doğru pişirme yöntemleriyle (buharda veya fırında) ve mümkünse kılçığıyla tüketilmesi, Ca biyoyararlanımını maksimize edecektir.

Sonuç olarak; balık tüketimi, sadece protein veya Omega-3 kaynağı olarak değil, aynı zamanda doğru tür ve pişirme yöntemi seçildiğinde, toplumdaki Ca eksikliğinin giderilmesinde de etkili bir beslenme stratejisi olarak değerlendirilmelidir.

Kaynakça

- Balami, S. S. (2019). Significance of nutritional value of fish for human health. *Malaysian Journal of Halal Research Journal*, 2(2), 32-34.
- Beto, J. A. (2015). The role of calcium in human aging. *Clinical Nutrition Research*, 4(1), 1-8. doi:10.7762/cnr.2015.4.1.1
- Cormick, G. & Belizan, J. M. (2019). Calcium intake and health. *Nutrients*, 11(7), 1606. doi:10.3390/nu11071606
- Flik, G. & Verboost, P. M. (1993). Calcium transport in fish gills and intestine. *Journal of Experimental Biology*, 184, 17-29. doi:10.1242/jeb.184.1.17
- Frozen Fish Direct. (2025). *Which fish are a good source of calcium?* (09, 12, 2025 tarihinde <https://frozenfish.direct/guides/which-fish-are-a-good-source-of-calcium/>) adresinden alındı
- Hossain, M. A. & Yoshimatsu, T. (2014). Dietary calcium requirement in fish. *Aquaculture Nutrition*, 20, 1-11. doi:10.1111/anu.12135
- Karadaş, N. (2024). Effects of fish on human health and nutrient content. *Agro-Science Journal of Iğdır University*, 2(1), 32-38.
- Larsen, T., Thilsted, S. H., Kongsbak, K. & Hansen, M. (2000). Whole small fish as a rich calcium source. *British Journal of Nutrition*, 83, 191-196.
- Mishra, S. P. (2020). Significance of fish nutrients for human health. *International Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 5(3), 47-49.
- Mohanty, P. B., Ganguly, S., Mahanty A., Mitra T., Patra, S., Karunakaran, D., Mathew, S., Chakraborty, K., Paul, B. N., Sarma, D., Dayal, S., Singh, S. & Ayyappan, S. (2019). Fish in human health and nutrition. *Advances in Fish Research*, 2, 189-219.
- Mohanty, P. B., Sankar, T. V., Ganguly, S., Mahanty, A., Anandan, R., Chakraborty, K., Paul, B. N., Sarma, D., Dayal, J. S., Mathew, S., Asha, K. K., Mirta, T., Karunakaran, D., Chanda, S., Shahi, N., Das, P., Akhtar, Md., S., Vijayagopal, P. & Sridhar, N. (2016). Micro nutrient composition of 35 food fishes from India and their significance in human nutrition. *Biological Trace Element Research*, 174, 448-458. doi:10.1007/s12011-016-0714-3
- Roos, N., Islam, Md., M. & Thilsted, S. H. (2003). Small fish is an important dietary source of vitamin A and calcium in rural Bangladesh. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54(5), 329-339. doi:10.1080/09637480120092125
- Torres, B., Pérez, A., García, P., Jiménez, P., Abrigo, K., Valencia, P., Ramírez, C., Pinto, M., Almonacid, S. & Ruz, M. (2024). Fish bones as calcium source: Bioavailability of micro and nano Particles. *Foods*, 13, 1840. doi:10.3390/foods131218
- Valverde, I. M., Periago, M. J., Santaella, M. & Ros, G. (2000). The content and nutritional significance of minerals on fish flesh in the presence and absence of bone. *Food Chemistry*, 71, 503-509.

Zhang, Y. (2023). The role of calcium in the body and consequences of deficiency. *Insights in Nutrition and Metabolism*, 7(2), 147.

BÖLÜM 5

BALIKLARDA OKSİDATİF STRESİN BİYOLOJİK TEMELİ

SERPİL MİŞE YONAR¹
M. ENİS YONAR²

Giriş

Balıklarda aerobik enerji üretimi sırasında mitokondriyal solunum zincirindeki elektron sızıntısı sonucu reaktif oksijen türleri (ROS) ortaya çıkar. Süperoksit (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($\bullet OH$) kontrol edilmediğinde hücre membranında lipid peroksidasyonu, protein oksidasyonu ve DNA hasarına yol açarak oksidatif stres oluşturur (Lushchak, 2011:13).

Balıkların solungaç yüzeylerinin geniş olması ve suyla doğrudan temas halinde bulunması, çevresel değişimlere karşı duyarlılığı artırır. Su kalitesinin bozulması, sıcaklık farklılıkları, çözünmüş oksijen düşüşü, ağır metal ve pestisit kontaminasyonu, yem oksidasyonu, amonyak birikimi ve stok yoğunluğunun artması

¹ Prof. Dr, Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, ORCID: 0000-0003-2736-5731.

² Prof. Dr, Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, ORCID: 0000-0001-9519-4247.

ROS oluşumunu hızlandırabilir (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75; Farombi & ark., 2007:158).

Bu nedenle balıklarda çok katmanlı bir antioksidan savunma sistemi gelişmiştir. Bu savunma; enzimatik antioksidan bileşenlerin yanı sıra glutatyon, vitamin C ve E, karotenoidler ve fenolik bileşiklerden oluşan non-enzimatik yapılarla desteklenir. Ayrıca Nrf2-ARE aktivasyonu, epigenetik düzenleme ve stres modülasyonunda rol alan moleküler mekanizmalar savunmanın üst kontrol katmanını oluşturur (Herrera & ark., 2019:447; Dawood & Koshio, 2018:334).

Antioksidan savunma kapasitesinin güçlendirilmesi yalnızca temel fizyoloji açısından değil, yetiştiricilikte büyüme performansı, bağışıklık yanıtı, yemden yararlanma ve sağkalım oranının artırılması açısından da kritik önemdedir. Doğru yem formülasyonu, probiyotik ve antioksidan katkılar ile çevresel yönetim stratejileri bu kapasiteyi artırabilir ve üretim verimliliğine olumlu yansır (Herrera & ark., 2019:447; Dawood & Koshio, 2018:334; Ma & ark., 2025:873).

Bu bölüm balıklarda oksidatif stresin biyolojik temellerini ve antioksidan savunma sisteminin enzimatik, non-enzimatik, moleküler ve tür-doku farklılıkları temelinde nasıl organize edildiğini literatür destekli olarak ele almayı amaçlamaktadır.

Balıklarda Oksidatif Stresin Biyolojik Modeli

Balıklarda oksidatif stres, serbest oksijen radikallerinin (ROS) üretimi ile organizmanın bu molekülleri nötralize etme kapasitesi arasındaki dengenin bozulması sonucu gelişen biyokimyasal bir süreçtir. Mitokondriyal solunum zincirindeki elektron kaçakları süperoksit (O_2^-) oluşumunun temel kaynağıdır ve bu radikal daha sonra hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($\bullet OH$) gibi reaktif türlere dönüşebilir. Bu moleküllerin birikimi membran lipidleri, protein dizileri ve DNA yapıları üzerinde

oksidatif hasar oluşturarak hücresel işlev kaybına neden olur (Lushchak, 2011:13).

Oksidatif stres yalnızca metabolik bir yan ürün değildir; çevresel koşullardaki dalgalanmalar ROS üretimini katlayarak artırabilir. Sıcaklık değişimleri, çözünmüş oksijenin düşmesi, amonyak birikimi, ağır metal ve pestisit maruziyeti, taşınma ve stok yoğunluğunun yükselmesi gibi yetiştiricilik parametreleri bu süreci hızlandırır. Solungaç yüzeyinin geniş olması nedeniyle balıklar toksik maddelere ve su kalitesindeki ani değişimlere oldukça açıktır (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75; Farombi & ark., 2007:158).

Mitokondride başlayan ROS üretimi, zincir şeklinde ilerleyebilen bir reaksiyon döngüsü oluşturur. Elektron taşıma zincirinden sızan süperoksit ilk tetikleyici radikaldır ve kontrol edilmezse hidroksil radikale dönüşerek doku hasarını şiddetlendirir. Lipid peroksidasyonunda malondialdehit (MDA) ve protein oksidasyonunda karbonil gruplarının artması oksidatif stresin temel biyobelirteçleridir. DNA hasarında 8-OHdG düzeyinin yükselmesi genetik stabilitenin bozulduğunu gösterir (Lushchak, 2011:13; Farombi & ark., 2007:158).

Bu tür biyomoleküler hasarlar hücre membranı geçirgenliğinin artmasına, iyon dengesinin bozulmasına ve mitokondriyal enerji üretiminin düşmesine yol açar. Enerji verimliliğinin azalması ROS üretimini daha da artırarak döngüyü besleyen bir geri bildirim oluşturur. Bu nedenle oksidatif stres yalnızca hücresel boyutta değil, büyüme performansı, hastalıklara direnç, yemden yararlanma ve sağkalım üzerinde belirleyici bir etkidir (Herrera & ark., 2019:447).

Balıklarda oksidatif strese karşı savunma mekanizması çok katmanlıdır. Başlangıç seviyesinde SOD, CAT ve GPx gibi enzimler oluşan peroksitleri temizleyerek hücre bütünlüğünü korur. Savunma uzadığında glutatyon döngüsü devreye girer ve GPx-GR sistemi

hücrel redoks dengesinin sürdürülebilirliğini sağlar. Ancak stres uzun süreliyse savunma kapasitesi zayıflayabilir ve non-enzimatik antioksidanlar (vitamin C, vitamin E, karotenoidler, fenolik bileşikler) destekleyici tampon görevi görmeye başlar. Bu bileşiklerin diyetle eklenmesi akuakültürde oksidatif yükü azaltma yönünde yaygın kullanılan bir stratejidir (Dawood & Koshio, 2018:334; Herrera & ark., 2019:447).

Son yıllarda moleküler düzeyde yapılan çalışmalar, oksidatif stres yanıtının yalnızca enzimatik tepkiden ibaret olmadığını göstermiştir. Nrf2-ARE transkripsiyon sistemi, antioksidan genlerin aktivasyonundan sorumlu merkezî düzenleyicidir. Aynı zamanda epigenetik modifikasyonlar ve miRNA aracılı post-transkripsiyonel kontrol, balıklarda oksidatif stres toleransını uzun dönemli olarak şekillendirebilen üst düzenleyici mekanizmalardır (Ma & ark., 2025:873).

Balıklarda Antioksidan Savunma Sisteminin Enzimatik Bileşenleri

Balıklarda oksidatif stresle mücadelede görev yapan ilk savunma hattı, antioksidan enzimlerden oluşan biyokimyasal sistemdir. Bu sistem, reaktif oksijen türlerinin (ROS) toksik etkilerini azaltmayı amaçlar ve özellikle süperoksit, hidrojen peroksit ve lipid peroksitlerinin detoksifikasyonu üzerine kuruludur. Enzimatik savunma, balık hücrelerinde oksidatif yük arttığında saniyeler–dakikalar içerisinde yanıt oluşturabilen hızlı bir koruma mekanizmasıdır. Bu nedenle su ürünleri yetiştiriciliğinde fizyolojik dayanıklılığın temel belirleyicilerinden biri kabul edilir.

Süperoksit Dismutaz (SOD)

SOD, oksidatif savunmanın başlangıç noktasıdır. Mitokondride ve sitozolde oluşan süperoksit radikali (O_2^-), SOD tarafından hızla hidrojen peroksite (H_2O_2) dönüştürülür. Bu dönüşüm gerçekleşmezse ROS zinciri ilerler ve hidroksil radikali gibi çok

daha zararlı formlara dönüşebilir. Balıklarda SOD aktivitesi stresin erken dönem göstergesi olup su sıcaklığı artışı, toksik madde maruziyeti ve hipoksi altında belirgin şekilde yükselebilir (Lushchak, 2011:13; Martínez-Álvarez & ark., 2005:75).

Katalaz (CAT)

CAT, SOD sonrası oluşan hidrojen peroksiti su ve oksijene ayrıştırarak sistemdeki ikinci kritik kontrol noktasını oluşturur. CAT aktivitesi kısa süreli oksidatif streslerde yükselme eğilimindeyken, uzun süreli kronik stres altında tüketilerek düşebilir. Bu nedenle CAT düzeylerinin tek başına yükselmesi her zaman olumlu yanıt anlamına gelmez, bazen savunma kapasitesinin zorlandığının da göstergesi olabilir (Farombi & ark., 2007:158; Herrera & ark., 2019:447).

Glutasyon Peroksidaz (GPx)

GPx, özellikle lipid hidroperoksitlerinin detoksifikasyonunda görev alır ve glutasyon (GSH) kullanarak H_2O_2 'yi zararsız forma dönüştürür. Balıklarda GPx aktivitesi, diyet bileşimi, stok yoğunluğu ve kirleticilere maruz kalma gibi faktörlere bağlı olarak değişim gösterebilir. Özellikle yüksek yağ içeren yemlerde GPx artışı, oksidatif yükün arttığını gösterir ve savunmanın aktive olduğunu düşündürür (Dawood & Koshio, 2018:334).

Glutasyon Redüktaz (GR)

GR, GPx ile birlikte çalışan tamamlayıcı enzimdir. Okside glutasyonu (GSSG) yeniden indirgenmiş formu olan GSH'ye dönüştürerek savunma sisteminin sürdürülebilirliğini sağlar. GR aktivitesi tek başına bir koruyucu yanıt göstergesi değildir; GPx ve GSH ile birlikte değerlendirildiğinde gerçek biyolojik tabloyu verir. Kronik streslerde GR tüketilerek düşebilir ve bu durum savunmanın kırıldığına işaret eder (Martínez-Álvarez et al., 2005:75).

Glutatyon-S-Transferaz (GST)

GST, hem detoksifikasyonda hem de lipid peroksit son ürünlerinin uzaklaştırılmasında görev alan konjugasyon enzimidir. Amonyak, ağır metal ve pestisit maruziyetlerinde GST düzeylerindeki artış, balık dokularının toksik yükü metabolize etmeye çalıştığını gösterir. Bu nedenle GST ekotoksikoloji çalışmalarında biyobelirteç olarak en sık kullanılan enzimlerden biridir (Farombi & ark., 2007:158; Herrera & ark., 2019:447).

Balıklarda Non-Enzimatik Antioksidanlar ve DiyetSEL Savunma Mekanizmaları

Balıklarda antioksidan savunma yalnızca enzimatik sistemlere bağlı değildir; özellikle kronik stres durumlarında veya savunma kapasitesi zorlandığında non-enzimatik antioksidanlar devreye girer. Bu bileşenler, redoks tamponu oluşturarak hücreyi korur ve enzimatik mekanizmaların sürekliliğini sağlar. Su ürünleri yetiştiriciliğinde dayanıklılığın korunması açısından bu moleküller stratejik öneme sahiptir (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75).

Glutatyon (GSH)

Glutatyon, hücre içi temel non-enzimatik antioksidandır ve glutatyon peroksidaz reaksiyonunda hidrojen peroksit ile lipid peroksitlerinin nötralizasyonunda elektron kaynağı olarak görev alır. GSH seviyesi düştüğünde oksidatif stres belirginleşir; bu nedenle GSH/ GSSG oranı stres derecesinin biyokimyasal göstergesi kabul edilir (Lushchak, 2011:13). Balıklarda güçlü antioksidan kapasite çoğunlukla glutatyon döngüsünün verimliliği ile ilişkilidir (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75).

Vitamin C (Askorbik Asit)

Vitamin C su fazında radikal temizleyicidir ve tokoferollerin yeniden indirgenmesini destekler. Hipoksi, sıcaklık şoku, taşınma ve

amonyak stresi dönemlerinde askorbat depolarının hızlı tükendiği ve bu durumun dokusal hasarı artırdığı bildirilmektedir (Dawood & Koshio, 2018:334). Bu nedenle yem formülasyonlarında C vitamini desteği büyüme performansı, bağışıklık cevabı ve hücrel bütünlük için kritik görülmektedir (Herrera & ark., 2019:447).

Vitamin E (Tokoferoller)

Vitamin E lipid fazında görev yapan başlıca antioksidandır ve membran fosfolipit tabakasını radikal zincir reaksiyonlarından korur. Yüksek yağlı rasyonlarda peroksidasyon riski arttığından tokoferol gereksinimi de yükselir. Eksikliğinde membran stabilitesi bozulur, MDA düzeyi artar ve oksidatif stres şiddetlenir (Dawood & Koshio, 2018:334; Herrera & ark., 2019:447). Vitamin C ile birlikte kullanımı sinerjistik etki yarattığı için en sık tavsiye edilen kombinasyondur.

Karotenoidler (Astaksantin ve Beta-Karoten)

Astaksantin ve beta-karoten gibi karotenoidler hem pigmentasyon hem antioksidan savunma açısından rol oynar. Lipid çözünürlüğü sayesinde membran düzeyinde savunmayı destekler ve özellikle uzun süreli streste GPx-GSH sistemine yük bindiğinde koruyucu tampon görevi görür (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75). Astaksantin takviyesi yapılan balıklarda büyüme, stres toleransı ve kas dayanımı üzerine olumlu etkiler rapor edilmiştir (Herrera & ark., 2019:447).

Polifenoller ve Bitkisel Antioksidanlar

Fenolik bileşikler, flavonoidler, tanenler ve ellajik asit gibi doğal antioksidanlar balıklarda ROS temizleme kapasitesinin artırılmasında önemli bileşenlerdir. Sentetik vitaminlere göre daha stabil olmaları özellikle uzun süreli yetiştiricilikte avantaj sağlamaktadır. Polifenol takviyesi oksidatif stres belirteçlerini

azaltabilir, bağışıklık yanıtını güçlendirebilir ve üretim kalitesini iyileştirebilir (Ma & ark., 2025:873).

Tür Bazlı Antioksidan Yanıt Farklılıkları ve Adaptasyon Kapasiteleri

Balık türleri arasında oksidatif stres yanıtı tek tip değildir; savunma kapasitesi genetik yapı, fizyolojik özellikler, yaşam alanı, beslenme şekli ve metabolik hız gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Tatlı su, deniz ve anadrom türlerde antioksidan sistem düzeyleri hem dinamik hem tür-spesifiktir. Bu nedenle antioksidan biyokimyası, türlerin çevresel adaptasyon başarısını doğrudan belirleyen bir parametre olarak kabul edilir (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75).

Salmonidlerde Antioksidan Profil

Salmonid türleri yüksek oksijen tüketimi ve aktif yüzme davranışı nedeniyle yoğun mitokondriyal aktiviteye sahiptir. Bu durum ROS üretimini potansiyel olarak artırsa da, aynı zamanda gelişmiş SOD–CAT–GPx sistemine sahip olmaları nedeniyle oksidatif yükü tolere edebilirler. Salmonidlerde uzun süreli stres altında SOD ve GPx aktivitesinin yükseldiği, ancak aşırı kronikleşme durumunda GSH tüketiminin başladığı gösterilmiştir (Lushchak, 2011:13; Dawood & Koshio, 2018:334). Bu türler yüksek enerji metabolizması nedeniyle aktif fakat hassas bir antioksidan dengeye sahiptir.

Tilapia ve Cyprinidlerde Dayanıklılık Mekanizması

Tilapia (*Oreochromis niloticus*) ve sazan (*Cyprinus carpio*) gibi türler genellikle daha güçlü glutatyon döngüsü ve toksik ortama adaptasyon kapasitesi ile tanınır. Özellikle yoğun stoklama ve amonyak maruziyetinde GSH seviyelerini daha uzun süre koruyabildikleri bildirilmiştir. CAT ve GST aktivitesinin bu türlerde çevresel değişimlere daha çabuk yanıt verdiği, bu nedenle

ekotoksikoloji çalışmalarında biyomarker olarak sık kullanıldığı belirtilmektedir (Farombi & ark., 2007:158; Herrera & ark., 2019:447). Bu zellikler onları yetiştiriciliğe uygun stres toleransı yüksek türler haline getirir.

Deniz Balıklarında Lipid Bazlı Riskler

Deniz türleri genellikle daha yüksek yağ oranına sahiptir ve bu durum lipid peroksidasyonunu daha kritik hale getirir. Vitamin E gereksiniminin bu türlerde daha yüksek olması şaşırtıcı değildir çünkü membran tabakasının oksidatif saldırıya daha açık olması E vitamini tamponunu zorunlu kılar. Marine türlerde astaksantin ve tokoferol takviyeleri büyüme ve stres toleransını artırdığı bildirilen en güçlü destekleyici bileşenler arasındadır (Dawood & Koshio, 2018:334; Herrera & ark., 2019:447). Özellikle yüksek yağlı yem kullanılan sistemlerde GPx aktivitesinin artışı oksidatif yk sinyali olarak değerlendirilebilir.

Soğuk ve Sıcak Su Türlerinde Termal Farklar

Sıcak su türleri (rn. tilapia) oksidatif stresi tamponlayacak daha aktif metabolizma ve enzimatik kapasiteye sahipken, soğuk su türlerinde membran yapısı daha duyarlıdır. Soğuk koşullarda doymamış yağ asidi oranı artar ve oksidasyon potansiyeli yükselir; bu nedenle E vitamini, karotenoid ve glutatyon desteği özellikle önemlidir (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75). Ani sıcaklık değişimleri GSH tüketimini hızlandırarak savunma kapasitesinin düşmesine neden olabilir (Lushchak, 2011:13).

Balıklarda antioksidan yanıt tür-bazlıdır; somonidler yüksek metabolizma nedeniyle reaktif fakat dengeli, tilapia ve cyprinidler dirençli, deniz balıkları lipid oksidasyonuna daha hassas, termal adaptasyon ise savunmanın biyokimyasal şeklini belirleyen temel parametredir (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75; Farombi & ark., 2007:158; Lushchak, 2011:13; Dawood & Koshio, 2018:334; Herrera & ark., 2019:447).

Balıklarda Doku Bazlı Antioksidan Savunma Farklılıkları

Antioksidan savunma balığın bütün dokularında aynı düzeyde işleyen tek tip bir yapı değildir. Metabolik hız, yağ dağılımı, oksijen tüketimi ve toksikanla temas sıklığı dokular arasında değiştiği için oksidatif saldırıya verilen yanıt da farklıdır. Bu farklılıklar özellikle karaciğer, beyin, solungaç ve kas dokusunda belirgin şekilde izlenir (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75). Doku temelli yaklaşım, balığın maruz kaldığı stres türünü değerlendirmede biyobelirteç seçimi açısından büyük avantaj sağlar.

Karaciğer – Detoksifikasyonun merkez üssü

Karaciğer, hem metabolik dönüşümlerin hem de detoksifikasyon süreçlerinin ana organı olduğundan oksidatif stres değerlendirmelerinde en çok incelenen dokudur. Yüksek düzeyde GST, GPx ve GR aktivitesi bu dokunun toksik yükü mücadelede öncelikli savunma noktası olduğunu gösterir. Ağır metal, pestisit ve yüksek yağlı yem maruziyetlerinde karaciğerde MDA artışı ve GSH tüketimi hızlı şekilde izlenebilir (Farombi & ark., 2007:158). Bu nedenle karaciğer parametreleri çoğu stres testinde ilk alarm veren biyokimyasal göstergelerdir.

Beyin – Lipid içeriği ve risk düzeyi yüksek

Balık beyni yüksek oranda çoklu doymamış yağ asidi içerir ve bu yapı serbest radikal saldırısına oldukça açıktır. Oksidatif stres altında SOD ve CAT aktivitesinin arttığı, fakat glutatyon depolarının daha yavaş yenilendiği bilinmektedir (Lushchak, 2011:13). Bu nedenle nöronal dokuda oksidatif hasar kalıcı nörofonksiyon kayıplarına ilerleyebilir. Bütün antioksidan savunma katmanları düşünüldüğünde beyin en hassas hedef dokulardan biridir.

Solungaç – İlk temas noktası, hızlı yanıt alanı

Solungaçlar su ile direkt temas ettikleri için çevresel toksikan giriş kapısıdır. Burada GST ve CAT aktivitesindeki artış çoğu zaman

akut maruziyetin erken göstergesidir (Herrera & ark., 2019:447). Hipoksi, amonyak, nitrit ve metal yüklerinde solungaç epiteli doğrudan ROS ile karşılaşır ve savunma hemen aktive olur. Fakat kronik stres koşullarında epitel incilmesi ve mukus tabakasının zarar görmesi savunmayı zayıflatabilir. Bu nedenle solungaç özellikle hızlı değişimlerin biyobelirteci olarak değerlendirilir.

Kas Dokusu – En son etkilenen fakat en geç toparlanan doku

Kas dokusu metabolik olarak daha düşük ROS üretir ancak antioksidan kapasitesi karaciğer ve solungaç kadar güçlü değildir. Bu nedenle kronik streslerde oksidasyon yükü arttıkça kas dokusunda lipid peroksidasyonu belirginleşebilir (Dawood & Koshio, 2018:334). Kas dokusundaki savunmanın zayıf olması, stresin büyüme performansı üzerine olumsuz etkisinin temel nedenlerinden biridir. Oksidatif yük kontrol altına alınmadığında filet kalite düşüşü ve doku yumuşaması görülebilir.

Karaciğer detoksifikasyonun merkezi, beyin en hassas oksidasyon hedefi, solungaç çevreye ilk cevap veren bariyer ve kas dokusu ise stres altında en geç toparlanan yapıdır. Bu doku bazlı farklılıklar antioksidan analizlerinde organ seçiminin bilimsel gerekçesini oluşturur (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75; Lushchak, 2011:13; Farombi & ark., 2007:158; Herrera & ark., 2019:447; Dawood & Koshio, 2018:334).

Beslenme Stratejileri ve Antioksidan Destek Modülasyonu

Sulu ortamda yaşayan balıklar hem dış çevre değişkenleri hem metabolik süreçlerden kaynaklı sürekli oksidatif stres altındadır. Bu stresi yönetmek ve hayatta kalma ile verimliliği artırmak için yem tasarımı ve beslenme stratejileri kritik rol oynar. Antioksidan katkılar, yem kalitesi ve içeriği; su kalitesi, stok yoğunluğu vb. dış parametrelerle birlikte düşünülmelidir (Taşbozan & Erbaş, 2023:321).

Diyette Antioksidan Takviyesinin Gerekliiliği

Yem içerikleri, balığın temel besin ihtiyaını karşılamamanın ötesinde, stres yönetimini etkileyecek bileşenleri de barındırmalıdır. Yüksek yağlı diyetler, lipid peroksidasyonu riskini artırır; bu da membran bütünlüğünde bozulma, oksidatif hasar ve performans düşüşüne yol açar. Bu durumda diyetle eklenen antioksidanlar (vitamin C/E, karotenoidler, doğal polifenoller) savunma sistemine destek sağlar (Hu & ark., 2025:87; Keleştemur ve zdemir, 2011:69).

Bir meta-analiz ve uygulamalı yem çalışmaları, vitamin C + E kombinasyonunun dokusal oksidatif stres belirteçlerini azalttığını, bağışıklık parametrelerini iyileştirdiğini ve büyüme performansını koruduğunu göstermiştir (Gao & ark., 2012:119; Dawood & Koshio, 2018:334).

Vitamin C ve E: Su ve Lipid Fazı Koruyucuları

Vitamin C (askorbat): Suda zneabilen radikalleri süpürür, su fazındaki antioksidan tampondur. Özellikle metal stresi, hipoksi veya taşınma gibi akut streslerde GSH ve CAT gibi sistemleri destekleyerek hücre koruması sağlar (Hu & ark., 2025:87).

Vitamin E (tokoferol): Lipid fazda çözünür; membran fosfolipitlerini serbest radikallerin saldırısından korur. Yüksek yağlı yemlerde ve lipid peroksidasyonu riskinde E vitamini önem kazanır. E vitamini ile birlikte C vitamini kullanımı sinerjistik etki yaratır (Gao & ark., 2012:119).

Bu kombinasyonun dengeli verilmesi hem su hem lipid fazında koruma sağlar ve oksidatif hasarı düşürür.

Karotenoidler ve Doğal Pigment / Antioksidan Katkıları

Karotenoidler (rneğin astaksantin, β -karoten) sadece renk pigmentasyonu için değil, aynı zamanda antioksidan kapasiteyi artırmak için de kritik katkılar sunar. Lipid içinde çözünür oldukları

için membran stabilitesini destekler, serbest radikal zincirlerini kırar ve bağışıklık sistemine katkı verebilir (Abd El-Gawad & ark., 2019:1056).

Özellikle yoğun üretim, stresli ortam veya yüksek yağlı yemlerle kültür yapılan deniz balıklarında karotenoid takviyesinin oksidatif stres ve bağışıklık üzerinde olumlu etkisi olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir (Wang & ark., 2006:95; Abd El-Gawad & ark., 2019:1056).

Doğal Antioksidan Kaynakları: Polifenoller, Bitkisel Ekstraktlar ve Fonksiyonel Yem Katkıları

Sentetik antioksidanlara yönelik kısıtlamalar ve tüketicinin doğal ürün talepleri, doğal antioksidan kaynaklarının kullanımını artırmıştır. Meyve, sebze, yosun veya bitkisel ekstraktlardan elde edilen polifenoller; hem lipid hem su fazında antioksidan kapasite sağlayabilir, enzimatik savunmayı destekleyebilir ve su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilir bir yaklaşım sunabilir (Taşbozan & Erbaş, 2023:321; Hu & ark., 2025:87).

Bu strateji sadece oksidatif stresi azaltmakla kalmaz; bağışıklığın güçlenmesi, stres toleransının artması ve yemden yararlanma oranının yükselmesi gibi çok yönlü kazançlar da sağlar.

Akuakültüre Uygulanabilir Pratik Yaklaşımlar ve Yönetim Stratejileri

Balıklarda antioksidan savunmanın anlaşılması yalnızca teorik bir bilgi değildir; doğru yönetim uygulamalarıyla üretim verimini doğrudan artıran stratejik bir araçtır. Akuakültürde oksidatif stresi azaltmak için en etkili yaklaşım, besleme optimizasyonu, çevresel yönetim ve stres azaltma protokollerinin birlikte uygulanmasıdır. Bu bölüm, yetiştiricilik sahasında doğrudan uygulanabilir önerileri içermektedir.

Yem Katkıları ve Fonksiyonel Besleme

Vitamin C–E kombinasyonu, karotenoidler, glutatyon destekleri ve polifenol içerikli yem katkıları balıklarda oksidatif yükü azaltabilir (Dawood & Koshio, 2018:334; Herrera & ark., 2019:447). Bu katkıların sinerjistik uygulanması enzimatik savunma kapasitesini destekler, büyüme performansını ve bağışıklık yanıtını artırır. Doğal antioksidanlar özellikle de bitkisel polifenoller uzun süreli kullanımda stabil oldukları için sürdürülebilir yem formülasyonu açısından avantaj sağlar (Hu & ark., 2025:87).

Su Kalitesi Yönetimi

Oksijen, pH, amonyak, nitrit ve sıcaklık en kritik değişkenlerdir. Ani değişimler ROS üretimini hızlandırdığı için çevresel parametrelerin istikrarlı tutulması gerekir (Martínez-Álvarez & ark., 2005:75).

Stoklama Yoğunluğunun Kontrollü Yönetimi

Yoğun stoklama hipoksi, amonyak birikimi ve davranışsal stres doğurur. Bu koşullar CAT–GPx dengesini bozar ve GSH tüketimini hızlandırır (Lushchak, 2011:13). Üretim tanklarında optimum stok yoğunluğu, tür ve su parametrelerine göre belirlenmeli, ani kalabalıklaşmalar önlenmelidir.

Taşıma ve Manipülasyon Protokolleri

Taşıma sırasında fiziksel stres + hipoksi kombinasyonu oksidatif saldırıyı en hızlı tetikleyen süreçtir. Nakliye öncesi vitamin C/E takviyesi, sedasyon uygulamaları ve oksijen doyumunun kontrolü adaptif yanıtı güçlendirir. Nakliye sonrası ilk 24–48 saatlik dönemde karotenoid–polifenol takviyesi doku iyileşmesini hızlandırabilir.

İzleme ve Biyobelirteç Takibi

Yetiştiricilikte rutin biyokimyasal izlemede aşağıdaki parametreler düzenli ölçüldüğünde stres yükü erken yakalanabilir:

- MDA (lipid peroksidasyonu göstergesi)
- GSH/GSSG oranı
- SOD–CAT–GPx aktivitesi
- Nrf2/mRNA ekspresyon profili yüksek risk dönemlerinde eklenebilir

Biyobelirteç odaklı yönetim, kayıplar başlamadan düzeltici müdahaleye imkânı sağlamaktadır.

Sonuç

Balıklarda antioksidan savunma sistemi enzimatik, non-enzimatik ve moleküler düzeyde organize olmuş çok katmanlı bir yapıdır. SOD, CAT, GPx, GR ve GST gibi enzimler oksidatif yükün ilk aşamada kontrol altına alınmasını sağlarken; glutatyon, vitamin C ve E, karotenoidler ve polifenoller gibi non-enzimatik bileşenler hücrel tampon görevi görerek savunmanın sürdürülebilirliğini destekler. Moleküler düzeyde Nrf2-ARE yolunun aktivasyonu, miRNA etkileşimleri ve epigenetik modülasyonlar uzun süreli adaptif yanıtın temel belirleyicileridir.

Doku bazlı incelendiğinde karaciğer detoksifikasyonun merkezinde yer alırken, beyin yüksek lipid yapısı nedeniyle oksidatif hasara en duyarlı dokudur. Solungaç çevresel toksikantlara ilk tepkiyi veren yüzeydir, kas dokusu ise stres altında geç etkilenmekle birlikte toparlanması en uzun sürebilen yapıdır. Bu nedenle analiz stratejisinde doku seçimi doğru planlanmalıdır.

Akuakültürde besleme yönetimi, yem antioksidan takviyesi, kararlı su koşulları, optimum stok yoğunluğu ve stres azaltıcı uygulamalar oksidatif hasarın kontrol edilmesi için temel

bileşenlerdir. Vitamin C-E kombinasyonu, karotenoidler ve doğal polifenollerle desteklenmiş fonksiyonel yemler oksidatif yükü azaltabilir, büyüme performansını ve bağışıklık sistemini güçlendirebilir.

Sonuç olarak, balıklarda antioksidan savunma sistemi dinamik, uyarlanabilir ve çevresel koşullarla doğrudan ilişkili bir yapıdır. Modern yetiştiricilik yaklaşımı yalnızca enzim aktivitelerini değil, aynı zamanda gen ekspresyonu, miRNA profili ve epigenetik düzeyi de birlikte değerlendirmelidir. Böyle bir yaklaşım üretimde dayanıklılığı artıracak, kaliteyi yükseltecek ve sürdürülebilir akuakültür uygulamalarına bilimsel temel sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Abd El-Gawad, E. A., Wang, H.-P., Yao, H., & Yao, H. (2019). Diet supplemented with synthetic carotenoids: Effects on growth performance and biochemical and immunological parameters of yellow perch (*Perca flavescens*). *Frontiers in Physiology*, 10, 1056. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01056>
- Dawood, M. A. O., & Koshio, S. (2018). Vitamin C supplementation to optimize growth, health and stress resistance in aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, 10, 334–350. <https://doi.org/10.1111/raq.12163>
- Farombi, E. O., Adelowo, O. A., & Ajimoko, Y. R. (2007). Biomarkers of oxidative stress and heavy metal levels as indicators of environmental pollution in African catfish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 4(2), 158–165. <https://doi.org/10.3390/ijerph2007040011>
- Gao, J., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., & Michael Fracarolli, V. L. (2012). Interaction between vitamin C and E

on oxidative stress in tissues and blood of Red Sea Bream (*Pagrus major*). *Aquaculture Science*, 60(1), 119–126.

Herrera, M., Mancera, J. M., & Costas, B. (2019). The use of dietary additives in fish stress mitigation: Comparative endocrine and physiological responses. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 447. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00447>

Hu, X., Chen, L., Wang, Y., Li, J., & Zheng, K. (2025). Application of natural antioxidants as feed additives in aquaculture. *Biology*, 14(1), 87. <https://doi.org/10.3390/biology14010087>

Keleştemur, G. T., & Özdemir, Y. (2011). Antioxidant defense and oxidative stress on the fishes. *Turkish Journal of Scientific Reviews*, 4(1), 69–73.

Lushchak, V. I. (2011). Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*, 101(1), 13–30. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.10.006>

Ma, W., Zeng, W., Zhang, D., Zhou, Y., Huang, Y., & Hong, Y. (2025). Oxidative stress in aquaculture: Pathogenic mechanisms and preventive strategies in farmed aquatic animals. *Current Issues in Molecular Biology*, 47(11), 873. <https://doi.org/10.3390/cimb47110873>

Martínez-Álvarez, R. M., Morales, A. E., & Sanz, A. (2005). Antioxidant defenses in fish: Biotic and abiotic factors. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15(1–2), 75–88. <https://doi.org/10.1007/s11160-005-7846-4>

Taşbozan, O., & Erbaş, C. (2023). Antioxidant additives in fish feeds. *BS Agriculture*, 6(3), 321–325.

Wang, Y. J., et al. (2006). Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival, growth, pigmentation and antioxidant capacity in freshwater fish. *Aquaculture*, 261, 95–104.

BÖLÜM 6

KAYBOLAN EKOSİSTEMLER-SULAK ALANLAR; ÖNEMİ VE KORUMA STRATEJİSİ

Nurgül ŞEN ÖZDEMİR¹

1. GİRİŞ

Sulak alanlar, yüksek üretkenlikleri, ekolojik çeşitlilikleri ve karmaşık yapılarıyla Dünya'nın en önemli ekosistemleri arasında yer almaktadır. Oluşumlarına, coğrafi konumlarına, su rejimlerine, kimyalarına, baskın türlerine, toprak ve tortu özelliklerine göre muazzam bir çeşitlilik gösterirler (Uzay Uygulamaları Merkezi, 2011: 1). Ne tam anlamıyla sulak ne de karasaldırlar, ancak mevsimsel değişkenliğe bağlı olarak aynı anda her ikisi de olabilirler. Yüksek habitat heterojenliğine sahip, biyolojik çeşitlilik ve biyolojik aktivite açısından zengin tipik alanlardır. Ayrıca, ekolojik olarak hassas ve adaptif sistemlerdir. Genellikle sulak alanlar, yılın en azından bir bölümünde durgun su ve/veya doymuş toprak varlığıyla tanımlanan ekosistemlerdir; bu

¹ Doçent, Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, ORCID ID: 000-0001-6656-822X

durum daha sonra özelleşmiş bitki örtüsünün (hidrofitler) ve sulu toprağın gelişiminden sorumludur. Bu faktörler (hidroloji, bitki örtüsü ve toprak) ve bunların etkileşimi, sulak alan ekosistemlerinin ve topluluklarının karakteristik özelliklerini oluşturur ve sulak alan türlerini ayırt etmek ve sınıflandırmak için kullanılabilir (Effah & ar., 2025 1).

Sulak alanlar, çeşitli su bitkilerinden (yüzen gölet nilüferleri, sazlar, selvi, karaçam ve mavi ladin); alglerden; balıklardan, kabuklu deniz hayvanlarından; böceklerden; yusufçuk, su samuru, timsah ve balık kartalı gibi etçil hayvanlardan; çeşitli göçmen kuşlara, su kuşlarına kadar çeşitli biyotik yaşamı destekler (Ghermandi & ark., 2008: 1). Böylece, sulak alanlar hem ekolojik hem de ekonomik değere sahip biyolojik olarak çeşitli toplulukları korur. Küresel sulak alan alanı 917 milyon hektardan 1275 milyon hektardan fazlasına kadar uzanır ki bu Dünya yüzeyinin yalnızca % 6'sına denk gelir (Bassi & ark., 2000). Buna rağmen, sulak alanlar ekosistemin sürdürülebilirliği ile ilgili hizmetlerin çoğunu sağladıkları için Dünya üzerindeki yaşamın önemli bir yönüdür (Smith & ark., 1995: 2). Bu karşın, su yönetimi, baraj yapımı, balıkçılık, çiftçilik, petrol çıkarma, tarım ve ormancılık gibi insan kaynaklı etkiler nedeniyle kaynakların çoğu risk altında kabul edilmektedir. Kayıplar, kıyı doğal alanlarına kıyasla iç kesimlerde daha büyük ve daha hızlıdır (Nayak & Bhushan, 2022: 2). Bu gibi ekolojik, sosyal, ekonomik, coğrafik vb. etkilerin olumsuz etkilediği sulak alanların bütünüyle korunma ve sürdürülebilirliğin sağlanması konusu giderek daha çok dikkat çekmeye başlamıştır. Bu nedenle, bu bölümde sulak alanların önemi ve koruma stratejileri üzerinde durularak, hem farkındalık oluşturma hem de araştırmalara kaynak oluşturma amaçlanmıştır.

2. SULAK ALANLARIN SINIFLANDIRILMASI ve DAĞILIMI

Sulak alanlar, tropikal çöllerden soğuk tundralara kadar tüm iklim bölgelerinde ve deniz seviyesinin altından Himalayalar'a yaklaşık 6000 m yüksekliğe kadar tüm rakımlarda bulunur. Sulak alanlar, suyun su ortamına uyum sağlamış bitki ve hayvanların

yerleşmesine olanak sağlayacak kadar uzun süre biriktiği her yerde bulunur (Gopal, 2015: 2). Sulak alanlar su, toprak ve canlı olmak üzere üç temel bileşenden oluşurlar. Dolayısıyla suyun olabildiği bütün ortamlarda bulunan sulak alanlar değişik şekil ve tiplerle karşımıza çıkabilmektedir (Karakoç, 2017 : 2).

Ramsar Sulak Alanlar Sözleşmesi, sulak alanları (Madde 1.1) "doğal veya yapay, kalıcı veya geçici, durgun veya akan, tatlı, acı veya tuzlu su içeren bataklık, turbalık, turbalık veya su alanları ile gelgit sırasında derinliği altı metreyi geçmeyen deniz suyu alanları" olarak tanımlar. Ramsar Sözleşmesi gölleri ve nehirleri de "derinliklerinden bağımsız olarak bütünüyle sulak alanlar" olarak kabul eder.

Pittock & ark. (2015: 3), sulak alan terimini tatlı su ekosistemleriyle (aynı zamanda iç sular olarak da adlandırılır) eşanlamlı olarak kullanır ve bunları "suyun bitki ve hayvan yaşamını ve daha geniş çevreyi kontrol eden birincil faktör olduğu, su tablasının kara yüzeyinde veya yakınında olduğu veya suyun karayı kapladığı yerler" olarak tanımlar. Böylece sulak alanlar, "kara"nın rolü olmadan sulara dönüşmüştür. Sulak alan teriminin bu kadar geniş bir kapsamı, su bitkilerinin işlevlerini ve ekosistem hizmetlerini belirlemedeki rolünü tamamen göz ardı etmektedir. Aslında, su bitkileri, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki sulak alanların tanımında ayırt edici bir özelliktir.

Amerika Birleşik Devletleri Balık ve Yaban Hayatı Servisi, sulak alanları tanımlamak için ayrıntılı bilimsel kriterler kullanmıştır ve sulak alanlar, su tablasının genellikle yüzeyde veya yüzeye yakın olduğu veya sığ sularla kaplı olduğu, karasal ve sucul sistemler arasında geçiş yapan araziler olarak tanımlanmıştır (Cowardin & ark., 1979: 3). Bu tanımlama ışığında, sulak alanlar aşağıdaki üç özellikten bir veya daha fazlasına sahip olmalıdır: (1) en azından periyodik olarak, arazi ağırlıklı olarak su bitkilerini destekler; (2) alt tabaka ağırlıklı olarak drenajsız sulu topraktır; ve (3) alt tabaka topraksızdır ve her yılın büyüme mevsimi boyunca bir noktada suyla doymuş veya sığ suyla kaplıdır (Cowardin & ark. (1979: 3).

Cowardin & ark. (1979: 3) tarafından geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan ilk sulak alan sınıflandırma sistemlerinden biri de, sulak alanları deniz (kıyı sulak alanları), haliç (deltalar, gelgit bataklıkları ve mangrov bataklıkları dahil), göl (göller), nehir (nehirler ve akarsular boyunca) ve palustarin olarak sınıflandırmıştır. Cowardin & ark. (1979: 3), sulak alanların sınırlarını ayrıntılı olarak şu şekilde açıklamışlardır: Sulak alan terimi, beş kategoriden birine giren çeşitli alanları içerir: (1) yaygın olarak bataklık, sazlık ve turbalık olarak bilinenler gibi hidrofitler ve sulu topraklar içeren alanlar; (2) hidrofitler içermeyen ancak sulu topraklar içeren alanlar - örneğin, su seviyesindeki ani dalgalanmaların, dalga hareketinin, bulanıklığın veya yüksek tuz konsantrasyonunun hidrofitlerin büyümesini engelleyebileceği düz alanlar; (3) hidrofitler içeren ancak sulu olmayan topraklar içeren alanlar, örneğin hidrofitlerin yerleştiği ancak sulu toprakların henüz gelişmediği baraj veya kazı alanları kenarları; (4) kayalık kıyıların deniz yosunuyla kaplı kısmı gibi toprak içermeyen ancak hidrofitler içeren alanlar; ve (5) çakıl plajlar veya bitki örtüsü olmayan kayalık kıyıları gibi toprak ve su fitleri içermeyen sulak alanlar. Tanım, sulak alanların hem karasal hem de derin su habitatlarıyla sınırlarının belirlenmesiyle daha da netleştirilmiştir. Derin su habitatlarıyla olan sınır, Ramsar tanımı ve sulak alanların yönetimi bağlamında daha da önemlidir. Cowardin & ark. (1979: 4) göre: Deniz ve haliç sistemlerinde sulak alan ile derin su habitatı arasındaki sınır, bahar gelgitlerinin aşırı düşük su seviyesiyle çakışır; bu sistemlerde kalıcı olarak su altında kalan alanlar derin su habitatları olarak kabul edilir. Nehir, Göl ve Palustrine sistemlerinde sulak alan ile derin su habitatı arasındaki sınır, düşük su seviyesinin 2 m altında yer alır; ancak, su üstü bitkileri, çalılar veya ağaçlar herhangi bir zamanda bu derinliğin ötesine büyürse, derin su kenarları sınırdır.

Sulak alanların işlevlerini belirlemede en önemli ve baskın rol, su bitkileri (su mercimeği, azolla ve su sümbülü gibi serbest yüzen bitkiler hariç) tarafından belirlenir. Sulak alan bitkileri, berrak su koşullarında yaklaşık 4 metre derinliğe kadar bulunabilir. Bu nedenle, yalnızca büyük nehirlerin sığ ve genellikle periyodik olarak sular altında kalan kenar bölgeleri (taşkın yatakları olarak

adlandırılır) ve göller ile rezervuarlar (kıyı bölgeleri olarak adlandırılır) uygun sulak alan olarak kabul edilir. Benzer bir durum, yüksek kara parçaları ile denizin derin açık suları arasında yer alan başka bir sulak alan türü olan mangrovlar için de geçerlidir. Birçok sulak alan, belirli amaçlar doğrultusunda insanlar tarafından değiştirilmiş ve yönetilmektedir. Örneğin, çeltik tarlalarının ve balık havuzlarının çoğu, doğal sulak alanlardaki bitki örtüsü ve fauna manipüle edilerek oluşturulmuştur. Benzer şekilde, kurak ve yarı kurak bölgelerde, sulama ve/veya evsel kullanımlar için su depolamak amacıyla küçük mevsimlik akarsuların akışı engellenerek sayısız su deposu oluşturulmuştur. Nehirler üzerine barajlar inşa edilerek binlerce büyük ve derin rezervuar oluşturulmuştur. Bu insan yapımı su kütlelerindeki su seviyesi önemli ölçüde dalgalanmaktadır ve havzalarının morfolojisi nedeniyle, giderek zengin su bitki örtüsü ve diğer biyotalara sahip sulak alanlara dönüşen geniş kıyı bölgelerine sahiptirler. Yüz binlerce insan yapımı sulak alan, varlıklarını tuğla veya yol yapmak için toprağın kazılması, taş ocağı işletmeciliği veya kanallar boyunca alçak arazilerin su altında kalması gibi çok çeşitli insan faaliyetlerine borçludur (Gopal, 2015: 5).

Sulak Alan Tipleri

Buzul Gölleri: Bir buzulun tabanında oluşan göllerdir (Gopal, 2015: 5).

Turba bataklıkları: Kısmen ayrılmış veya ayrılmamış bitki kalıntılarından oluşan kalın bir kütle (çoğunlukla kuzey enlemlerinde *Sphagnum* yosunları) olarak tanımlanır (Gopal, 2015: 5). Bunlar su dolu arazilerde yetişebilen bataklık yosunu dene bitkiler tarafından oluşturulur. Bataklık yosunları büyüdükçe doğal bir sünger gibi yapraklarındaki suyu yakalar. Turbalık arazilerin su dolu toprağında bitkiler çürümez. Bataklık yosunları birikir ve turba denen süngerimsi bir madde oluşturur. Turba arazileri birçok kuş ve böcek için önemli bölgelerdir (WWF, 2020: 5).

Sığ göller: Yaklaşık 3 metre derinliğe sahip ve tüm alanında bol miktarda su bitkisi büyümesine olanak tanıyan doğal göllerdir (Gopal, 2015: 5).

Derin Göller: Su derinlikleri su altında kalmış su bitkilerinin büyümesini engelleyen göller; su bitkisi bitki örtüsüne sahip dar bir çevresel kıyı kuşağına sahip olabilir (Gobal, 2015: 6).

Taşkın ovaları: Nehir kanallarının yanlarında bulunan ve nehir akışı kanalların taşıma kapasitesini aştığında periyodik olarak sular altında kalan alanlardır (Gobal, 2015 :6).

Sazlıklar: Suyla doymuş veya otsu bitki örtüsüne sahip, suyla doymuş alt tabakaya sahip habitatlar; ayrıca sığ suya sahip alanlar da olabilir; doğal veya insan faaliyetleri sonucu oluşan, su basmasına neden olan alanlardır. Ayrıca, ağırlıklı olarak odunsu bitki örtüsüne sahip batık veya suyla kaplı yüzeylerin oluşturduğu habitatlarda bataklık olarak adlandırılabilir (Gobal, 2015: 6).

Mangrovlar (Mangrov bataklıkları): Mangrov bataklıkları, tropikal ve subtropikal bölgelerde bulunan kıyı sulak alanlarıdır. Acı sudan tuzlu sulara kadar gelgit sularında yetişen halofitik (tuz seven) ağaçlar, çalılar ve diğer bitkilerle karakterize edilirler. Bu sulak alanlar genellikle tatlı suyun tuzlu suyla buluştuğu haliçlerde bulunur ve geçilmez odunsu bitki örtüsü labirentleriyle ünlüdür. Kuzey Amerika'da, Florida'nın güney ucundan Körfez Kıyısı boyunca Teksas'a kadar bulunurlar. Florida'nın güneybatı kıyısı, dünyanın en büyük mangrov bataklıklarından birine ev sahipliği yapar (WWF, 2020: 6).

Taşkın ovaları: Taşkın ovaları veya alçak araziler, bir nehre bitişik bir arazi alanıdır. Taşkın yatakları, bir nehir yatağının kıyılarından çevreleyen vadinin tabanına kadar uzanır ve yüksek debi dönemlerinde taşkınlara maruz kalır (Goudie, 2004). Topraklar genellikle taşkınlar sırasında biriken kil, silt, kum ve çakıllardan oluşur (Kovács, 2013: 6).

Turba alanları: Turbalıklar, son derece uzmanlaşmış hayvan ve bitki türlerinin eşsiz yaşam alanlarıdır. Turbalıklar aynı zamanda uzun vadeli karbon yutaklarıdır ve bu nedenle doğa temelli iklim eylemlerinin önemli bir bileşenidir. Onlara zarar vermek küresel iklim sistemini ciddi şekilde etkileyebilir. Su ve besin dengeleri

üzerinde düzenleyici etkileri ve yerel ve bölgesel iklimler için önemli olan buharlaşmalı soğutma etkisi vardır (Nordbeck & Høgl, 2024: 7).

Lagünler: Denize, özellikle gelgit dönemlerinde denizle su alışverişi yaptığı bir veya daha fazla küçük açıklıkla bağlı kıyı su kütleleridir. Lagünler genellikle tatlısu akışını karaya bakan su toplama havzalarından alır (Global, 2015: 7). Ancak lagünler, denize doğru hafifçe eğimli, yükselen veya daha önce yükselmiş kıyı ovalarında gelişir. En yaygın olarak mikro gelgit ortamlarında görülürler, ancak birçok lagün örneği mezotidal ve hatta makrotidal ortamlarda da bulunabilir (Nichols & Boon, 1994: 7). Lagünler genellikle kıyı veya okyanus/atol lagünleri olarak sınıflandırılır. Kıyı lagünü, okyanustan bir bariyerle ayrılmış sığ bir kıyı su kütesidir (Kennish & Paerl, 2010: 7). Bu bariyer, bir mercan resifi, bariyer adaları, bir kum çubuğu veya dil, çakıl veya daha az sıklıkla kayalardan oluşabilir (Kjerfve, 1994: 7). Okyanus/atol lagünü ise, bir lagünü çevreleyen dairesel bir mercan resifi veya mercan adaları dizisidir. Atol lagünleri, kıyı lagünlerinden çok daha derindir; bazen yaklaşık 20 metre derinliğe ulaşırlar. Maldivler'deki Huvadhu Atolu, 3113,5 km²'lik bir lagünle çevrili, yalnızca 38,5 km²'lik bir kara alanına sahiptir (Miththapala, 2013: 7).

Haliçler: Haliçler, nehirler ve denizler arasında geçiş bölgeleridir ve genellikle biyolojik çeşitlilik açısından zengin önemli ekosistemlerdir (Coleman & ark., 2009: 7). Haliçler genellikle lagünlerden daha derindir (Kjerfve, 1986: 7). Bir haliçte genellikle üç bölge bulunur: İlk bölge, nehrin tuzlu suyla buluşmaya başladığı yerdir - bu bölgede tuzlu sudan daha fazla tatlı su bulunur; denize doğru olan bir sonraki bölge, tatlı ve tuzlu suyun yaklaşık eşit oranda karıştığı yerdir; son bölge, suyun okyanusa aktığı alandır ve bu bölge çoğunlukla tuzlu sudan oluşur (Miththapala, 2013: 7). Haliçlerde, suyun nasıl dolaştığına dair karakteristik bir düzen vardır. Daha az yoğun ve dolayısıyla daha hafif su, yüzeye yakın bir yerden denize akarken, daha yoğun ve daha ağır tuzlu su, denizden dipten haliçe akar. Bir haliçteki tatlı suyun yeni tatlı suyla değiştirilmesi için gereken süreye yıkama süresi denir (Weis & Duffy, 2008: 8).

Rezervuarlar: Bir dere veya nehir üzerine baraj inşa edilerek oluşturulan büyük su kütleleridir (Gobal, 2015).

Tanklar: Genellikle mevsimsel akarsuların yüzeysel akışının tutulmasıyla oluşturulan su kütleleri; ayrıca tarama yoluyla oluşturulanlar(Gobal, 2015: 8).

Tapınak Tankları: Tapınakların yakınındaki doğal veya insan yapımı su kütleleri ve yalnızca kültürel/dini faaliyetler için kullanılır. (Gobal, 2015: 8).

Balık havuzları: Esas olarak balık yetiştiriciliği (su ürünleri yetiştiriciliği) için kullanılan doğal veya insan yapımı su kütleleri (Gobal, 2015: 8).

Çeltik tarlaları-Bataklık ormanları: Bazı sulak alanlar insan eliyle yapılır. Kullanılmayan moloz ve kum çukurları suyla dolar ve sınırlarında bataklıklar oluşur. Bunların birçoğu değerli doğal rezervler meydana getirir. Sıcak ülkelerde bu alanlar pirinç yetiştirmek için de kullanılır ve bu su basmış çeltik tarlaları balıklara, beyaz balıkçılara ve diğer su kuşlarına yuva olarak hizmet eder (WWF, 2008: 8).

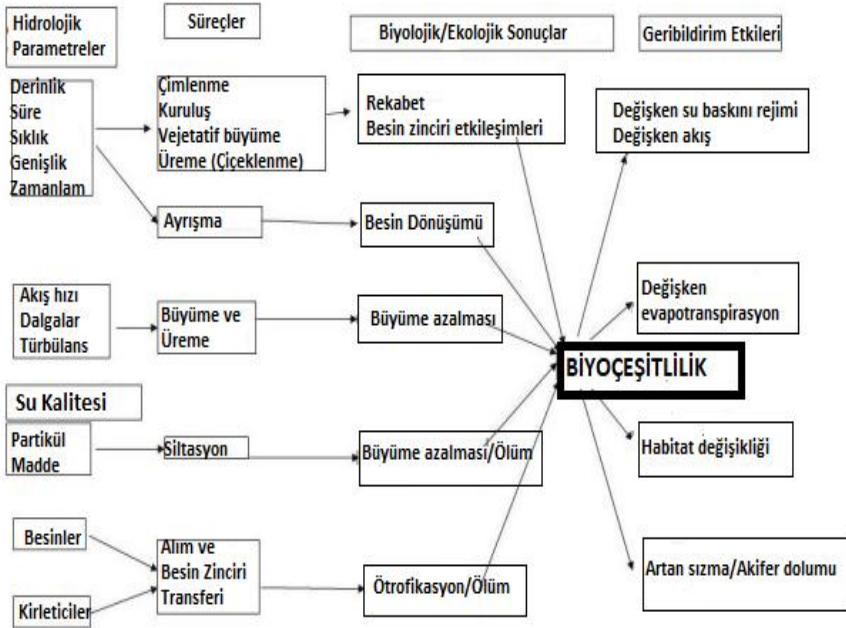
Köy havuzları: Köylerde çok amaçlı kullanılan küçük sığ su kütleleri (Gobal, 2015: 8).

3.SULAK ALANLARIN ÖNEMİ

Biyoçeşitlilik

Sulak alanlar benzersiz ekosistemlerdir ve dünya çapında çeşitli bitki, hayvan ve mikrobiyal türlere ev sahipliği yaparlar. Biyotik toplulukların üyeleri birbirlerine bağımlıdır ve çeşitlilik de sulak alanın büyüklüğüne, şekline, konumuna, iklimine, su ve besin kaynaklarına vb. bağlıdır. Bunun yanında, tortuların ve besinlerin biriktiği filtrelerdir; sazlar, otlar, kamışlar, nilüferler, sazlar ve ağaçlar gibi birçok bitki burada yetişir. Sulak alanların biyolojik çeşitliliği; bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalardan oluşan geniş bir biyotik topluluğu kapsamakta ve bu topluluk, ekosistemin biyojeokimyasal süreçlerinin düzenlenmesinde temel bir rol oynamaktadır (Bhowmik, 2022: 9).

Sulak alanlar, genellikle diğer birçok ekosistemden çok daha yüksek olan toplam biyolojik çeşitlilik açısından zengindir. Substratların uzun süreli su basması, toprakta oksijen eksikliğine (hipoksi) veya tamamen yokluğuna (anoksi) ve dolayısıyla toprak özelliklerinde çeşitli kimyasal değişikliklere neden olur. Bu durum, ortamı karasal bitkiler için uygunsuz hale getirir; ancak çok çeşitli otsu ve odunsu bitkiler sulak alan ortamına iyi adapte olmuştur. Hidrolojik değişkenler ve su kalitesi, biyolojik çeşitliliği etkileyen bir dizi biyolojik süreci doğrudan veya dolaylı olarak düzenler (Şekil 1). Sulak alan havzalarının morfolojisi, genellikle büyük mevsimsel su seviyesi değişiklikleriyle birlikte, nispeten büyük bir niş çeşitlenmesine ve dolayısıyla hem bitki hem de hayvan topluluklarının daha dinamik ve çeşitli olmasına yol açar (Gopal, 2015: 9).



Şekil 1. Sulak alanlarda biyolojik süreçleri ve biyolojik çeşitliliği etkileyen hidrolojik değişkenler (Gopal, 2015: 9)

Şaşırtıcı olmayan bir şekilde, birçok sulak alanın oldukça verimli olması, aynı zamanda hayvan türleri açısından da zengin oldukları anlamına gelir. Hayvanlar sulak alanlara çekilir çünkü sulak alanlar yiyecek, su, barınak ve yuvalama alanları sağlar. Kısacası, sulak alanlar birçok hayvana yuva sağlar. Birçok tür tüm hayatını sulak alanlarda geçirir ve hayatta kalmak için tamamen onlara bağımlıdır. Diğer türler ise yaşam döngülerinin yalnızca bir bölümünde sulak alanlara bağımlıdır. Bu türler için sulak alanlar yazlık, kışlık veya ara sıra beslenme veya dinlenme yeri olarak hizmet eder (Flynn, 1996: 10). Bunun yanında, Gopal & Junk (2000: 10) tarafından altı sulak alan faunası kategorisi belirlenmiştir: (1) sulak alanın kendi sakinleri; (2) derin su habitatlarından düzenli göçmenler; (3) karasal yüksek alanlardan düzenli göçmenler; (4) diğer sulak alanlardan düzenli göçmenler (örneğin su kuşları); (5) ara sıra gelen ziyaretçiler ve (6) sulak alan biyotasına dolaylı olarak bağımlı olanlar (örneğin, gölgelik böcekleri). Kısacası, sulak alanlar birçok hayvana yuva sağlar. Birçok tür tüm hayatını sulak alanlarda geçirir ve hayatta kalmak için tamamen onlara bağımlıdır. Diğer türler ise yaşam döngülerinin yalnızca bir bölümünde sulak alanlara bağımlıdır. Bu türler için sulak alanlar yazlık, kışlık veya ara sıra beslenme veya dinlenme yeri olarak hizmet eder (Flynn, 1996). Omurgasızlar arasında, kabuklular ve 11 böcek takımıyla temsil edilen eklembacaklılar ve yumuşakçalar, sulak alan faunasının en baskın bileşenleridir. Oligoketler de bol miktarda bulunur. Omurgalılar arasında amfibiler, balıklar ve kuşlar baskındır. Kunduzlar, su samurları ve gergedanlar gibi birçok memeli yalnızca sulak alanlarda bulunurken, bataklık geyiği ve manda gibi diğerleri sulak alanları esas olarak otlatmak için kullanır. Yetişkin olduklarında karada yaşayan böceklerin çoğu larva evrelerini sulak alanlarda geçirir; birçok karakuşu sucul hayvanlarla beslenir; kaplumbağalar, timsahlar ve birçok balık gibi birçok sucul hayvanın hayatta kalması sulak alanlara bağlıdır. Ayrıca su kuşları, kaplumbağalar ve balıklar arasında uzun mesafeli -genellikle kıtalar arası- göçmenler de vardır (Gopal & Junk, 2000 ; Gopal, 2001 ; Gopal, 2009: 10).

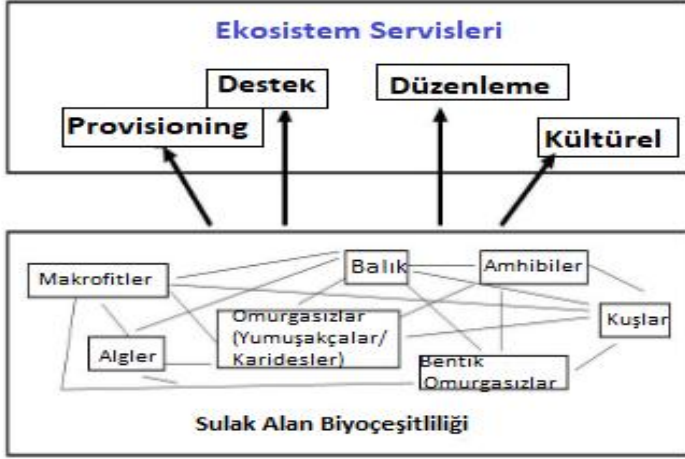
Sulak alanlar, yaban hayatı için de kritik bir yaşam alanı sağlar ve aslında sulak alanlar, yaban hayatı verimliliği açısından diğer tüm arazi türlerini geride bırakır. Amerika Birleşik

Devletleri'nde yaklaşık 150 kuş türü ve 200'den fazla balık türünün hayatta kalmak için sulak alanlara bağımlı olduğu tahmin edilmektedir. Büyük mavi balıkçıl, büyük ak balıkçıl, kel kartal, balık kartalı, kızıl omuzlu şahin, baykuşlar, yabani hindi, kemerli yalıçapkını, kızıl karınlı ağaçkakan, tepeli ağaçkakan ve çeşitli kırlangıç, serçe ve ötleğen türleri gibi birçok kuş sulak alanları kullanır. Ördekler sulak alanlarda çok sayıda bulunur. Ördek türleri arasında ağaç ördeği, yeşilbaş ördek, kara ördek, mavi kanatlı çamurcun, boz ördek, yaban ördeği ve kuzey kılkuyruk bulunur. Misk sıçanı, kunduz, rakun ve ak kuyruklu geyik gibi memeliler de sulak alanları kullanır. Ayrıca, çok çeşitli sürüngenler, kaplumbağalar ve tatlı su balıkları hayatta kalmak için sulak alanlara bağımlıdır (Flynn, 1996: 11).

Sulak alanlar genellikle mikroskobik algler (fitoplankton veya filamentli algler) dışında su bitkilerinin (makrofitler olarak adlandırılır) varlığıyla tanınır (Gopal, 2015: 11). Ekolojik ve ekonomik açıdan en değerli sulak alanlar, endemik ve nesli tehlike altındaki birçok canlıyı barındıran habitatlardır. Bu alanlarda sazlar, kamışlar, nilüferler, ılgınlar, su kuşları en fazla bulunan canlılardır (OSIB, 2013: 11). Dünya'da 150.000 km² lik alanla en geniş ve en iyi korunan sulak alanlardan birisi olan Pantanal (Güney Amerika), bataklıklar, taşkın alanları, lagünler ve birbirine bağlı drenaj hatlarından oluşan karmaşık bir sistemdir. Bu alanda 658'den fazla kuş türü, 190 memeli, 50 sürüngen, 270 balık türü ve 1000'den fazla kelebek türü bulunmaktadır (www.panda.org, 12.09.2025. 11).

Biyoçeşitlilik ve ekosistem işleyişi arasındaki ilişki de sulak alanlarda oldukça önemlidir. Biyoçeşitliliğin kendisi bir ekosistem hizmeti olarak kabul edilmez, ancak çeşitli organizmalar için habitat sağlamak, biyota çeşitliliğini zenginleştirerek insanlara fayda sağlayan destekleyici bir hizmettir. Biyoçeşitlilik, tüm ekosistem hizmetlerini doğrudan veya dolaylı olarak kontrol eder. Bir su bitkisi, insanlar tarafından doğrudan kullanılacak bazı ürünler sağlar, besin zincirleri aracılığıyla diğer biyotaları destekler, bir miktar karbon tutar, suyu oksijenlendirir, besin maddelerinin yanı sıra kirleticileri de giderir ve estetik veya kültürel ve sosyal faydalara katkıda bulunabilir (Şekil 2). Sulak alanların biyoçeşitliliği bu anlamda da onların önemli kaynaklar haline gelmesini sağlar (Prasad & ark., 2019. 12).

Şekil 2. Sulak alan biyolojik çeşitliliği ile ekosistem hizmetleri arasındaki bağlantılar



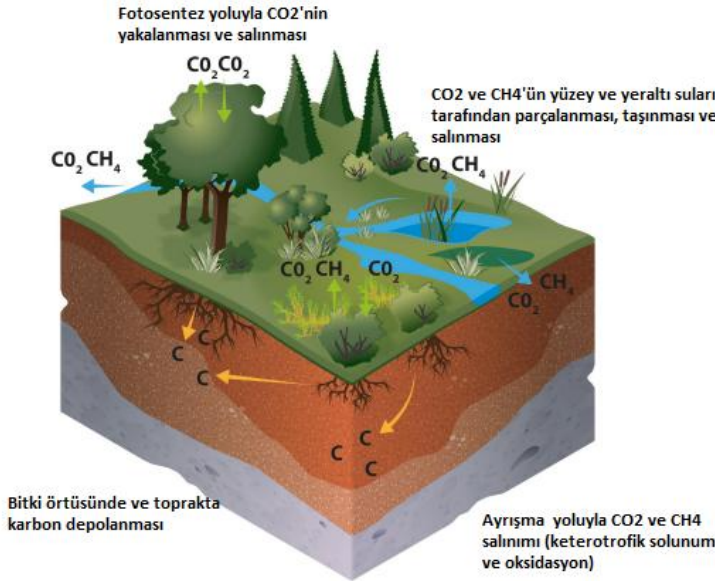
(Prasad & ark., 2019: 12)

Karasal Karbon ve İklim Değişikliği

Sulak alanlar, en önemli karasal karbon (C) rezervuarlarından bazılarıdır. Korunmaları, iklim değişikliğiyle mücadelede en iyi doğa temelli çözümlerden biri olarak kabul edilmektedir (Drever & ark., 2021: 12). Sulak alanlar, küresel ısınma potansiyelinin sırasıyla yaklaşık %60, %20 ve %6'sına katkıda bulunan baskın sera gazları olan metan, karbondioksit ve nitroz oksit gibi sera gazlarının atmosferik konsantrasyonlarını düzenleme kapasiteleri nedeniyle iklim değişikliğinde önemli bir rol oynamaktadır (IPCC, 2007: 12). İklim değişikliği, sıcaklığı artırarak ve hidrolojik örüntüleri değiştirerek bir sulak alan ekosistemini etkileyebilir, bu da ekosistemin biyojeokimyasını değiştirebilir (Stewart & ark., 2013: 12). En üretken ekosistem türlerinden biri olan sulak alanlar fotosentez yoluyla karbonu aktif olarak bitki biyokütlesi veya topraktaki organik madde olarak hapsedebilir ve biriktirebilirler. Sulak alanların suyla doymuş hali, üretim hızını aşan verimsiz bir ayrışmaya neden olur. Bu anoksik durum, sulak alanlarda büyük miktarda karbon birikmesine neden olur ve bu da onları birer karbon havuzu haline getirir (Laiho, 2006: 13). Dolayısıyla, bu

doğal ortamların değiştirilmesi ve yok edilmesi, karbon döngülerini bozabilir ve karbondioksit (CO_2) ve metan (CH_4) dahil olmak üzere önemli sera gazı emisyonlarına neden olabilir. Sulak alanlarda karbon, toprak, bitki örtüsü ve atmosfer arasında değiş tokuş edilir (karasal karbon akışları) (Şekil 3). CO_2 , fotosentez sırasında bitkiler tarafından özümser. CO_2 ve CH_4 , bitki solunumu veya organik maddelerin ayrışması yoluyla atmosfere salınan başlıca sera gazlarıdır. Çözünmüş organik karbon (ÇOK) da yüzey ve yeraltı suları (sucul karbon akışları) tarafından üretilir ve taşınır. Sulak alanlar genellikle yıllık bazda negatif bir karbon dengesine sahiptir, yani yaydıklarından daha fazla karbon emerler ve bu da onları önemli C yutakları haline getirir (Taillardat & ark., 2020: 13)

Şekil 3. Sulak alanlardaki karbon dinamikleri. Oklar değişimin yönünü gösterir, ancak akışları nicel olarak belirtmez

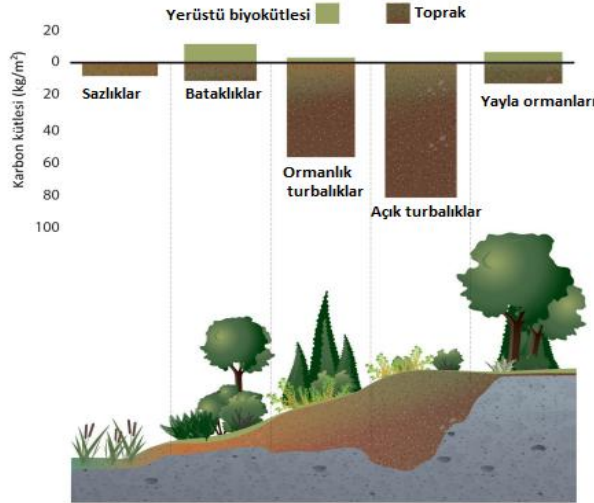


(Magnan & ark., 2024)

Sulak alan türleri arasında karbon dağılımında önemli farklılıklar vardır (Şekil 4). Turbalıklar, çoğu topraklarının kalın organik birikintilerinde (turba) bulunan en yüksek miktarda karbonu depolar. Bu ortamlarda, asidik ve anaerobik koşullar ve

sürekli olarak suyla doymuş topraklardaki düşük biyolojik aktivite nedeniyle organik madde üretimi ve birikimi ayrışmayı aşar. Daha fazla ayrışmış organik birikinti ile karakterize edilen ormanlık turbalıklar, genellikle açık turbalıklara göre daha düşük SOC miktarına sahiptir, ancak daha yüksek bir yer üstü biyokütlesine sahiptir. Bataklıklarda ve sulak alanlarda, hidrolojik değişkenliğin daha fazla olması ve aerobik koşullar altında bitki örtüsünün daha hızlı ayrışması nedeniyle topraklarda organik madde daha az bulunur. Bataklıklarda, bitki örtüsündeki karbon miktarı nispeten düşüktür ve SOC miktarı genellikle diğer sulak alan türlerine göre daha düşüktür. Bataklıklarda, karbonun önemli bir kısmı odunsu bitki örtüsünde depolanır ve bu ortamlar, yüksek ormanlarınkine (hidromorf olmayan topraklar) benzer bir SOC kütlesine sahiptir (Magnan & ark., 2024: 14) (Şekil 4).

Şekil 4. Farklı sulak alan türlerinin toprak ve yer üstü biyokütlesindeki karbon dağılımının yüksek ormanlarla karşılaştırılması (Magnan & ark., 2024).



Verileri sentezlemek için kullanılan sulak alan sınıflandırması, Lachance, Fortin, & Dufour Tremblay, (2021) tarafından sunulan sınıflandırmadır.

İklim değışikliği, sulak alanları artan sıcaklık, yağış yoğunluğu ve sıklığındaki değışiklikler, kuraklık, sel ve fırtına sıklığı gibi aşırı iklim olayları gibi doğrudan ve dolaylı etkilerle etkileyebilir. Değişen hidroloji ve artan sıcaklık, sulak alanın biyojeokimyasını ve işlevini, bazı önemli hizmetlerin kötüye kullanılmasına yol açabilecek derecede değıştirebilir. Bu, artık su arıtma hizmeti sunamayacakları ve olumsuz bir şekilde ayrışmaya ve yüzey suyuna besin salmaya başlayarak su kütlelerinde ötrofikasyon, asitleşme ve kahverengileşme gibi sorunlara yol açabilecekleri anlamına gelir (Stets & Cotner, 2008; Corman & ark., 2018: 15). İklim değışikliği sonucunda bir sulak alanda ayrışma oranının üretimden (fotosentez) daha yüksek olması, bir C yutağından bir C kaynağına, yani atmosfere karbondioksit ve metan emisyonlarına geçişe yol açabilir (Flanagan & Syed, 2011: 15). Daha sıcak koşullarda, daha yüksek mikrobiyal aktivite ve daha yüksek nitrifikasyon ve denitrifikasyon oranı nedeniyle sulak alanlardan daha fazla nitroz oksit emisyonu meydana gelebilir (Huang & ark., 2013: 15).

Kirleticiler

Sulak alanların su arıtma kapasitesi uzun zamandır bilinmektedir. Doğal sulak alanlar genellikle içlerinden geçen suyun kalitesini iyileştirir, "canlı filtreler" görevi görür ve karasal ve sucul sistemler arasında geçiş bölgeleri veya "ekotonlar" olarak hizmet verir (Sundaravadivel ve Vigneswaran, 2001). Noktasal ve noktasal olmayan kaynaklardan kaynaklanan kirleticilerin arıtılmasını sağlayan çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler sağlar ve böylece su kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunurlar. Birçok bölgede doğal sulak alanlar, yüzyıllardır, toksik organik bileşikler de dahil olmak üzere çok çeşitli antropojenik kirleticiler için uygun atık su deşarj alanları ve emiciler olarak kullanılmaktadır (Kadlec & Knight, 1996: 16). Aslında, sulak alanlarda, organik madde, askıda katı maddeler, besin fazlalığı, patojenler, metaller ve diğer mikro kirleticiler de dahil olmak üzere noktasal kaynaklardan (örneğin belediye ve bazı endüstriyel atıklar) ve noktasal olmayan kaynaklardan (örneğin madencilik, tarımsal ve

kentsel akış) büyük miktarlarda kirleticiyi verimli bir şekilde azaltma veya giderme kapasitesi vardır (Hammer, 1989: 16).

Sulak alan, çökelme, bozulma ve kirleticilerin atmosfere aktarılması veya yeraltı suyuna sızması kombinasyonu yoluyla yağmur suyundan kirleticileri uzaklaştırmak için bir bariyer görevi görür (Strecker & ark., 2001: 16). Yağmur suyu akışı, askıda katı maddeler, besin maddeleri, bakteriler, metaller ve toksik maddeler taşır (Herrman, 2012: 16) ve bu kirleticiler, sulak alanlarda doğal olarak emilerek veya çökeltilerek iyileştirilebilir (azaltılabilir veya uzaklaştırılabilir). Fosfor ve azot gibi besinler, sulak alanlarda adsorpsiyon ve denitrifikasyon süreçleriyle uzaklaştırılır, salınır ve dönüştürülür (Nichols , 1983: 16).

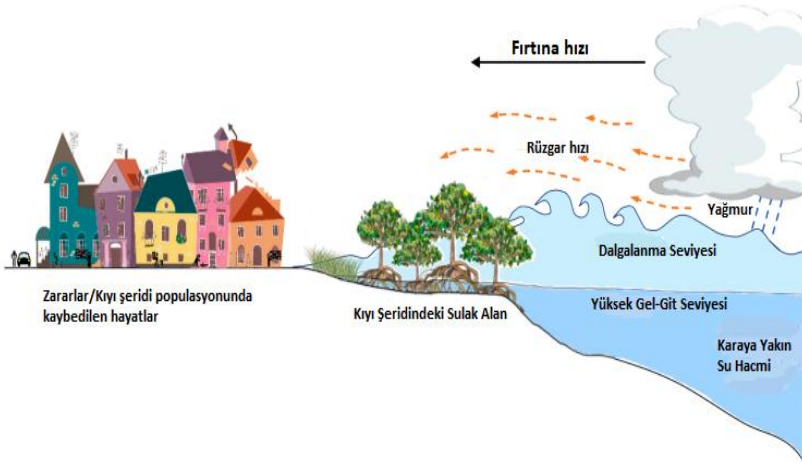
Sel ve Fırtına Önleyiciler

Artan iklim değişikliği etkileri karşısında, etkili taşkın yönetimi stratejilerine olan ihtiyaç her zamankinden daha acil hale gelmiştir. Artan iklim belirsizlikleri ve taşkınlarla ilgili artan endişelerin yaşandığı bir çağda, doğal sulak alanların taşkınların azaltılması ve su depolanmasındaki rolü önem kazanmıştır. Karmaşık yapıları ve dinamik işlevleri, taşkın olaylarının şiddetini azaltmaya ve ekosistemler içindeki su dengesini korumaya katkıda bulunur (Luo & ark., 2018: 16).

Dereler ve nehirlerle ilişkili sulak alanlar, devasa sığ su kanalları gibi davranarak sel sularının akışını yavaşlatır. Bu kanallara akan su hız kaybeder ve yayılır. Yoğun yağışlar sırasında sulak alanlar suyu emer ve yavaş yavaş nehirlerle ve derelere bırakır. Bu kontrollü salınım, genellikle yıkıcı taşkınların tetikleyicisi olan su seviyelerindeki ani artış riskini azaltır (Blöschl & ark., 2019: 17). Sulak alandaki bitkiler, suyu tutmada önemli bir rol oynar. Sulak alan bir sünger görevi görür. Çünkü sel suyunun büyük bir kısmı sulak alanda depolanır ve birkaç gün içinde denize akmak yerine yavaşça aşağı akış bölgelerine bırakılır. Bu, özellikle başta erozyon olmak üzere sel hasarını büyük ölçüde azaltır ve yıl boyunca daha istikrarlı bir su temini sağlar. Özellikle de, taşkın suları sulak alanları sular altında bıraktığında, fazla suyu emen bir tampon bölge oluşturur ve dolayısıyla aşağı akıştaki taşkın riskini en aza indirir. Bu hidrolojik işlev, taşkın hasarının yıkıcı sonuçlara yol

açabileceği yoğun nüfuslu bölgelerde özellikle önemlidir (Betts & ark., 2007: 17). Ayrıca, sulak alanlar suyu uzun süreler boyunca depolar ve kurak dönemlerde serbest bırakır. Bu doğal depolama kapasitesi, nehirlerdeki temel akışın korunmasına yardımcı olarak ekosistemler ve insan ihtiyaçları için tutarlı bir su temini sağlar (Blöschl & ark., 2019: 17). Bunun dışında, özellikle kıyı sulak alanları çok çeşitli ekosistem hizmetleri sağlar (Finlayson & ark., 2015: 17). Özellikle hayati önem taşıyan hizmetlerden biri, hem can hem de malların tropikal siklonların etkilerinden korunmasıdır (Rahman & ark., 2018). Kıyı sulak alanları, fırtına enerjisini ne karaların ne de açık suyun emebileceği şekillerde emerek tropikal siklonların kıyı toplulukları üzerindeki zararlı etkilerini azaltır (Simpson & Riehl, 1981: 17). Etki eden mekanizmalar arasında, rüzgarın dalgalar oluşturmaları için açık su alanının (getirme) azaltılması, su hareketi üzerindeki sürüklenmenin ve dolayısıyla bir fırtına dalgasının genliğinin artırılması, su yüzeyindeki doğrudan rüzgar etkisinin azaltılması ve dalga enerjisinin doğrudan emilmesi yer alır (Costanza & ark., 2006: 17). Bu duruma sulak alan bitki örtüsü de iki şekilde katkıda bulunur: (1) dalgalandırma ve dalgalandırma azaltarak; ve (2) aynı etkiye sahip sığ su derinliklerini koruyarak (Şekil 5; Costanza & ark., 2021: 17).

Şekil 5. Tropikal fırtınaların, kıyı sulak alanlarının yumuşattığı tropikal bir siklonun kesiminde verdiği hasar ve kaybedilen can/nüfus üzerindeki etkilerinin diyagramı.



Su Emilimi ve Depolama

Sulak alanlar, karasal ve derin su ekosistemleri arasında, mevsimsel veya kalıcı olarak sığ sularla kaplı ara bölgelerdir (Cowardin & ark., 1979: 18). Bunlar, taşkın depolama faydaları sağlama (Padmanabhan & Bengtson, 2001: 18), yeraltı suyu beslemesini artırma (Bulluck, 2003: 18) ve tortu ve besinleri hapsedme (Johnston, 1991: 18) gibi kritik hidrolojik rollere sahip farklı ekosistemlerdir (National Research Council, Division on Earth, Commission on Geosciences, & Committee on Characterization of Wetlands, 1995: 18).

Bir madde bir sulak alana girdiğinde depolanabilir, kimyasal veya biyolojik etkiyle değiştirilebilir veya su ya da atmosferik akışlar yoluyla dışarı edilebilir (Richardson, 1988: 18). Bu etkileşimlerin genel bir modeli, sulak alanlardaki malzemeler için 7 farklı depolama bölmesi ve 28 farklı akış yolu içerir. Sulak alanlarda tutulma, sulak alan ekosisteminin depolama bölmelerine (topraklar, bitki örtüsü ve bitki çöpleri) kümülatif akışlardan kaynaklanır. Yıllık girdiler çıktılardan fazlaysa, depolama bölmesi bir "lavabo" görevi görür ve maddeyi dolaşımdan uzaklaştırır (Johnston, 1991: 19).

İstihdam, Gıda ve Enerji

Sulak alan ekosistemleri-nehirler, göller, bataklıklar, pirinç tarlaları ve kıyı alanları-insan refahına çok yönlü katkılar sunan ekosistem hizmetlerinin başlıca kaynaklarındandır. Bu alanlar, özellikle yakın çevrelerinde yaşayan topluluklar için gıda, su, gelir ve geçim faaliyetleri açısından hayati öneme sahiptir; dolayısıyla sulak alanların bozulması, bu toplulukları doğrudan olumsuz etkilemektedir (Smardon, 2009: 19).

Sulak alanlar; balık türleri, göçmen ve yerleşik kuşlar, deniz kaplumbağaları ve bitkisel genetik materyaller gibi yüksek ekolojik değere sahip biyolojik kaynaklar sunmakta ve özellikle düşük gelirli topluluklar için temel gıda ve gelir kaynağı oluşturmaktadır (Kwei, 2005: 19). Nitekim Savelugu örneğinde halkın % 79'u, sulak alanları hane gıda güvenliğinin temel dayanağı olarak belirtmiştir. Bu katkılar; verimli tarım toprakları sağlanması,

balıkçılık yoluyla beslenme, sulak alan ürünlerinin satışından gelir elde edilmesi, fidanlık faaliyetleri için uygun koşullar sunulması ve mikroiklimin düzenlenmesi gibi çok yönlü mekanizmalarla gerçekleşmektedir (Atim & ark., 2022: 19). Sulak alanlar aynı zamanda balıkçılık, kuş gözlemciliği, fotoğrafçılık, yürüyüş ve avcılık gibi rekreasyonel faaliyetler için önemli çekim merkezleridir. Bu faaliyetler, özel avlak ve gözlem alanlarının kiralanması yoluyla yerel ekonomilere önemli katkılar sağlamaktadır. Örneğin ABD’de 2001 yılında 34 milyondan fazla kişi balıkçılığa katılmış; balık avı gezilerine 14,7 milyar dolar, ekipmana 17 milyar dolar ve lisans ile ilgili diğer harcamalara 4 milyar dolar ayırmıştır. Aynı yıl yaklaşık 3 milyon kişi göçmen kuşları, 6,5 milyon kişi ise küçük memelileri avlamıştır (EPA, 2006: 19).

Rekreasyon, Kültür ve Estetik Değer

Sulak Alan Parkları, önemli veya özel ekolojik, kültürel, estetik ve biyolojik çeşitlilik değerlerine sahip sulak alan manzaralarının hakimiyetindedir (Zhou & ark., 2020: 20).Sulak alanlar kültürel ekosistem servisleri (CES), insanların sulak alan ekosistemlerinden manevi zenginleşme, bilişsel gelişim, rekreasyon veya estetik deneyimler yoluyla elde ettikleri maddi olmayan faydalar olarak tanımlanmıştır (Martínez Pastur & ark., 2016. CES’ler sistematik incelemelerinde, insanların sulak alanlardan keyif alabileceği çeşitli yollar (toplam 67) belirlenmiştir (Wood & ark., 2024: 20). Bu durum, farklı sulak alan ekosistemlerinin çeşitliliğini ve suyun bir rekreasyon ortamı olarak uyarlanabilirliğini yansıtabilir; çünkü boş zaman aktiviteleri su altında (örneğin şnorkelli yüzme), su yüzünde (örneğin kano), su kenarında (örneğin balık tutma) ve hatta su üzerinde (örneğin zipline) gerçekleştirilebilir. Sulak alanların rekreasyon ve turizm değerinin önemli bir bileşeni, doğa gözlemi de dahil olmak üzere boş zaman aktivitelerini kolaylaştıran ve ekoturizmin temel itici gücü olabilen sulak alanlar tarafından desteklenen yaban hayatıdır.

Bu, boş zaman etkinliklerinin somutluğu ve ekonomik potansiyeli oldukça önemlidir ve ölçülebilir değerli veri kaynakları sağlayabilir. Çünkü, rekreasyonel faaliyetlerde bulunan kişiler

tespit edilebilir ve sayılabilir (Waelti, 1970: 20). Örneğin, 14 Avrupa Birliği ülkesinde 11.000'den fazla yetişkinle yapılan bir çevrimiçi anket, sulak alan rekreasyonel faaliyetlerinin yılda tahmini 631 milyar avro gelir sağladığını ortaya koymuştur (Börger & ark., 2021: 20).

Sulak alanlar, insan yerleşimi ve geçim kaynaklarıyla uzun bir geçmişe sahiptir ve bu nedenle birçok insan toplumunun kültürel dokusuna ve kimliğine derinlemesine işlenmiştir. Örneğin, Maoriler (Yeni Zelanda'nın Aotearoa yerlileri) için sulak alanlar, yiyecek (balık, su kuşları ve yumurtaları) ve dokuma gibi kültürel uygulamalar için malzemeler (örneğin keten, *Phorium tenax*) de dahil olmak üzere yaşam tarzlarını sürdürmek için ihtiyaç duydukları temel kaynakları sağladıkları için kültürel öneme sahip alanlardır (Harmsworth & ark., 2016: 21). Bu ilişkiler, Maori kültürel kimliğini şekillendirir ve kültür ve bilginin nesiller arası aktarımı için fırsatlar sunar (Harmsworth & Awatere, 2013). Artık sürdürülemez kabul edilse de, İrlanda'da insanlar, 1000 yıldan uzun süredir "çim biçme" adı verilen geleneksel bir topluluk-içi süreciyle turba hasadı yapmaktadır (O'Connell & ark., 2021: 21). Bu da, turba bataklıklarını, bu topluluklar için önemli deneyimsel ve sembolik değerlerin zengin depoları olarak göstermektedir (Waylen & ark., 2016: 21).

Estetik değer, sulak alanlar tarafından sağlanan en sezgisel CES'lerden biridir ve halk tarafından en çok değer verilen ölçülebilir ekosistem hizmetlerinden biridir (Zhou & ark., 2020: 21). Örneğin, bir çalışma, su kaynaklarının varlığının ev fiyatlarını etkileyen en etkili çevresel faktör olduğunu ve bir evin değerlemesine %10'a kadar katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur (Luttik, 2000: 21). Pekin'in kentsel alanlarında yapılan bir çalışma, katılımcıların %25,1'inin estetik hizmetleri için kentsel yeşil ve mavi alanları ziyaret ettiğini ve mavi alanın yeşil alandan daha değerli olduğunu ortaya koymuştur (Dou Yuetlan & ark., 2017: 21). Sulak alanların insan sağlığı ve refahı üzerindeki etkilerine dair sistematik bir inceleme, bu mavi alanlara yönelik güçlü tercihler olduğunu bildirmiştir (Völker ve Kistemann, 2011: 21). İnsanlar, su kütlelerinin sunduğu benzersiz duyuşal deneyimleri takdir etmektedir; özellikle de suyun sesi, berraklığı ve hareketi önemlidir (Völker & Kistemann, 2013: 21). İnsanlar genellikle, kıvrımlı

kıyılar, ağaçlar ve yemyeşil bitki örtüsüyle çevrili, hayranlık uyandıran kentsel mimarinin yanında bulunan, doğal manzaraya bağlı suları daha çok tercih etmektedir (Burmil & ark., 1999: 21). Algılanan su kalitesi (şeffaflık, renk vb.), suyun miktarı ve karaya oranı ile su bitki örtüsü ve tortularının varlığının da insanların sulak alan estetik kalitesi algısını etkilediği gösterilmiştir (Dobbie, 2013: 21).

4.NEDEN SULAK ALANLAR KAYBOLAN EKOSİSTEMLER?

Sulak alanlar, biyolojik çeşitlilik açısından en önemli ekosistemler arasında yer almasına rağmen, artan insan kaynaklı bozulma ve iklim değişikliği nedeniyle kapsamaları önemli ölçüde azalmış ve bozulmuştur (Fluet-Chouinard & ark., 2023; Nicholas, 2023). Kalan sulak alanların biyolojik çeşitliliği benzeri görülmemiş tehditlerle karşı karşıyadır (Xi & ark., 2021; Zhang & ark., 2020; Cimatti & ark., 2023: 22). Çalışmalar, sulak alan alanlarının 1900'den bu yana küresel olarak %50, 1700'den bu yana ise %87'ye varan bir oranda azaldığını göstermektedir (Davidson, 2014: 22).

Sulak alan habitatının bozulması, bir alana giren veya alandan çıkan su akışının artması veya azalmasından; hatalı foseptik tanklarından kaynaklanan aşırı besin ve toksik kimyasallardan kaynaklanan su kalitesinin düşmesinden; taşan kanalizasyonlardan; veya tarım arazilerinden veya kentsel alanlardan gelen akıntılardan kaynaklanabilir. Sulak alan habitatının tahribatı, doğal alanların tarım alanlarına, kentsel gelişime veya bitki monokültürlerine dönüştürülmesinden kaynaklanır (Niering, 1988; Flynn, 1996: 23). Sulak alana bağımlı türlerin karşı karşıya olduğu bir diğer tehlike ise sulak alanların giderek daha küçük ve bağlantısız alanlara parçalanmasıdır. Bu gerçekleştiğinde, hayatta kalmak için geniş alanlara ihtiyaç duyan türler yok olmaya başlayacaktır. Bu durum, Louisiana'daki kara ayı ve Florida'daki Florida panterinde gözlemlenmiştir. Geniş alanlara ihtiyaç duymayan diğer hayvanlar, artık yakındaki bir sulak alandan diğerine hareket edemedikleri için, uygun üreme partnerlerinden izole olma veya soy içi çiftleşme

sorunuyla karşı karşıya kalabilirler (Barnes, 1992; Flynn, 1996: 22). Sulak alanlar, hem habitat bozulması hem de tahribatından özellikle ağır bir şekilde etkilenmiştir. Aslında, Avrupa yerleşimleri sırasında 48 eyaletin güneyinde var olan tüm sulak alanların yaklaşık yarısı yok olmuştur. Kaliforniya gibi bazı eyaletler, 200 yıl önce mevcut olan sulak alanların %90'ını kaybetmiştir. Dünyanın birçok yerinde benzer kayıpların çoğu tarımdan kaynaklanmıştır. Günümüzdeki sulak alan kaybı, özellikle kıyı bölgelerinde, genellikle kentsel genişlemeye ilişkilendirilmektedir (Flynn, 1996: 23). Bu alanların bazıları uzun süre boş, işe yaramaz, tarıma uygun olmayan araziler olarak görülmüş ve tarıma elverişli hale getirilmek için drenaja tabi tutulmuştur. 1960'lar ve 1970'lerde yapılan kapsamlı sulak alan drenajları, mevcut tarımsal üretim alanlarının artmasına yol açmıştır. Ancak, birçok yerde, bu uygulamaya paralel olarak, komşu su kütlelerinin su kalitesinde bir düşüş gözlemlenmiştir. Ne yazık ki Türkiye'de de 1950'li yıllarda sıtma hastalığını önlemek üzere başlatılan sulak alanların kurutulması çalışmaları sonrasında bu alanlar tarım toprağı elde etme amacına hizmet etmiş ve 93.582 hektarlık 21 sulak alan tamamen kurutulmuştur. Araştırmalar, 1960'lardan bu yana, Türkiye'nin sahip olduğu toplam 2.5 milyon hektarlık sulak alan varlığının yarısına eşdeğer (1,3 milyon ha) kısmının, ağırlıklı olarak kurutma, doldurma ve bu alanları besleyen su kaynaklarına yapılan müdahaleler nedeniyle ekosistem özelliklerini kaybettiğini göstermiştir (WWF, 2020: 23).

Dünyadaki sulak alan kaybı ve bozulmasının başlıca nedenleri üç kategoriye ayrılabilir. Bunlar;

a- Biyolojik değişiklikler: Yabancı, yerli olmayan türlerin getirilmesi yoluyla sulak alan flora ve faunasının büyük ölçüde yok edilmesiyle biyolojik toplulukların değişmesi.

b- Kimyasal değişiklikler: Kirleticilerin ve toksik kimyasalların sulak alanlara salınmasıyla meydana gelebilir ve besin dengesinde değişikliğe neden olur.

c- **Fiziksel bozulma:** Bunlara doldurma, drenaj, tarama, akarsu kanalizasyonu, turba madenciliği, geliştirme, otlatma, atık dökümü ve baraj yapımı dahildir.

d-**Diğer faktörler:** Taşkınların neden olduğu toprak erozyonu ve siltasyon, sulak alanların yanması, kalıcı ve uzun süreli kuraklık, sulak alanların ıslahı ve ihlali ve iklim Değişikliği vb. Faktörlerdir (Masese & ark., 2012: 24).

5. SULAK ALANLARIN KORUNMASI

Sulak Alanlar için Mevcut Koruma ve Yönetim Yaklaşımları

Sulak alanların mevcut koruma yaklaşımları, yaklaşık 20-25 yıl öncesine kadar hakim olan daha geleneksel biyoçeşitlilik odaklı yaklaşımlardan evrilmiştir. Bu yaklaşımların oldukça sektörel ve çevrenin insanlar için önemini kısmen göz ardı edici olduğu söylenebilir. Koruma çalışmaları artık ekosistemleri ve insanları birbirine bağlayan güçlü bağların farkındadır. Ekosistemler, hayvan ve bitki türleri için barınak ve kaynak sağlamanın yanı sıra, insanların geçim kaynaklarını da destekler. Koruma önlemleri, zorunlu olarak yerel halkın çıkarlarıyla bütünleştirilmelidir. Artık oldukça sektörel bir yaklaşım benimsemenin koruma başarısına yol açmadığı kabul edilmektedir (Catley-Carlson, 2010: 24).

Uluslararası Öne Sahip Sulak Alanlar ve Özellikle Su Kuşları Yaşam Alanı Sözleşmesi (Sulak Alanlar Sözleşmesi) ve Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (CBD) (Convention on Biological Diversity, 2020; Ramsar Convention, 2022: 24) gibi uluslararası sözleşmelerin kolaylaştırmasıyla, sulak alanlar üzerine araştırmalar biyolojik çeşitliliğin korunması ve restorasyonu, çevre koruma ve karbon tutulması (Strassburg & ark., 2020; Salimi & ark., 2021: 24) açısından benzeri görülmemiş bir ilgi görmüştür. Sulak alan koruma ve yönetiminin uygulanmasının verimliliğini ve uygulanabilirliğini artırmak için, biyolojik çeşitliliğin önceliklendirilmesi, sulak alanlar koruma ağının optimizasyonu ve koruma hedeflerinin belirlenmesi üzerine araştırmalar özellikle acildir (Yi & ark., 2024: 24).

Sulak alan kayıplarıyla ilgili son endişeler, tahrip edilen doğal sulak alanların işlev ve değerlerini taklit etmeyi amaçlayan sulak alanların oluşturulması ihtiyacını doğurmuştur. Bu tür inşa edilmiş sulak alan sistemleri, insan kullanımı ve faydaları için doğal sulak alanları taklit eden, doymuş substratlar, su üstü ve/veya su altı bitki örtüsü, hayvan yaşamı ve sudan oluşan tasarlanmış ve insan yapımı bir kompleks olarak tanımlanabilir (Hammer, 1989). Yapay sulak alanlar, belirli tanımlayıcı terminolojide belirtildiği gibi aşağıdaki amaçlardan bir veya daha fazlası için tasarlanmış veya inşa edilmiştir (Sundaravadivel & Vigneswaran, 2001: 25). Ancak unutulmamalıdır ki, inşa edilmiş sulak alanlar, doğal sulak alanların kaybindan kaynaklanan hasarın bir kısmını telafi edebilse de, insan yapımı sistemler doğal ortamlarla aynı ekosistem hizmetlerini sağlayamaz (Turcios & ark., 2021: 25).

Sulak alanlar, yerleşim yerlerinden, sanayiden ve tarımdan kaynaklanan ve etkilerinin büyük ölçüde farkında olmayan kuruluşlar ve bireyler tarafından yönetilen çeşitli baskılardan etkilenmektedir. Bu nedenle korumanın bu farklı aktörlerle etkileşim kurması ve ilkelerini politikalarına ve uygulamalarına entegre etmeye çalışması gerekmektedir. Sulak alan koruma alanında faaliyet gösteren çok çeşitli devlet kurumları, sivil toplum kuruluşları, özel sektör kuruluşları ve bireyler bulunmaktadır. Bu politika ve uygulama topluluğu, belirli bir ekosistem türüne odaklanan tek uluslararası sözleşme olan İranda 1971 yılında imzalan Ramsar Sulak Alanlar Sözleşmesi kapsamında bir araya gelmektedir. Sözleşme, "üye ülkelerinin Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanlarının ekolojik karakterini koruma ve topraklarındaki tüm sulak alanların "akıllıca kullanımı" veya "sürdürülebilir kullanımı" için planlama yapma taahhütlerini içeren hükümetler arası bir anlaşmadır". Sözleşme kapsamında çalışan uluslararası uzmanlık, sözleşme tarafları ve ortak kuruluşlar, sulak alan koruma ilkelerinin ve yaklaşımlarının geliştirilmesinde etkili olmuştur. Ramsar Sözleşmesi şemsiyesi altında geliştirilen sulak alan korumanın temel kavramlarından biri "akıllıca sulak alan kullanımı"dır.

Türkiye Ramsar sözleşmesine 1994 yılında taraf olmuştur. 17 Mayıs 1994 tarih ve 21937 sayılı kararla Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Türkiye’de sulak alanlara dair uygulamayı gerçekleştiren kurum Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesindeki Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü’ne bağlı Sulak Alanlar Şubesidir. Türkiye 1994 yılında Sözleşmeye taraf olarak sulak alanların korunması için çalışmalara başlamıştır. Doğa Koruma ve Milli Parklar (DKMP) Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye’de 86 sulak alan bulunmaktadır. Bunların 14’ü Ramsar Alanı, 59’u Ulusal Öne ve 13’ü Mahalli Öne sahip Sulak Alandır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 2025: 26). Ramsar Sözleşmesi kriterlerine göre ise Türkiye’de 135 adet “Uluslararası Öne Sahip Sulak Alan” belirlenmiştir. Bunların da çoğu barındırdığı su kuşları ve balık türleri açısından uluslararası öne sahiptir. Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Stratejisi ve Eylem Planına göre Türkiye’de iç sularda 236 takson (tür ve alttür) tespit edilmiştir. Bunların da 70 tanesi Türkiye’ye özgü endemikler türlerdir. Ayrıca, Türkiye sınırları içerisinde tatlı su ekosistemlerinde toplam 26 familyaya bağlı 236 tür veya alt tür balık taksonu belirlenmiştir. Ayrıca, Türkiye iç sularında toplamda 10 tür iki yaşamlı (Amphibia), 5 tür sürüngen (Reptilia), 8 tür memeli (Mammalia) ve çok sayıda sucul omurgasız böcek varlığı da rapor edilmiştir (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 2007: 27).

Ülkeler özelini de içerecek şekilde, tüm dünyada sulak alanların korunması için farklı öneriler bulunmaktadır. Bunlardan bir derleme yapıldığında aşağıdaki koruma ve yönetim yaklaşımları önerilmektedir.

- a-** Sulak alan yönetiminin sulak alan yönetimine uygun olmadığı, yalnızca koruma amaçlı olduğu Ulusal Karasal Koruma Alanları Ağı kapsamında korunan alanlar olarak yönetilmelidir.
- b-** Kaynak kullanımının yalnızca topluluk katılımıyla mümkün olduğu durumlarda RAMSAR alanları veya biyosfer rezervleri olarak ilan edilmelidir.

c- Bölge ve il konsey planlarında, sulak alanların tüm çeşitliliğini drenaj, bozulma ve ötrofikasyonun etkilerinden korumak için bir temel oluşturan düzenlemeler geliştirilmeli ve Kurallar, sulak alanların tüm kapsamını, boyutunu ve çeşitliliğini kapsayacak şekilde, drenajı düzenleyen uyumsuz kurallar da dahil olmak üzere ulusal düzeyde tutarlı olmalıdır (Myers & ark., 2013: 28)

d- Sulak alanların restorasyonuna devam edilmelidir. Mevcut teknikler üzerine inşa edilmeli ve kanıta dayalı araştırmalara dayalı en iyi sulak alan restorasyon uygulamalarını desteklemek için araştırma boşlukları giderilmelidir (Myers & ark., 2013: 28)

e- Daha fazla drenaj ve hasarı kontrol altına almak için düzenlemeye ihtiyaç vardır ve özel sulak alan koruma ve restorasyonunu teşvik etmek için gönüllü teşvikler, teşvik edilmelidir (Myers & ark., 2013: 28)

f- Bir sulak alandaki tüm değişiklikleri analiz etmek için, sistemin streslere nasıl tepki verdiğini ve gelecekteki iklim değişikliğine nasıl uyum sağlayabileceğini anlamak amacıyla kapsamlı bir izleme sisteminin oluşturulmalıdır (Salimi & ark., 2021: 28)

KAYNAKÇA

- Barnes, T. G. (Ed.). (1992). *Private lands wildlife management: A technical guidance manual and correspondence course*. Kentucky Cooperative Extension Service, University of Kentucky.
- Bassi, N., Kumar, M. D., Sharma, A., & Pardha-Saradhi, P. (2014). Status of wetlands in India: A review of extent, ecosystem benefits, threats and management strategies. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2, 1-19.
- Betts, R. A., Boucher, O., Collins, M., Cox, P. M., Falloon, P. D., Gedney, N., ... & Webb, M. J. (2007). Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. *Nature*, 448(7157), 1037-1041.
- Bhowmik, S. (2022). Ecological and economic importance of wetlands and their vulnerability: A review. *Research Anthology on Ecosystem Conservation and Preserving Biodiversity*, 11-27.
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R. A., Parajka, J., Merz, B., ... & Živković, N. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573(7772), 108-111.

- Börger, T., Campbell, D., White, M. P., Elliott, L. R., Fleming, L. E., Garrett, J. K., ... & Taylor, T. (2021). The value of blue-space recreation and perceived water quality across Europe: A contingent behaviour study. *Science of the Total Environment*, 771, 145597. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145597.
- Burmil, S., Daniel, T. C., & Hetherington, J. D. (1999). Human values and perceptions of water in arid landscapes. *Landscape and Urban planning*, 44(2-3), 99-109. doi:10.1016/S0169-2046(99)00007-9.
- Catley-Carlson, M. (2010). Wetlands and Water, Sanitation and Hygiene (WASH) Understanding the linkages. Wetlands International, pp. 1-97.
- Cimatti, M., Chaplin-Kramer, R., & Di Marco, M. (2023). The role of high-biodiversity regions in preserving Nature's Contributions to People. *Nature Sustainability*, 6(11), 1385-1393.
- Costanza, R., Mitsch, W. J., & Day Jr, J. W. (2006). A new vision for New Orleans and the Mississippi delta: applying ecological economics and ecological engineering. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(9), 465-472. doi:10.1890/1540-9295.
- Costanza, R., Anderson, S. J., Sutton, P., Mulder, K., Mulder, O., Kubiszewski, I., ... & Dee, G. (2021). The global value of coastal wetlands for storm protection. *Global Environmental Change*, 70, 102328. doi:10.1016/j.gloenvcha.2021.102328.
- Coleman, H. M., Kanat, G., & Turkdogan, F. I. A. (2009). Restoration of the golden horn estuary (Haliç). *Water Research*, 43(20), 4989-5003.
- Convention on Biological Diversity (2020). Update of the zero draft of the post-2020 global biodiversity framework. Convention on Biological Diversity, Montreal.
- Corman, J. R., Bertolet, B. L., Casson, N. J., Sebestyen, S. D., Kolka, R. K., & Stanley, E. H. (2018). Nitrogen and phosphorus loads to temperate seepage lakes associated with allochthonous dissolved organic carbon loads. *Geophysical Research Letters*, 45(11), 5481-5490. doi:10.1029/2018GL077219.S.
- Cowardin, L. M. (1979). *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. Fish and Wildlife Service, US Department of the Interior.
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934-941. doi:10.1071/MF14173.

- Drever, C. R., Cook-Patton, S. C., Akhter, F., Badiou, P. H., Chmura, G. L., Davidson, S. J., ... & Kurz, W. A. (2021). Natural climate solutions for Canada. *Science Advances*, 7(23), eabd6034. doi: [10.1126/sciadv.abd6034](https://doi.org/10.1126/sciadv.abd6034)
- Dobbie, M. F. (2013). Public aesthetic preferences to inform sustainable wetland management in Victoria, Australia. *Landscape and Urban Planning*, 120, 178-189. doi:[10.1016/j.landurbplan.2013.08.018](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.08.018).
- Dou, Y., Zhen, L., De Groot, R., Du, B., & Yu, X. (2017). Assessing the importance of cultural ecosystem services in urban areas of Beijing municipality. *Ecosystem Services*, 24, 79-90. doi:[10.1016/j.ecoser.2017.02.011](https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.011).
- EPA (2006). Economic Benefits of Wetlands, EPA843-F-06-004, www.epa.gov/owow/wetlands.
- Effah, D., Zia, A., Awrangjeb, M., Gao, Y., & Sarpong, K. (2025). Advances in machine learning for wetland classification: a comprehensive survey of methods and applications. *Artificial Intelligence Review*, 59(1), 24. doi:[10.1007/s10462-025-11413-5](https://doi.org/10.1007/s10462-025-11413-5)
- Finlayson, C. M., Horwitz, P., & Weinstein, P. (Eds.). (2015). *Wetlands and human health* (Vol. 5). Springer.
- Flanagan, L. B., & Syed, K. H. (2011). Stimulation of both photosynthesis and respiration in response to warmer and drier conditions in a boreal peatland ecosystem. *Global Change Biology*, 17(7), 2271-2287. doi:[10.1111/j.1365-2486.2010.02378.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02378.x).
- Fluet-Chouinard, E., Stocker, B. D., Zhang, Z., Malhotra, A., Melton, J. R., Poulter, B., ... & McIntyre, P. B. (2023). Extensive global wetland loss over the past three centuries. *Nature*, 614(7947), 281-286.
- Flynn, K. (1996). Understanding wetlands and endangered species: definitions and relationships, Extension Publication ANR-979. *Alabama Cooperative Extension System, Florence*.
- Ghermandi, A., Van den Bergh, J. C., Brander, L. M., De Groot, H. L., & Nunes, P. A. (2008). The economic value of wetland conservation and creation: A meta-analysis. *FEEM Working Paper No. 79.2008*.
- Goudie, A. S., 2004, *Encyclopedia of Geomorphology*, vol. 1. Routledge, New York. ISBN 0-415-32737-7
- Gopal, B. (2015). What are Wetlands? Wetland Conservation for Biodiversity and Ecosystem Services Needs a Shift in Land and Water Resources

- Policies National Institute of Ecology, Metro Apartments, Jahangirpuri, Delhi 110033.
- Gopal B. (2009). Wetlands and Biodiversity Pages 65-95, In: Maltby, E and Barker, T (Editors) *The Wetlands Handbook* Blackwell Science, Oxford, UK.
- Gopal, B. & Junk, W.J. (2000) Biodiversity in wetlands: An introduction pages 1-10, In: Gopal B, Junk WJ, Davis JA (eds) *Biodiversity in Wetlands: Assessment, Function and Conservation Vol 1* Backhuys Publishers, Leiden.
- Gopal, B. & Junk, W.J. (2001). Assessment, determinants, function and conservation of biodiversity in wetlands: Present status and future needs Pages 277-302, In: Gopal B, Junk WJ, Davis JA (eds) *Biodiversity in Wetlands: Assessment, Function and Conservation Vol 2* Backhuys Publishers, Leiden.
- Hammer, D. A. (1989). In *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*; Hammer, D. A.; Ed.; Lewis Publishers: Chelsea, MI, USA, pp 5-19.
- Harmsworth, G., & Awatere, S. (2013). Māori values for freshwater planning. *Presented at the Freshwater Symposium: Tools for Implementing the Freshwater Reforms*, Ministry of Business Innovation and Employment and VMO Regional council forum, Wellington.
- Harmsworth, G., Awatere, S., & Robb, M. (2016). Indigenous Māori values and perspectives to inform freshwater management in Aotearoa-New Zealand. *Ecology and Society*, 21(4).
- Huang, L., Gao, X., Guo, J., Ma, X., & Liu, M. (2013). A review on the mechanism and affecting factors of nitrous oxide emission in constructed wetlands. *Environmental earth Sciences* 68, 2171–2180. doi:10.1007/s12665-012-1900-z.
- IPCC (2007). Climate Change 2007 Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Johnston, C. A. (1991). Sediment and nutrient retention by freshwater wetlands: effects on surface water quality. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 21(5-6), 491-565. doi:10.1080/10643389109388425.
- Karakoç, D. Y. (2017). Türkiye'de sulak alanlar. 5. Çevre Günleri Uluslararası Sempozyumu-İnsanların Doğayla Kenetlenmesi, Kentte ve Doğal Alanda, Kutuplardan Ekvatora, Ankara, Türkiye, (s 100).

- Kennish, M.J., & Paerl, H.W. (2010). Coastal Lagoons Critical Habitats of Environmental Change. Pp 1-16 in Coastal lagoons: critical habitats of environmental change. M. J. Kennish and H. W. Paerl (eds.). USA: Marine Science Series, CRC Press.
- Kjerfve, B. (1986). Comparative oceanography of coastal lagoons. In *Estuarine variability* (pp. 63-81). Academic Press.
- Kjerfve, B. (1994). Coastal Lagoons. Pp 1-8 in Coastal Lagoon Processes. B. Kjerfve (ed.). Elsevier Oceanography Series, 60.
- Kovács, J. (2013). "Flood Deposits". Encyclopedia of Natural Hazards. Encyclopedia of Earth Sciences Series. p. 325. doi:10.1007/978-1-4020-4399-4_137. ISBN 978-90-481-8699-0.
- Kwei, E.K. (2005). Fishes in the Coastal Waters of Ghana. Ghana, Ronna Publishers, Tema, p 108
- Lamsal PK (2015) Sustainable livelihoods th.
- Lachance, D., Fortin, G., & Dufour Tremblay, G. (2021). Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional–version décembre 2021, 119p.
- Laiho, R. (2006). Decomposition in peatlands: Reconciling seemingly contrasting results on the impacts of lowered water levels. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8), 2011-2024. doi:10.1016/j.soilbio.2006.02.01.
- Luo, Y., Wang, X., Piao, S., Sun, L., Ciais, P., Zhang, Y., ... & He, C. (2018). Contrasting streamflow regimes induced by melting glaciers across the Tien Shan–Pamir–North Karakoram. *Scientific Reports*, 8(1), 16470. doi:10.1038/s41598-018-34829-2.
- Luttik, J. (2000). The value of trees. Water and open space as reflected by house prices in the Netherlands. *Landscape and Urban Planning*, 48(3–4), 161–167. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106286.
- Magnan, G., Garneau, M., Perrier, L., Beaulne, J., Sanderson, N.K., Primeau, G. (2024). Field guide for estimating carbon stocks in wetlands. *Bibliothèque et Archives Nationales du Québec (BANQ)*, 1-24.
- Martínez Pastur, G., Peri, P. L., Lencinas, M. V., García-Llorente, M., & Martín-López, B. (2016). Spatial patterns of cultural ecosystem services provision in Southern Patagonia. *Landscape Ecology*, 31(2), 383-399. doi:10.1007/s10980-015-0254-9.
- Maseke, F. O., Raburu, P. O., & Kweni, F. (2012). Threats to the Nyando Wetland. Community Based Approach to the Management of Nyando Wetland, Lake Victoria Basin, Kenya, 68.

- Myers, S. C., Clarkson, B. R., Reeves, P. N., & Clarkson, B. D. (2013). Wetland management in New Zealand: Are current approaches and policies sustaining wetland ecosystems in agricultural landscapes?. *Ecological Engineering*, 56, 107-120. doi:10.1016/j.ecoleng.2012.12.097Get rights and content
- Miththapala, S. (2013). Lagoons and estuaries. Coastal Ecosystem Series (Vol. 4). IUCN.
- Nayak, A., & Bhushan, B. (2022). Wetland ecosystems and their relevance to the environment: importance of wetlands. In Handbook of research on monitoring and evaluating the ecological health of wetlands (pp. 1-16). IGI Global Scientific Publishing.
- National Research Council, Division on Earth, Commission on Geosciences, & Committee on Characterization of Wetlands. (1995). *Wetlands: Characteristics and Boundaries*. National Academies Press.
- Nichols, D. S. (1983). Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 495-505.
- Nichols, M. M., & Boon, J. D. (1994). Sediment transport processes in coastal lagoons. In *Elsevier Oceanography Series* (Vol. 60, pp. 157-219). Elsevier.
- Nordbeck, R., & Hogl, K. (2024). National peatland strategies in Europe: current status, key themes, and challenges. *Regional Environmental Change*, 24(1), 5.
- Niering, W. A. (1988). Endangered, threatened and rare wetland plants and animals of the continental United States. In *The Ecology and Management of Wetlands: Volume 1: Ecology of Wetlands* (pp. 227-238). New York, NY: Springer US.
- OSIB, “Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği Revizyonu ile Doğa Korumada Çığır Açtık!...”, <http://www.dkmp.gov.tr/AnaSayfa/sulakalanyonreviz1.aspx?sflang=tr>,
- O’Connell, M., Jennings, E., & Molloy, K. (2021). Holocene vegetation dynamics, landscape change and human impact in western Ireland as revealed by multidisciplinary, palaeoecological investigations of peat deposits and bog-pine in lowland Connemara. *Geographies*, 1(3), 251-291.12.09.2025. doi:10.3390/geographies1030015.
- Padmanabhan, G., & Bengtson, M. L. (2001). Assessing the influence of wetlands on flooding. In: *Wetlands Engineering & River Restoration 2001*, pp. 1-12.

- Rahman, M. M., Jiang, Y., & Irvine, K. (2018). Assessing wetland services for improved development decision-making: a case study of mangroves in coastal Bangladesh. *Wetlands Ecology and Management*, 26(4), 563-580. doi:10.1007/s11273-018-9592-0.
- Ramsar Convention (2022). Review of the fourth Strategic Plan of the Convention on Wetlands, additions for the period COP14-COP15 and framework for the fifth Strategic Plan. Ramsar Convention on Wetlands: Gland, Switzerland.
- Pittock J, Finlayson M, Arthington AH, Roux D, Matthews JH, Biggs H, Harrison I, Blom E, Flitcroft R, Froend R, Hermoso V, Junk W, Kumar R, Linke S, Nel J, Nunes da Cunha C, Pattnaik A, Pollard S, Rast W, Thieme M, Turak E, Turpie J, van Niekerk L, Willems D, Viers J (2015) 'Managing freshwater, river, wetland and estuarine protected areas, in Worboys GL, Lockwood M, Kothari A, Feary S, Pulsford I (eds) Protected Area Governance and Management, pp. 569–608, ANU Press, Canberra.
- Prasad, H., Temkar, G. S., & Desai, A. Y. (2013). Wetland ecosystem: Their importance to biodiversity, services and conservation. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 6(1), 15-18.
- Richardson, C. J. (1988). Freshwater wetlands: transformers, filters, or sinks?.in Freshwater Wetlands and Wildlife, Sharitz, R. R. and Gibbons, J. W., Eds., U.S. Department of Energy, Oak Ridge, TN, 25.
- Salimi, S., Almuktar, S. A., & Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management*, 286, 112160. doi:10.1016/j.jenvman.2021.112160.
- Simpson, R. H., & Riehl, H. (1981). The hurricane and its impact. Louisiana State University Press, 10: 0807106887.
- Smith, R. D., Ammann, A., Bartoldus, C., & Brinson, M. M. (1995). An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands, and functional indices (No. WESTRWRPDE9).
- Stets, E. G., & Cotner, J. B. (2008). The influence of dissolved organic carbon on bacterial phosphorus uptake and bacteria-phytoplankton dynamics in two Minnesota lakes. *Limnology and Oceanography*, 53(1), 137-147. doi:10.4319/lo.2008.53.1.0137.
- Stewart, R.I.A., Dossena, M., Bohan, D.A., Jeppesen, E., Kordas, R.L., Ledger, M.E., Meerhoff, M., Moss, B., Mulder, C., Shurian, J.B., Suttle, B.,

- Thompson, R., Trimmer, M., & Woodward, G. (2013). Mesocosm experiments as a tool for ecological climate-change research. In: *Advances in Ecological Research*, vol. 48. Academic Press, pp. 71–181. doi:10.1016/B978-0-12-417199-2.00002-1.
- Strassburg, B. B., Iribarrem, A., Beyer, H. L., Cordeiro, C. L., Crouzeilles, R., Jakovac, C. C., ... & Visconti, P. (2020). Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, 586(7831), 724–729.
- Strecker, E. W., Quigley, M. M., Urbonas, B. R., Jones, J. E., & Clary, J. K. (2001). Determining urban storm water BMP effectiveness. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(3), 144–149. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(2001)127:3(144).
- Sundaravadivel, M., & Vigneswaran, S. (2001). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31(4), 351–409. doi:10.1080/20016491089253.
- Taillardat, P., Thompson, B. S., Garneau, M., Trottier, K., & Friess, D. A. (2020). Climate change mitigation potential of wetlands and the cost-effectiveness of their restoration. *Interface Focus*, 10(5), 20190129. doi:10.1098/rsfs.2019.0129.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı-Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü (2007). Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Stratejisi ve Eylem Planı. <http://www.nuhungemisi.gov.tr/Content/Documents/ubsepturkce.pdf>.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı-Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü (2025). Sulak Alanlar. <https://www.tarimorman.gov.tr/DKMP/Menu/31/Sulak-Alanlar>.
- Turcios, A. E., Miglio, R., Vela, R., Sánchez, G., Bergier, T., Włodyka-Bergier, A., ... & Papenbrock, J. (2021). From natural habitats to successful application-Role of halophytes in the treatment of saline wastewater in constructed wetlands with a focus on Latin America. *Environmental and Experimental Botany*, 190, 104583. doi:10.1016/j.envexpbot.2021.104583.
- Völker, S., & Kistemann, T. (2011). The impact of blue space on human health and well-being – Salutogenetic health effects of inland surface waters: A review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(6), pp. 449–460. doi:10.1016/j.ijheh.2011.05.001.
- Völker, S., & Kistemann, T. (2013). Reprint of: “I’m always entirely happy when I’m here!” Urban blue enhancing human health and well-being in Cologne

- and Düsseldorf, Germany. *Social Science & Medicine*, 91, 141-152. doi:10.1016/j.socscimed.2012.09.047.
- Waelti, J. J. (1970). Reservoir-Based Recreation and Local Government Finance. *Growth & Change*, 1(2).
- Waylen, K. A., van de Noort, R., & Blackstock, K. L. (2016). Peatlands and cultural ecosystem services. *Peatland Restoration and Ecosystem Services. Science, Policy and Practice*, 114.
- Weis, J. S., & Duffy, J. E. (2008). Estuary. In: Encyclopedia of Earth. Cutler J. Cleveland (ed.) (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). <<http://www.eoearth.org/article/Estuary>>. Accessed Sep 2025.
- Wood, K.A., Jupe, L.J., Aguiar, F.C., Collins, A.M., Davidson, S.J., Freeman, W., Kirkpatrick, L., Lobato-de Magalhães, T., McKinley, E., Nuno, A., Pagès, J.F., Petruzella, A., Pritchard, D., Reeves, J.P., Thomaz, S.M., Thornton, S.A., Yamashita, H., and Newth, J.L. (2024). The benefits of blue spaces: A global systematic review of cultural ecosystem services provided by wetlands. *Ecosystem Services*, 70 (13), 70, 101673. doi:10.1016/j.ecoser.2024.101673.
- WWF (2020). 2020 Faaliyet Raporu. WWF. Erişim tarihi 2022, <https://www.wwf.org.tr:443/?10880/2020-FaaliyetRaporu101673>.
- Yi, Q., Huixin, G., Yaomin, Z., Jinlian, S., Xingyu, Z., Huize, Y., ... & Xiankai, H. (2024). Global conservation priorities for wetlands and setting post-2025 targets. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 4.
- Xi, Y., Peng, S., Ciais, P., & Chen, Y. (2021). Future impacts of climate change on inland Ramsar wetlands. *Nature Climate Change*, 11(1), 45-51. doi:10.1038/s41558-020-00942-2.
- Zhang, C., Wen, L., Wang, Y., Liu, C., Zhou, Y., & Lei, G. (2020). Can constructed wetlands be wildlife refuges? A review of their potential biodiversity conservation value. *Sustainability*, 12(4), 1442. doi:10.3390/su12041442.
- Zhou, L., Guan, D., Huang, X., Yuan, X., & Zhang, M. (2020). Evaluation of the cultural ecosystem services of wetland park. *Ecological Indicators*, 114, 106286. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106286.

BÖLÜM 7

MİDYE (*Mytilus galloprovincialis*) ve BESLENMEDEKİ ÖNEMİ

Nedret İrem ÖZKAYA¹
Serhat ÇOLAKOĞLU²

Giriş

Ülkemiz konumu itibari ile doğal su kaynakları ve bu kaynaklardan elde edilen ürünler açısından oldukça zengindir. Bunların arasında avcılık ve yetiştiricilik ile elde edilen su ürünlerinin bolluğu dikkati çekmektedir. Su ürünlerinin besin kalitesinin sürdürülebilir olması için farklı yöntemler uygulanarak tüketime sunulmaktadır. Günümüzde gelişmiş toplumlarda, beslenme bilinci geliştiğinden, bireyler beslenme rejimlerine sağlıklı gıdaları dâhil etmeye çalışmaktadırlar. Uzmanların tavsiye ettiği bu gıdalar arasında balık ve diğer su ürünleri özellikle de midye ilk

¹ Öğrenci, Çanakkale Osekiz Mart Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Çanakkale/Türkiye. Orcid: 0009-0009-1303-9709

² Prof. Dr., Çanakkale Osekiz Mart Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Çanakkale/Türkiye. Orcid: 0000-0003-3526-6477

sıralarda yer almaktadır (Çolakoğlu & ark., 2003:89; Güngörür & Mol, 2019:127).

Kara Midye (*Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) ve Ekonomik Önemi

Mytilus galloprovincialis, ülkemizde kara midye olarak bilinen denizlerin kıyısal alanlarında sert zeminlere kendini sabitleyerek yaşayan bentik canlılardır. *Mollusca* filumunun *Bivalvia* sınıfına ait olan midyeler, çift kabuklu yumuşakçalar sınıfının en önemli temsilcisi ve özellikle ülkemizde ekonomik öneme sahip olan türüdür (Çolakoğlu & ark., 2019:573). Midyeler suyu süzerek beslenen canlılardır, boyutlarına göre saatte yaklaşık 30-50 litre suyu filtre edebilirler. Bu beslenme şekli nedeniyle, su içerisinde bulunan planktonların yanı sıra zararlı bileşenleri de bünyelerine alabilmekte, dolayısıyla insan beslenmesinde risk teşkil edebilmektedirler (Çolakoğlu & ark., 2020:243; Yıldırım & ark., 2022:234). Bu sebeple, midyelerin kontrollü sulardan üretilmesi ve hasat edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, doğal midye üretim alanlarında ve çiftliklerde kirlilik düzeylerini tespit etmek amacıyla sağlık sorvey çalışmaları yapılmakta, bununla birlikte Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından su kalitesi ve ürünlerin uygunluğuna (mikrobiyolojik, biyotoksin ve ağır metal bulaşanları ile toksik alg) yönelik izleme çalışmaları da periyodik olarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalar, Türkiye’de halen 15 adet kara midye üretim alanında devam etmektedir (Anonim, 2025).

Dünyada midye üretimi son 70 yılda önemli ölçüde artmış, 1950’de 166.975 ton iken 2022’de yaklaşık 2 milyon tona ulaşmış ve bu üretimin 431.006 tonu (%22,38) Avrupa’dan sağlanmıştır (FAO, 2024). Su ürünleri yetiştiriciliği özellikle 1990’lı yıllarda önemli bir artış göstermiş, bu artışla birlikte midye yetiştiriciliği de ivme kazanmıştır. Dünyada midye yetiştiriciliğinden sağlanan üretim, 1990 yılında 1 milyon ton civarından, 2020 yılında hemen hemen iki

katına yükselmiştir. Bu üretimden sağlanan kazanç ise yaklaşık 3,5 milyar dolar değerinde olup, bu dönemde yıllık ortalama %1,2 büyüme oranına ulaşmıştır. Midye yetiştiriciliği, 2005-2010 yılları arasında toplam ortalama hasadın dünya üretiminin %65'ini oluşturmuş ve üretim Çin, İspanya, Şili ve Tayland'da yoğunlaşmıştır (Çolakoğlu & Arık Çolakoğlu, 2013:78).

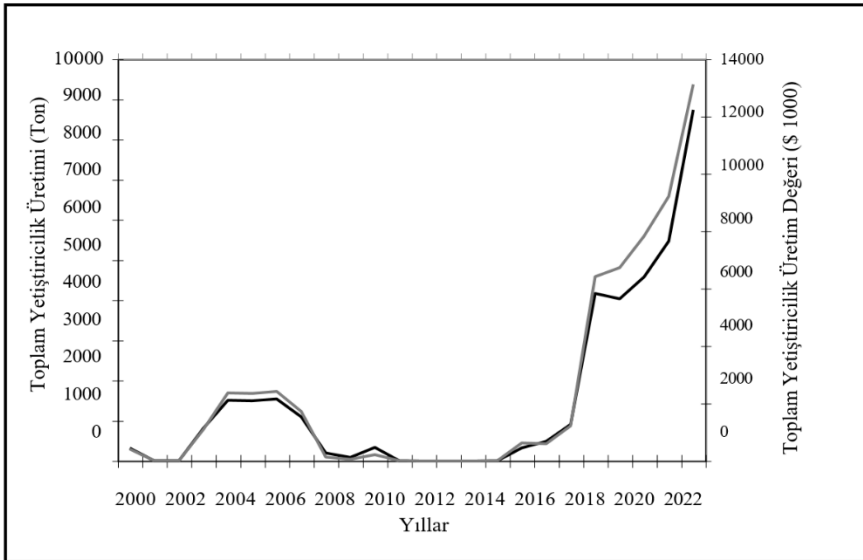
Dünyadaki çift kabuklu yumuşakça üretimi, su ürünleri üretim oranının %10'nuna karşılık gelmektedir (WHO, 2010). Piyasaya sunulan yumuşakçaların %49,5'i dondurulmuş, %38,9'u canlı, %11,6'sı ise konserve olarak işlenmiş ürünler şeklindedir. Çift kabuklu yumuşakçaların canlı olarak ticaretinde dünyadaki en önemli ülke Amerika Birleşik Devletleri'dir. İhracat yapan ülkeler arasında Amerika'yı Kanada, Hollanda ve Çin takip etmekte ithalat yapan ülkeler arasında ise başlıca Fransa, Belçika ve İspanya yer almaktadır (FAO, 2012). Bu ürünlerin ticareti türler bazında incelendiğinde, kara midye ticaretinin başı çektiği görülmektedir. Midye ihracatının en dikkate değer ihracat ülkesi olarak da, Hollanda dikkati çekmektedir (%26,5). Bunu, Yeni Zelanda (%23), İspanya (%11), Danimarka (%7) ve İrlanda (%5) takip etmektedir. Kara midye tüketiminin ve dolayısıyla ithalatının en fazla olduğu ülkenin ise, Belçika (%19) ve sırasıyla Fransa (%16), ABD (%12), İtalya (%9) ve İspanya (%7) olduğu bildirilmektedir (Çolakoğlu & Arık Çolakoğlu, 2013:78).

Ülkemizdeki kara midye üretiminin de dünya üretimine paralel olarak, geçmiş yıllarda neredeyse tamamının avcılık yolu ile yapıldığı, özellikle son on yılda kara midye yetiştiriciliğinin büyük bir artış göstermesi ile kültür üretimlerinin ivme kazandığı görülmektedir (TÜİK, 2025).

Şekil 1'de ülkemizde yıllara göre kara midye yetiştiriciliğinden elde edilen miktar ve üretim değerleri verilmiştir. Bu dönemlerde kara midye yetiştiriciliğinin artmasıyla, üretimden yaklaşık 14 milyon dolar gelir elde edilmiştir.

Ülkemizde 2024 yılı itibarıyla toplam su ürünleri üretiminin %3,17'si çift kabuklu üretiminden oluşmuştur (TÜİK, 2025). Bu miktarın neredeyse tamamı iki türe aittir; ilki %56,50 oranında kum midyesi (*Chamelea gallina*), ikincisi ise %43,50 oranında kara midye (*Mytilus galloprovincialis*) üretimidir. Ülkemizin çift kabuklu ticaretinde; ihracat, Avrupa Birliği ülkelerinden özellikle İspanya, Yunanistan ve İtalya'ya gerçekleştirilmekte olup ürünler daha çok işlenmiş olarak gönderilmektedir. 2023 yılında toplam çift kabuklu yumuşakça ihracat miktarı 4291 ton civarında gerçekleşmiş, değeri ise 12 milyon \$ civarında olmuştur. Aynı yıl içerisinde ithalat miktarları ise 1306 ton olarak kayıtlara geçmiş ve yaklaşık 5 milyon \$ harcama yapılmıştır. (FAO, 2024).

Şekil 1. Ülkemizde yıllara göre toplam kara midye üretimi ve değerleri (TÜİK, 2025).



Tüketimi Hakkında Genel Bilgiler

Ülkemizin doğal su kaynakları ve bu kaynaklardan elde edilen ürünler incelendiğinde, avcılık ve yetiştiricilik ile elde edilen su ürünlerinin bolluğu dikkati çekmektedir (TÜİK, 2025). Ancak kolay bozulabilen bu ürünler ya mevsiminde taze ya da farklı teknikler uygulanarak (pişirme, dondurma vb.) işlenmek durumundadır. Ülkemizin doğal su ürünleri potansiyelinin farklı yöntemler uygulanarak tüketime sunulması besin kalitesinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle de gelişmiş ülkelerde, insanlar diyetlerinde sağlıklı ve faydalı gıdaları seçmeye çalışmaktadırlar. Sağlıklı olarak nitelenen gıdalar arasında ilk sırada, kaliteli protein ve yağ içeriğine sahip olan balık ve midye gibi su ürünlerinin gösterilmesi değerlidir (Çolakoğlu & ark., 2003:89; Güngörür & Mol, 2019:127).

Midye, dünya genelinde çok çeşitli şekillerde hazırlanarak tüketilmekte, ülkemizde ise daha çok midye tava ve midye dolma olarak rağbet görmektedir (Çolakoğlu & ark., 2003:89; Tatlısu, 2002). Midye dolma, kabukları temizlendikten sonra açılan midyelerin içerisine; pirinç, zeytinyağı, kuru soğan, kuru üzüm, fıstık ve baharatlarla önceden hazırlanmış iç pilav malzemesinin yerleştirilerek kabukların kapatılması ve sonrasında pişirilmesi ile üretilen bir gıda maddesidir (Varlık & ark., 2004). Ülkemizde üretim şekli ve içeriği nerdeyse tek tip olan midye dolma, geçmiş yıllarda kıyı bölgelerimizde merdiven altı tabir edilen yerlerde sokak satıcıları tarafından satışa sunulmakta iken son yıllarda talebin artması nedeni ile artık Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan gıda üretim iznli tesis ve satış yerlerinde tüketici ile buluşmaktadır (Çolakoğlu & ark., 2022:173). Bununla birlikte salamura, marinat, jöleli, tutsülenmiş, konserve edilmiş olarak işlenmiş ürün formunda, tüketime sunulabilmektedir (Çolakoğlu & ark., 2003:89; Tatlısu, 2002).

Çift kabuklu yumuşakçalar; canlı, dondurulmuş, tütülenmiş, salamura ve konserve ürünler gibi farklı şekillerdeki ileri işleme süreçleri dâhil olmak üzere çeşitli tür ve ebatlarda piyasada satışa sunulmaktadır (Varlık & ark., 2004). Çift kabukluların işlenmesi, nispeten daha az mekanizasyon ancak yoğun iş gücü gerektiren bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ürünlerin işlenmesi, hammaddeyi daha arzu edilir bir forma dönüştürerek ürünü ve kaliteyi korumak, farklı tat ve lezzetler oluşturmak, raf ömrünü korumak ve en önemlisi de gıda güvenliği sağlamak amacıyla yapılmaktadır (Hacney, 1990:303). Ülkemizde yoğun olarak, çift kabuklu yumuşakçalardan; *Chamelea gallina*, *Tapes philippinarum* ve *Donax trucus*'un avcılığı, kara midyenin (*Mytilus galloprovincialis*) ise yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bu ürünlerden akivades ve kum şırlanının, pastörizasyon sonrasında -40°C'de şoklanarak farklı gramajlarda dondurulmuş olarak satışı gerçekleştirilmektedir (Varlık & ark., 2004:). Kum midyesi, dondurulmuş veya konserve şekilde işlenmekte olup, belirli gramajlarda blok veya IQF dondurularak ya da konserve halinde tüketime sunulmaktadır (Arık Çolakoğlu & Çolakoğlu, 2014:87). Kara midye ise, daha çok midye dolma şeklinde üretilerek iç piyasada satışa sunulmaktadır (Çolakoğlu & ark., 2003:89; Tatlısu, 2002). Midyelerin bu işleme yada pişirme yöntemlerinin besin değerlerinin değişiminde önemli bir etken olduğu bilinmektedir (Çolakoğlu, 2004:247).

Kara Midyenin Besin İçerikleri ve Sağlık Açısından Önemi

Midye eti, yapısında bulunan kaliteli protein, karbonhidrat ve vitamin içeriği ile beslenmede büyük önem taşımaktadır. Midye etinin besin bileşenleri ortalama nem içeriği %77–79, yağ %1,1-2,5, protein %8,6-12,6, kül %1,7 şeklinde bildirilmektedir (Gülyavuz & Ünlüsayın, 1999:366). Bunların yanı sıra ideal bir sodyum (243 mg), selenyum (76 mcg), çinko (2,3 mg) ve iyot içeriği ile, mineraller açısından da beslenmede önemli katkılar sunmaktadır (FAO, 2018).

Değerli bir su ürünü olan midye; tüm dünyada lezzeti, sunumu, afrodisyak özelliği nedeniyle tercih edilmekte (Amiard & ark., 2008:2022), az gelişmiş ülkelerde ise protein kaynağı olarak talep görmektedir. Midye, kaliteli ve biyolojik değeri yüksek proteine sahip olduğundan, önemli bir besin kaynağıdır. Diğer taraftan, diğer deniz ürünlerinde olduğu gibi, yapısındaki çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) yönünden zengin içeriğe sahip olduğundan oldukça değerlidir (Çolakoğlu & ark., 2003:89; Güngörür & Mol, 2019:127). İçerdiği düşük yağ oranı nedeniyle kalp krizi riskini azalttığı; kaliteli protein içeriği sayesinde kişinin enerji metabolizma düzeyini iyileştirdiği bildirilmiştir. (Badayman & Kasapoğlu, 2023:187). Araştırmacılar midye etinde yüksek kaliteli protein (100 g çiğ midye etinde 107 aminoasit puanı), esansiyel aminoasitler, biyoaktif lipitler, vitaminler ve temel minerallerin bol bulunması, bağışıklık sistemini güçlendirmek için değerli bir fonksiyonel gıda haline geldiğini ve mükemmel bir diyet besin özelliği gösterdiğini belirtmişlerdir (Perez-Cano, 2022:273; Mozaffarian & Wu, 2011:2067). Midye eti proteinlerinin önemli farmakolojik aktiviteler sergileyerek, enzimatik hidroliz yoluyla elde edilen midye kaynaklı biyoaktif peptitler, antihipertansif, antioksidan, immün düzenleyici, antitrombotik, mineral bağlayıcı ve antikanser özellikler gibi çeşitli sağlık yararlarını gösterdiği bildirilmiştir (Koodathil & ark., 2025:11).

Besin değeri yüksek, sevilerek tüketilen ve önemli bir ticari değeri olan midye üzerine dünyada ve ülkemizde birçok araştırma gerçekleştirilmiştir (Çolakoğlu & Çolakoğlu, 2013:78). Bu araştırmalarda daha çok besin ve kalite özellikleri, depolama ve raf ömrü çalışılmış olup, nadiren ise farklı pişirme tekniklerinin besin kalitesi üzerine değişimler, aminoasit kompozisyonu, yağ asidi kompozisyonu ve vitamin içerikleri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

1. Besin Kompozisyonu

Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yayınlanan ulusal gıda kompozisyon veri tabanında (2025) 100 g kara midye (*M. galloprovincialis*) etinde ortalama su %77,85, protein %13,09, kül %1,93, yağ %1,53 ve enerji 277 kJ olarak belirlenmiş, karbonhidrat ise hiç tespit edilmemiştir. Bu kapsamda, midyeler bünyelerinde çok düşük oranlarda karbonhidrat içermektedirler.

Slabyj & Carpenter (1977:1155), buharda pişirilmiş midye (*Mytilus edulis*) etinin %74,6 nem, %2,73 protein, %0,62 yağ, %0,24 kül, %0,32 karbonhidrat içerdiğini, konserve edilmiş midye etinin ise %75,7 nem, %2,90 protein, %0,72 yağ, %0,27 kül ve %0,20 karbonhidrat içerdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca midyelerin buharda pişirilmesi, etlerindeki kuru ağırlığının önemli bir oranda artmasına, ancak karbonhidrat ve kül içeriğinin ise azalmasına sebep olduğunu; dondurma veya konserveleme işleminde ise kül oranının artmasına, kuru ağırlık ve karbonhidrat içeriğinin azalmasına sebep olduğu belirtilmiştir.

Muller & Tobin (1980:198) kara midyede (*Mytilus sp.*) yaptıkları çalışmada, %80 su, %10 protein, %1,5 yağ, %3 karbonhidrat, %2 kül ve 275 kJ'lik enerjiye sahip olduklarını bildirmişlerdir.

Souci & ark. (1981:592), kara midyede (*Mytilus edulis*) %83,2 nem, %9,84 protein, %1,34 yağ, %3,92 karbonhidrat ve %1,7 mineral madde içeriğine, Karakoltsidis & ark. (1995:273), %8 proteine, %2 yağ, %87 nem, %0,7 kül ve %2 civarında karbonhidrat içeriğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Babushkina & Babenko (1986:71), farklı boyutlardaki midyelerin besin olarak kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada %31,1 et, %40,6 kabuk ve %28,3 kabuk içi sıvısına sahip olduğu %12 civarında protein içeriği ile karakterize edildiğini, konserve midyelerin et emülsiyonunda tespit edilen yüksek protein, yağ ve

sakkarid içeriğinin gıdanın besinsel değerini artırdığını bildirmişlerdir.

Dondurulmuş midye ile yapılan bir çalışmada, kuru madde miktarının %20,89-22,54, protein %14,13-15,73, kül %1,29-1,70, yağ %2,4-2,9 ve tuz içeriğinin %0,62-0,92 aralığında olduğu belirlenmiştir (Erüstün & Şentürk, 1986:14). Şentürk (1994:37) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, dondurulmuş midyenin kuru madde miktarı %22,80, nem %77,20, protein %15,80, kül %1,90, yağ %2,20 ve tuz içeriği ise %1,70 oranında tespit edilmiştir.

Frolov & Pankov (1995:453) *M. galloprovincialis* türü midyelerin biyokimyasal kompozisyonu, su sıcaklığındaki (10-25°C) artışa bağlı olarak kül ve karbonhidrat içeriğinin azaldığını, fakat su sıcaklığının artmasıyla lipid ve protein oranının arttığını da belirtmişlerdir.

Karayücel & ark. (2003:1396) Sinop bölgesinde Akdeniz midyesi (*M. galloprovincialis*) üzerine yaptıkları çalışmada; ham protein %10,24, ham yağ %1,49, su %82,99 ve kül %1,14 olarak belirlemişlerdir.

Şengör & ark. (2008:5), Çanakkale Boğazı'ndan toplanan midyelerde geleneksel tütsüleme ve konserve teknikleri uygulanmış sırasıyla; ham protein %17,3-20,4, ham yağ %4,0-4,9, kül %1,8-2,4 ve nem %69,4-73,0 olarak belirlemişlerdir. Tütsüleme ve konserveleme işlemlerinin besin değeri yüksek bir gıda ortaya çıkardığını ve aminoasit bileşimini olumsuz yönde etkilemediğini tespit etmişlerdir.

Fluentes & ark. (2009:302) İspanya'nın farklı bölgelerinden topladıkları midyelerde (*Mytilus galloprovincialis*) kuru madde miktarını %16-21 ve yağ oranını ise %1,40-2,10 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Salaskar & Nayak (2011:11), Kali Hiliç'deki midyelerin (*Crassostrea madrasensis*, *Perna viridis*) besin kompozisyonu içeriği mevsimlere bağlı olarak değiştiğini, protein içeriği %57,39-66,51, karbonhidrat %14,69- 26,81, yağ %8,09-12,62 ve kül %6,18-9,02 arasında olduğu belirlenmiştir.

Çin'in farklı bölgelerinden toplanan midyelerde (*Mytilus edulis*), ham protein %42,23-45,62, ham yağ içeriği %2,33-2,68, ham kül %1,08-1,67 değiştiği belirlenmiştir. Araştırmada toplam karbonhidrat içeriği ise %1,23-1,31 arasında hesaplanmıştır (Chi & ark., 2012).

Idayachandiran & ark. (2014:19) midyenin (*Donax cuneatus*) protein içeriği dokuda daha yüksek (%23,93) bulunduğunu, ardından karbonhidratın (%8,3) ve lipidin (%1,24) geldiğini saptanmışlardır.

Lopez & ark. (2022:728), İtalya'daki Akdeniz midyelerinde (*Mytilus galloprovincialis*) yüksek protein ve düşük yağ içeriği ile bilinmekte olup, midye etinin karbonhidrat ve yağ içeriği mevsimlere göre önemli değişiklikler gösterdiği bildirilmiştir. Lipit kalitesi olarak en verimli dönemin midyelerin, enerji birikimlerini karbonhidrat ve yağ şeklinde depoladığı ve deniz suyunun fitoplankton yönünden zengin olduğu ilkbahar mevsimine denk geldiğini ifade etmişlerdir.

Grkovic & ark. (2023:326), Güney Adriyatik Denizi'ndeki Boka Kotorska Körfezi'ndeki çiftliklerden elde edilen midyelerin (*Mytilus galloprovincialis*) besin bileşenlerinin mevsimsel olarak değiştiğini, toplam yağ %0,72-2,12, kül %2,56-3,59 ve protein oranının %8,42-10,76 aralığında olduğunu bildirmişlerdir.

Bulgaristan'ın Karadeniz kıyılarındaki çiftliklerden alınan midye (*Mytilus galloprovincialis*) örnekleri ile yapılan bir çalışmada, protein miktarı yüksek, yağ ve karbonhidrat düşük olduğu belirlenmiştir. Tüm midyelerde bulunan kolesterol miktarı önemli ölçüde düşük olduğu, Omega-3 (n-3) ise Omega-6'dan

önemli ölçüde yüksek bulunduğu tespit edilmiştir. EFSA'ya (2014) göre, 100 g'da gerekli eikosapentaenoik asit (EPA; 20:5) ve dokosaheksaenoik asit (DHA; 22:6) n-3 PUFA miktarının 0,5 g daha fazlasını sağladığı görülmüştür. Karadeniz'de incelenen midyelerin insan sağlığı için yararlı bir gıda olduğu sonucuna varılmıştır (Merdzhanova & ark., 2016:7).

Mititelu & ark. (2022:964), Karadeniz'de en yaygın çift kabuklulardan olan *Mytilus galloprovincialis*'in besin içeriği mevsimlere bağlı olarak değiştiğini, toplam protein %42,84-58,51, toplam karbonhidrat %12,22-32,81 ve toplam yağ %9,22-17,23 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca midye etinin bileşimindeki değerli proteinlerden yararlanmak için, esansiyel aminoasit ve lipitler açısından zengin ve protein içeriğinin en yüksek olduğu ilkbaharda veya kış aylarında (%49,52) hasat edilenlerin tüketilmesi önerilmiştir.

2. Aminoasit İçeriği

Proteinler, hücrelerin yapı taşları olarak görev yapan ve aminoasitlerin bir araya gelmesi ile oluşan büyük moleküllerdir. Vücutta özellikle enzimler ve hormonların oluşumunda rol oynarlar. Proteinleri oluşturan aminoasitler iki çeşittir. Bu aminoasitlerin bir kısmı vücut tarafından sentezlenebilirken, bir kısmının da dışarıdan alınması gerekmektedir. Esansiyel aminoasitler adı verilen dışardan alınması zorunlu olan bu aminoasitler için en iyi kaynaklar, kaliteli protein içeren deniz ürünleri ve midye etidir (Murray & ark., 2007:162). Midye eti, yapısında esansiyel aminoasitleri bulundurmasının yanında bu proteinlerin vücutta emiliminin %97-98 aralığında olması, kaliteli bir protein yapısına sahip olduğunun kanıtıdır. Dolayısıyla bu durum midye etini, insan sağlığı için hayati önem taşıyan sürdürülebilir ve birinci sınıf beslenmenin daha da değerli bir kaynağı haline getirmektedir (Şereflişan & Altun, 2018:2158). Midyelerin sahip oldukları aminoasit miktarıyla

yumurta gibi en iyi hayvansal proteine sahip ürünlerden bile kaliteli proteine sahip olduğu bilinmektedir (Venugopal & Gopakumar, 2017:1242). Yine, midyelerin kJ başına neredeyse sığır eti kadar protein içerdiği; örneğin yağsız biftekte 24 g protein/600 kJ, midyede ise 22 g protein/600 kJ içerdiği belirlenmiştir (Yaghubi & ark., 2021:1124). Deniz kaynaklı proteinler (özellikle midyeler), karasal kaynaklı proteinlere kıyasla obezite önlemede önemli avantajları olduğu ve yapılan çalışmalarda kilo alımını azalttığı bildirilmiştir (Fjaere & ark., 2020:3038; Mrymel & ark., 2019:1153).

USDA (1998)'e göre, çiğ midyelerde aminoasit oranları, triptofan %0,13, treonin %0,51, izolosin %0,52, lösin %0,84, lizin %0,89, metiyonin %0,27, sistin %0,16, fenilalanin %0,43, tirozin %0,38, alanin %0,52, arjinin %0,87, histidin %0,23, alanin %0,72, aspartik asit %1,15, glutamik asit %1,62, glisin %0,74, prolin %0,49 ve serin %0,53 olarak rapor edilmiştir.

Frolov & Pankov (1995:453), 10-25°C su sıcaklığında midyelerin (*Mytilus galloprovincialis*) aminoasit kompozisyonlarının oldukça sabit olduğu, esansiyel ve esansiyel olmayan asitlere bağlı olarak düşük sıcaklıklarda belirgin olmayan bir artış gözlemlendiğini tespit etmişlerdir.

Fluentes & ark. (2009:302), İspanya'nın farklı bölgelerinden toplanan midyelerde toplam aminoasit miktarının farklılık gösterdiğini (ort. 5461,47 mg/100 g) ve bu farklılığın besin içeriği değişiminden kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (2009) verilerine göre, pişmiş ve kızartılmış midyelerde esansiyel aminoasitlerden lizin ortalama 1,909g/100 g ve 0.992g/100g, lösin ise ortalama 1,798g/100 g ve 1,024g/100 olduğu belirtilmektedir.

Tacon & ark. (2010:105) yetiştirilen midyelerin işlenmesi sırasında temel aminoasitlerin içeriğinde değişikliklerin olduğu, bu

aminoasitleri korumak için işleme yöntemlerinin optimize edilmesinin gerektiği bildirmişlerdir.

Chi & ark. (2012), midyelerde (*Mytilus edulis*) esansiyel aminoasitler ile toplam aminoasitler arasındaki oranın %39,18 olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışmada, midyeye lezzet veren aminoasit içeriğinin %15,53, bunun toplam aminoasitlerin %36,72'sini oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Biji & ark. (2015:6809), ısıt işlem kullanarak salamura edilmiş yeşil midye (*Perna viridis*) örneklerinde, toplam aminoasit ve yağ asidi içeriğinde önemli bir azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, midye eti esansiyel aminoasit ve yağ asitleri bakımından besin içeriğini dengelediğini, bu sebeple midyenin tüketici ihtiyaçlarını karşılamak için içeriğinde kaliteli protein ve yağ bulunan bir besin maddesi olarak kabul edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Cretton & ark. (2023:4964), denizel canlıların aminoasit miktarlarının besin, su sıcaklığı ve mevsimsel döngüler gibi çevresel faktörlerden etkilendiğini ve bunların biyokütledeki aminoasitlerin hem bileşimini hem de toplam içeriğini değiştirdiğini bildirmişlerdir

Bjerknes & ark. (2024:13), 100 g buharda pişirilmiş midyede (*Mytilus edulis*) günlük önerilen esansiyel aminoasit alımının %26,8±0,78'den %54,9±1,66'sına kadar katkıda bulunabildiğini belirtmişlerdir. Buharda pişirilmiş dondurularak kurutulmuş midyeler için, tüm esansiyel aminoasit alımı için önerilen alımın %100'ünden fazlası ve treonin için %243'e kadar karşılandığını ifade etmişlerdir. Yine aynı çalışmada, 100 g midyede 271 mg EPA (20:5n-3) ve 220 mg DHA (22:6n-3) sağlayarak yetişkinler için gerekli n-3 uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerinin vücuda alınmasını, ayrıca hamile ve emziren kadınlar için tavsiye edilen tüketim miktarını karşıladığını bildirmişlerdir.

3. Mineral Madde İçeriği

İnsan vucudunun yaklaşık %4'n oluşturan mineraller, büyüme ve sağlık için gerekli olan maddelerdir. Mineral bakımından en zengin kaynaklar deniz ürünleri ve midyedir. Yapılarında daha çok kalsiyum, fosfor, sodyum, potasyum, magnezyum, demir ve kükürt gibi mineralleri bulundurmalarının yanında iyodun en zengin kaynaklarıdır (EFSA, 2014). Özellikle midyenin yetiştiği suyun tuzluluk oranına göre, etin iyot seviyesini arttırmaktadır. Diğer bir önemli mineral ise dışarıdan alınması zorunlu olan selenyumdur. Selenyum bakımından zengin olan deniz ürünleri başta midye olmak üzere tarak, karides ve istakoz gibi canlılar örnek gösterilmektedir (Badayman & Kasapoğlu, 2023:187).

4. Yağ Asidi İçeriği

Yağlar, yapısal olarak gliserol ve yağ asitlerinden oluşur. Gıdaların içeriğindeki yağlar, yapısal olarak farklı olan yağ asitlerinden oluşmakta ve bir yağın kalitesi içerdiği yağ asitlerinin bileşimine bağlı şekillenmektedir. Midye dahil olmak üzere, tüm su ürünlerinde daha çok doymamış yağ asitleri bulunmaktadır (Turan & ark., 2013:50). Genel anlamda yağlar, doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitlerinden oluşmaktadır (Orban & ark., 2002:65). Midye diğer su ürünlerinde olduğu gibi, çoklu doymamış yağ asitlerinin önemli kaynaklarındanır (Güngörür & Mol, 2019:127). Bu yağ asitleri, midye etinin kalitesini özellikle de lezzetli olmasını sağlamaktadır (Carboni & ark., 2019:1381). Midye etinde bulunan toplam yağ asitleri miktarı; doymuş yağ asitleri (SFA) 0,358 g/100g, tekli doymamış yağ asitleri (MUFA) 0,201 g/100g ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) 0,519 g/100g olarak özetlenmiştir (UGKVT, 2025).

Su rnleri etlerinde bulunan çoklu doymamış yağ asitleri, besin zincirinin ana kısmını oluşturan fitoplanktondan gelir, yani bitkisel kökenlidir. Fitoplankton tarafından sentez edilen EPA ve

DHA daha sonra balıklar, kabuklu deniz ürünleri gibi canlıların bünyesine katılır (Kaya & ark., 2004:374). Bu yağ asitleri, vücutta önemli biyolojik ve biyokimyasal etkilere sahiptir. Yağ içeriği ve yağ asitleri kompozisyonu türden türe değiştiği gibi, aynı tür içerisindeki çift kabuklular arasına bile değiştiği; bu durumun beslenme, mevsim ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerin yanında yaş, cinsiyet ve boy gibi biyolojik farklılıklardan kaynaklandığı bildirilmektedir (Tan & ark., 2021:7014).

Sağlık üzerine yapılan araştırmalarda Omega-3 yağ asitlerinin, karaciğerdeki yağ asidi sentezi ve lipoprotein oluşumuna engel olduğu, iltihabı azaltma, bağışıklık sisteminin kuvvetlenmesine, serum trigliserid ve LDL kolesterol seviyesini düşürmede oldukça etkili olduğu belirtilmiştir (Larsen, 2000:102; Calder, 2015:484). EPA'nın kalp hastalıklarını önlemede, DHA'nın ise beyinsel ve sinirsel fonksiyonların gelişimi için büyük öneme sahip olduğu bildirilmektedir (Whfoods, 2012; Zanetti & ark., 2017:895). Midyenin yağ asidi içeriği ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda aşağıda sunulmuştur.

Takagi & ark. (1986:521), Japon sularındaki çift kabuklularla yaptıkları araştırmada *Mytilus spp.*'nin tekli doymamış yağ asidi içerdiğini %44 düzeyinde olduğunu bildirmişlerdir.

Karakoltsidis & ark. (1995:273), kara midye *Mytilus galloprovincialis*'in diğer kabuklu su ürünlerine kıyasla oldukça yüksek düzeyde doymuş ve doymamış yağ asitlerini bünyesinde taşıdığını ve en yüksek yağ asidi oranına sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Orban & ark. (2002:65), İspanya'da yapılan çalışmada midyede çoklu doymamış yağ asitleri oranının %35-50 arasında olduğu belirtilmiş, EPA %16-22 ve DHA %3-4,8 ise aralığında rapor edilmiştir.

Chi & ark. (2012:556), midyede doymamış yağ asitleri içeriğini yaklaşık olarak 18,2 mg/100 g ile 22,9 mg/100 g arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Stancheva & ark. (2017:191), doğal ve çiftlik midyelerini içerdikleri yağlar açısından kıyaslamış, doğal midyelerin kolesterol içeriğini, 67,54 mg/100 g olarak çiftlik midyesinin ise 49,88 mg/100 g olarak belirlemişlerdir. 100 g'lık yenilebilir midyede 0,252 g (doğal) ve 0,425 g (çiftlik) DHA + EPA içerdiğini tespit etmişlerdir.

Stratev & ark. (2017:879), doymuş yağ asitleri yaz aylarında en yüksek içeriğe sahipken, tekli doymamış yağ asitleri sonbahara kadar kademeli olarak azalmaktadır. Çoklu doymamış yağ asitlerinin sonbaharda en yüksek seviyeye ulaştığını vurgulamışlardır.

Çiftlik midyelerinin 100 g pişmiş et başına 300-800 mg Omega-3 yağ asidi içerdiğini (Venugopal & Gopakumar, 2017:1242; Carboni & ark., 2019:1381) ve midyedeki lipidin %50-60'ının fosfolipit olduğu için Omega-3 yağ asitlerinden yüksek oranda biyoyararlanıma sahip olduğunu bildirmişlerdir (Ahmmed & ark., 2020:123).

Panayotova & ark. (2020:3297), *Mytilus galloprovincialis*'in yağ asidi kompozisyonunu %19,8-41,7 SFA, %5,5-18,9 MUFA, %47,1-71,9 PUFA, %36,5-64,8 Omega 3, %1,8-11,5 Omega 6, %0,06-0-51 Omega6/Omega3 ve %1,1-3,5 PUFA/SFA olduğu bildirilmiştir.

Yaghubi & ark. (2021:1124) çiftlik midyelerini haftada 3 kez öğle yemeği öğünlerine protein tamamlayıcısı olarak verdiklerini, midye tüketiminin (kişi başına 81-289 g/kişi/öğün) önerilen Omega-3 alımını karşılamak ve Omega-3 indeksini (omega-3 alımı ve kalp sağlığının bir göstergesi) sadece iki hafta gibi kısa bir sürede iyileştirmek için yeterli olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca aynı çalışmada araştırmacılar, kişi başına yılda yalnızca yaklaşık 300 g midye düştüğünü, dolayısıyla bu küresel nüfusa sürdürülebilir bir

Omega-3 yağ asidi sağlamak için midye üretiminin önemli ölçüde artırılması gerektiğini de ifade etmişlerdir.

Bejaoui & ark. (2021:3503) kara midyenin (*Mytilus galloprovincialis*) -20°C ve +4°C sıcaklığında, 5, 10 ve 15 gün sürelerde depolanması üzerine hem soğutma hem de dondurma işlemlerinden sonra midye etinin dokularında önemli ölçüde biyokimyasal bileşiklerde azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Yağ asidi bileşimi ve doymuş yağ asitleri her iki depolama işleminden sonra gözle görülür bir şekilde artış göstermiş, özellikle 10 ve 15 günlük depolama sürecinden sonra çoklu doymamış ve tekli doymamış yağ asitleri azalma gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, her iki depolama işleminden sonra mineral içeriği dengesi ve besin kalitesinde azalma meydana gelmiştir. Aynı çalışmada, oksidatif hasar oranlarının taze ve depolanmış dokular arasında önemli ölçüde fark olduğu ve midyelerin besin kalitesini büyük ölçüde etkilediği de belirtilmiştir. Midyenin kalitesini korumak ve insan sağlığına faydalı bir tüketim için taze yada buzdolabında (+ 4°C) en fazla 5 gün boyunca muhafaza edilmesi önerilmiştir.

Mititelu & ark. (2022:964), midyelerde (*Mytilus galloprovincialis*) toplam yağ asitlerinin toplam lipitin %69,27'sini oluşturduğunu ve bol miktarda çoklu doymamış yağ asidi içerdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada miristik asit, palmitik asit, palmitoleik asit, oleik asit ve eikosapentaenoik asit yağ asitleri içeriği açısından en fazla bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca, PUFA/SFA oranı 4,96 olduğu belirtilmiştir.

Bjerknes & ark. (2024:13), midyelerde (*Mytilus edulis*) dondurarak kurutmanın esansiyel aminoasitleri ve yağ asitlerini kalıcı olarak sabit değerde bıraktığını ve besin kaybına yol açmadığını bildirmişlerdir.

5. Vitamin İçeriği

Vitaminler bağışıklık sisteminde yaşamsal fonksiyonların devamlılığı için önemli olmakla birlikte, gıdalar ile dışarıdan alınmak zorundadır. Vitaminler, yağda ve suda eriyen vitaminler olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Yağda eriyenler; A, D, E ve K, suda eriyenler ise B kompleksinin 8 vitamini ve C vitamini şeklinde dir. İnsan vucudunun günlük vitamin ihtiyaı diğer besin bileşenlerine oranla oldukça düşük düzeydedir. şeidine göre mikrogram ve miligram düzeyinde alımları yeterli olabilmektedir. Ancak metabolizmada oldukça önemli görevleri bulunmaktadır. Midyeler metabolizmada önemli rol oynayan A ve D vitaminleri açısından oldukça zengindirler. 100 g midyenin D vitamini içeriği 94 IU iken, sütün 100 gramında 6 IU, bir yumurtada 68 IU D vitamini bulunmaktadır (UGKVT, 2025).

Midyeler suda ve yağda çözünen vitaminlerin biyosentezi açısından deniz ortamında üstünlüğe sahip olup, D vitamini kuru maddenin %1'ine kadar ulaşabilmektedir. Ayrıca, 6-9,7 g/g kuru madde içeren B12 vitamininin varlığı da dikkat çekicidir (Grinke & ark., 2014:60; Bohrer, 2017:112). Yüksek vitamin ve oligomineral konsantrasyonuyla, midye etinden elde edilen proteinlerin sürekli tüketimi, özellikle bağışıklık sistemini güçlendirerek sağlığı önemli ölçüde iyileştirdiği de belirtilmiştir.

Suda eriyebilen vitaminler B kompleksi ve C vitamini kara hayvanlarının kas etlerinde olduğu gibi hemen hemen aynı düzeylerde deniz ürünlerinde de bulunmaktadır (Pigott & Tucker, 1990). Deniz ürünlerinden biri olan midyede; A vitamini oldukça yüksek düzeylerdedir (Ulusoy & zden, 2011:330; Kök & ark., 2015:76; Badayman & Kasapoğlu, 2023:187). Connell (1975) ise, midyedeki E vitamini etkisini gösteren tokoferol miktarının 1-11 g/g düzeyinde olduğunu bildirmiştir. Souci & ark. (1981:592), *Mytilus edulis* türü midyenin ortalama 0,160 mg/100 g B1 ve 0,220 mg/100 g B2 vitamin içeriğine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Ayrıca araştırmacılar kum midyesi, istiridye ve midyelerin (*Mytilus edulis*) C vitamini (askorbik asit) ve B2 (riboflavin) kaynağı olduğunu rapor etmişlerdir (Wright & ark., 2018:708).

MacDonald (2010), çiğ yenilebilir yeşil kabuklu (*Perna canaliculus*) dokusunda A vitamini için 38,7 µg/100 g, E vitamini için 740 µg/100 g ve kolesterol için ise 29 mg/100 g olduğunu bildirmiştir. Öhrvik & ark. (2012) aynı tür midyede yaptıkları çalışmada ise, A vitamini 66,5 µg/100 g ve E vitamini 3070 µg/100 g olarak tespit etmişlerdir.

Chi & ark. (2012), midye ile yaptıkları çalışmada A vitamini içeriğini 202.32- 212,23 mg/100 g aralığında, Riboflavin içeriğini ise, 0,54–0,63 mg/100 g aralığında tespit etmişlerdir.

Idayachandiran & ark. (2014:19), midye etinin vitamin içeriğini büyük oranda A (105,6 mg/g) ve D vitamini (38,2 mg/g) oluşturduğunu, ardından K (0,68 mg/g) ve B6 (0,15 mg/g) vitaminlerinin geldiğini bildirmişlerdir.

Stancheva & ark. (2014:191), Karadeniz’de doğal ve çiftlik midyelerinin (*Mytilus galloprovincialis*) taze yenilebilir dokularındaki yağda çözünen bileşiklerin, doğal örneklerde astaksantin, D2 vitamini ve D3 vitamini içerikleri, çiftliğe göre birkaç kat daha yüksek bulunmuştur. Diğer taraftan, çiftlik midyelerinde A vitamini, E vitamini, beta- karoten ve kolesterol yüksek miktarlarda tespit edilmiştir.

Cherifi & ark. (2018:314) yaptıkları çalışmada, midyelerin yağda çözünen A ve E vitaminlerini yüksek miktarda içerdiğini, mevsimlere göre besin değerlerinin değiştiği ve değişim dikkate alındığında en iyi kondisyon indeksi ve lipit miktarı/kalitesinin yaz aylarında olduğunu bildirilmişlerdir.

Panayotova & ark. (2020:3297), Karadeniz’den toplanan midyelerin etinde (*Mytilus galloprovincialis*), 21,1-64,0 µg/100 g A

vitamini, 5,5-24,0 µg/100 g D3 vitamini ve 1,4-7,7 µg/100 g E vitamini bulunduğunu bildirmişlerdir.

Moxness Reksten & ark. (2024:128) çiğ, buharda pişirilmiş, salamura ve paketlenmiş mavi midyelerde (*Mytilus edulis*) riboflavin (B2 vitamini) ortalama içerikleri 0,11-0,30 mg/100 g, niasin (B3 vitamini) 0,39-1,6 mg/100 g, piridoksin (B6 vitamini) 0,036-0,28 mg/100 g, folat (B9 vitamini) 13-61 µg/100 g, kobalamin (B12 vitamini) 17-30 µg/100 g, D3 vitamini 0,5 µg/100 g ve E vitamini 1,5-2,8 mg/100 g aralıklarında bulunmuştur. Ayrıca çalışma sonucunda, kabuklu deniz ürünlerinin yüksek miktarda protein, esansiyel aminoasit, EPA + DHA, B12 vitamini, E vitamini, çinko, iyot ve selenyum içerdiğini de bildirmişlerdir.

Sonuç

Günümüzde beslenmede kullanılan gıda maddelerinin ekonomik ve kaliteli olmasının yanı sıra, besin bileşenlerini de dengeli oranda içermesi istenmektedir. Deniz ürünleri bu isteğe cevap veren önemli bir besin grubudur. Kara midye ise deniz ürünleri arasında ülkemizde halkın severek tükettiği, gerek midye tava gerekse midye dolma olarak sokak lezzetleri arasına giren, hatırı sayılır ürünlerdendir. Araştırmalarda, kara midyeye uygulanan temel pişirme yöntemlerinin besin bileşenleri kalitesine etkisi beslenmede hangi pişirme yönteminin kullanıma daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemiz denizlerinde üretimi gerçekleştirilen kara midye, besin değeri yüksek denizel bir canlıdır. İçerdiği kalitesi yüksek protein, düşük yağ (lipit) içeriği, çoklu doymamış yağ asitleri ve minerallerin yüksek olması nedeniyle oldukça sağlıklı, tavsiye edilen bir besin kaynağıdır.

Teşekkür

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından yüksek lisans tez projesi (Proje No: FYL-2024-4813) kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

Ahmmed, M. K., Ahmmed, F., Tian, H. (Sabrina), Carne, A. ve El-Din Bekhit, A. (2020). Marine omega-3 (n-3) phospholipids: A comprehensive review of their properties, sources, bioavailability, and relation to brain health. *Journal of Reviews In Food Science And Food Safety*, 19(1), 64-123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12510>

Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., Charbonnier, L., Philip, A. M., Wen, S. R. ve Wang, X. (2008). Bioaccessibility of essential and non-essential metals in commercial shellfish from Western Europe and Asia. *Journal of Food and Chemical Toxicology*, 46(6): 2010–2022.

Anonim (2025). Tarım ve Orman Bakanlığı Web Sitesi. Erişim tarihi: 25.05.2025, https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Hayvan_Sinir/cift_kabuklu_yumusakca_uretim_alanlari.pdf

Arık Çolakoğlu, F. ve Çolakoğlu, S. (2014). Türkiye’de çift kabuklu yumuşakça sektöründe uygulanan prosedürler ve durum analizi. *Gıda Dergisi*, 78-87.

Babuskina, K. I. ve Babenko, L. A. (1986). Utilization of non-standart size mussels as food, *Rybnoe-Khozyaistvo*, 11-71.

Badayman, M. ve Kasapoğlu, E. D. (2023). Midye kabuğunun özellikleri ve tozunun değerlendirilmesi. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 18(68), 177-187.

Bejaoui, S., Ghribi, F., Chetoui, I., Aouini, F., Bouaziz, M., Houas-Gharsallah, I., Soudani, N. ve El Cafsi , M. (2021). Effect of storage temperature and time on the fatty acids and nutritional quality of the commercial mussel (*Mytilus galloprovincialis*). *Journal of Food Science and Technology*, 58(9), 3493-3503. doi: 10.1007/s13197-021- 05008-5

Biji, K. B., Shamseer, R. M., Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., Mathew, S. ve Gopal, T. K. S. (2015). Effect of thermal processing on the biochemical constituents of green mussel (*Perna viridis*) in Tin-free-steel cans. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 6804-6809. DOI 10.1007/s13197-015-1757-8

Bjerknes, H., Elvevoll , E. O., Sundset , M. A., Langdal , A. ve Eilertsen, K. E. (2024). Farmed blue mussels (*Mytilus edulis*) a nutrient-dense resource retaining nutritional value through processing. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1443229>

Bohrer, B. M. (2017). Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends in Food Science and Technology*, 65, 103– 112.

Calder, P. C. (2015). Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Journal of Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1851(4), 469-484. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2014.08.010>

Carboni, S., Kaur, G., Pryce, A., McKee, K., Desbois, A. P., Dick, J. R., Galloway, S. D. R. ve Lee Hamilton, D. (2019). Mussel consumption as a “Food First” approach to improve Omega-3 status. *Journal of Nutrients*, 11(6), 1381. <https://doi.org/10.3390/nu11061381>

Cherifi, H., Ajjabi, L. C. ve Sadok, S. (2018). Nutritional value of the Tunisian mussel (*Mytilus galloprovincialis*) with a special emphasis on lipid quality. *Journal of Food Chemistry*, 268, 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.075>

Chi, C. F., Zhang, J. S., Wen Wu, C., Ying, X. ve Wang, B. M. (2012). "Analysis and evaluation of nutrition composition of mussel, selected". *Peer reviewed papers from the 2nd International Conference on Chemical Engineering and Advanced Materials, Advances in Chemistry Research II, China*. <https://www.scientific.net/AMR.554-556.1455>

Connell, J. J. (1975). Control of Fish Quality. Fishing News (Books) Ltd., London.

Cretton, M., Malanga, G., Sobczuk T. M. ve Mazzuca, M. (2023). Marine lipids as a source of high-quality fatty acids and antioxidants. *Journal of Food Reviews International*, 39(8), 4941-4964. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2042555>

Çolakoğlu, F. A., Cardak, M., ve Cakır, F. (2003). An investigation on microbiological quality of stuffed mussels sold in Canakkale. *Gıda*, 9: 86-89.

Çolakoğlu, F. A. (2004). The effects of processing techniques on microflora of roach (*Rutilus rutilus*) and whitefish (*Coregenus sp.*). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28(1), 239-247.

Çolakoğlu, F., ve Çolakoğlu, S., (2013). Çift kabuklu yumuşakçaların ekonomik açıdan durumu. *Gıda*, Eylül, 73-78.

Çolakoğlu, F., Yüzgeç, U. ve Çolakoğlu, S. (2022). Türk mutfak kültüründe midye dolma: Osmanlı İmparatorluğu dönemi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(2), 170-73.

Çolakoğlu, S., Yildirim, P., ve Kunili, E. (2019). Contribution of mussel farms to employment in the Islands region found at the Southern Marmara Sea (Turkey). Proc. Intern. Sci. Pract. Conf. “Bulgaria Regions” 2 (1), 569–573.

Çolakoğlu, S., Künili, I. E. ve Çolakoğlu, F. (2020). Bioaccumulation monitoring of chemical contaminants in mussels *Mytilus galloprovincialis* from the southern coast of the Marmara Sea. Turkey. *Turkish Journal Of Veterinary And Animal Sciences*, 44(2), 235–243. <https://doi.org/10.3906/vet-1905-7>.

EFSA (2014). EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) Scientific opinion on the tolerable upper intake level of eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2815>

Erüstün, G. ve Şentürk, A. (1986). Studies on canning and frozen storage of mussel meat (in Turkish), T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Çanakkale İl Kontrol ve Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Çanakkale İl Müdürlüğü Yayınları, Çanakkale, 14 p.

FAO (2012). The state of World fisheries and aquaculture 2024. Fisheries and Aquaculture Department, Rome.

FAO (2018). The European market for mussels. <http://www.fao.org/in-action/globefish/fishery-information/resourcedetail/en/c/338588>, Erişim tarihi: 13.11.2018

FAO (2024). The state of World fisheries and aquaculture 2024. Erişim tarihi: 25.06.2025, <https://openknowledge.fao.org/items/06690fd0-d133-424c-9673-1849e414543d>

Fjære, E., Myrmel, L. S., Dybing, K., Kuda, O., Jensen, B. A. H., Rossmeisl M, Froyland, L., Kristiansen, K. ve Madsen, L.

(2020). The anti-obesogenic effect of lean fish species is influenced by the fatty acid composition in fish fillets. *Nutrients*, 12(10), 3038. doi: 10.3390/nu12103038.

Frolov, A.V. ve Pankov, S. L. (1995). The biochemical transformation of food by the mussel (*Mytilus galloprovincialis*) at different temperatures. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 112(3-4), 441-453.

Fluentes, A., Fernández-Segovia, I., Escriche, I., ve Serra, J. A. (2009). Comparison of physico-chemical parameters and composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) from different Spanish origins. *Journal of Food Chemistry*, 112, 95-302. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.064>

Grkovic, N., Zuber Bogdanovic, I., Djuric, S., Karabasil, N., Suvajdzic, B., Öobanovic, N., Djordjevic, V., Vasilev, D.ve Dimitrijevic, M. (2023). Seasonal variation in the nutrient composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from farms in Boka Kotorska Bay, Southern Adriatic Sea. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 70(3), 319-326. DOI: 10.33988/auvfd.920577

Grienke, U., Silke, J. ve Tasdemir, D. (2014). Bioactive compounds from marine mussels and their effects on human health. *Food Chemistry*, 142, 48-60.

Gülyavuz, H. ve Ünlüsayın, M. (1999). Su Ürünleri İşleme Teknolojisi. Şahin Matbaası, Ankara, 366p.

Güngörür, M. N. ve Mol, S. (2019). Bir Gıda Olarak Midye, *Aydın Gastronomy*, 3(2), 119- 127.

Hackkney, A. C., Sinning, W. E. ve Bruot, B. C. (1990). Hypothalamic-pituitary-testicular axis function in endurance-trained males. *International Journal of Sports Medicine*, 11(4), 298-303. DOI: 10.1055/s-2007-1024811

Idayachandiran, G., Muthukumar, A., Kumaresan, S. ve Balasubramanian, T. (2014). Nutritional value of marine bivalve, *Donax cuneatus* (Linnaeus, 1758) from Cuddalore coastal waters, Southeast Coast of India, *Inventi of Journal*, 1, 15-19.

Karakoltsidis, P. A., Zotos, A. ve Constantinides, S. M. (1995). Composition of the commercially important Mediterranean finfish, crustaceans and molluscs. *Journal of food composition and analysis*, 8, 258-273.

Karayücel, S., Kaya, Y. ve Karayücel, İ. (2003). Effect of environmental factors on biochemical composition and condition index in the Medierranean Mussel (*Mytilus gallaprovincialis* Lamarck, 1819) in the Sinop Region. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 27(6), 1391-1396.

Kaya, Y., Duyar, H. A. ve Erdem, M. E. (2004). Balık yağ asitlerinin insan sağlığı için önemi. *Ege Üniversitesi Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 21(3-4), 365- 370.

Koodathil, J., Elavarasan, K., Munusamy, H., Arivukkarasu, N. K., Murugan, K. S. ve Jeyasankar, D. (2025). Mussels: a treasure trove of nutrients, bioactive peptides, and minerals-a review of their applications in food, pharmaceuticals, and biomedicine. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 11(88). <https://doi.org/10.1186/s43094-025-00840-4>

Kök, F., Büyükyörük, S., Beyaz, D., Göksoy, E., Koçak, P. ve Şahiner, C. (2015). Determination of microbiological quality of stuffed mussels sold in Aydın and İzmir, *Manas Journal of Engineering*, 3(1), 70 – 76.

Larsen, H. R. (2000). Fishoils: The essential nutrients. risk and the omega-3 index. *Journal of International Health News*. Issue: 102.

Lopez, A., Bellagamba, F. ve Moretti, V. M. (2022). Nutritional quality traits of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*): A sustainable aquatic food product available on Italian market all year round. *Journal of Food Science and Technology International*, 29(7), 718-728.
<https://doi.org/10.1177/10820132221109582>

MacDonald, G. (2010). Identification of Health and Nutritional Benefits of New Zealand Aquaculture Seafood's. Report., MacDonald and Associates Ltd, Nelson.

Merdzhanova, A., Dobрева, D. A. ve Georgieva, S. (2016). Nutritional evaluation of aquaculture mussels (*M. galloprovincialis*) from the Black Sea, Bulgaria. *Journal of Ovidius University Annals of Chemistry*, 27(1), 1-7.

Mititelu, M., Neacșu, S. M., Oprea, E., Dumitrescu, D. E., Nedelescu, M., Draganescu, D., Nicolescu, T. O., Roșca, A. C. ve Ghica, M. (2022). Black Sea mussels qualitative and quantitative chemical analysis: nutritional benefits and possible risks through consumption. *Nutrients*, 14, 964.
<https://doi.org/10.3390/nu14050964>

Moxness Reksten, A., Wiech, M., Aakre, I., Markhus, M., Nøstbakken, O., Hannisdal, R., Madsen, L., ve Dahl, L. (2024). Exploring the nutrient composition of various shellfish available in Norway and their role in providing key nutrients. *Journal Food Composition and Analysis*, 128, 106003. doi: 10.1016/j.jfca.2024.106003

Mozaffarian, D. ve Wu, J.H. (2011). Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: Effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *Journal of the American College of Cardiology*, 58, 2047–2067.

Mrymel, L. S., Fauske, K. R., Fjaere, E., Bernhard, A., Liisberg, U., Hasselberg, A. E., Qyen, J, Kristiansen, K. ve Madsen, L. (2019). The impact of different animal-derived protein sources on adiposity and glucose homeostasis during *Ad Libitum* feeding and energy restriction in already obese mice. *Nutrients*, 11(5), 1153. <https://doi.org/10.3390/nu11051153>

Muller, H. G., ve Tobin, G. (1980). Foods of animal origin in nutrition and food processing. The Avi Publishing Company, Inc page 197-198.

Murray, L.G., Newell, C.R. ve Seed, R. (2007). Changes in the biodiversity of mussel assemblages induced by two methods of cultivation. *Journal of Shellfish Research*, 26: 153–162.

Orban, E., Lena, G. D., Nevigato, T., Casini, I., Marzetti, A., ve Caproni, R. (2002). Seasonal changes in meat content, condition index and chemical composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) cultured in two different Italian sites. *Journal of Food Chemistry*, 77(1), 57-65. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00322-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00322-3)

Öhrvik V., Malmberg A., Mattisson I., Wretling S. ve Åstrand C. (2012). Fish, shellfish and fish products-analysis of nutrients. Livsmedels verket, National food agency, Sweden.

Panayotova, V., Merdzhanova, A., Dobрева, D. A., Bratoeva, K. ve Makedonski, L. (2020). Nutritional composition, bioactive compounds and health-beneficial properties of Black Sea shellfish. *Journal of IMAB*, 23(3), 3293-3297. <https://doi.org/10.5272/jimab.2020263.3293>

Pérez-Cano, F. J. (2022). Mediterranean Diet, Microbiota and Immunity. *Nutrients*, 14, 273.

Pigott, G. M. ve Tucker, B. W. (1990). Seafood effects of technology on nutrition. Marcel Dekker, Inc. New York.

Salaskar, G. M. ve Nayak, V. N. (2011). Nutritional quality of bivalves, *Crassostrea madrasensis* and *Perna viridis* in The Kali Estuary. *Journal of Recent Research in Science and Technology*, 3(4), 06-11.

Slabyj, E. D. M. ve Carpenter, P.N. (1977). Processing effect on proximate composition and mineral content of meats of blue mussels (*Mytilus edulis*). *Journal of Food Science*, 42(5), 1153-1155. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb14448.x>

Souci, S. W., Fachmann, W. ve Kraut, H. (1981). Fishes, whales, crustaceans, molluscs and their driven products. p592.

Stancheva, M, Dobрева, D. A., Stancheva, R. ve Panayotova, V. (2014). Fat soluble vitamins, carotenoids, and cholesterol content of wild and farmed black mussel (*Mytilus galloprovincialis*). *Aquaculture Europe*, Donostia–San Sebastián, Spain.

Stancheva, M., Merdzhanova, A. ve Dobрева, D. A. (2017). Fat soluble vitamins, cholesterol, and fatty acid composition of wild and farmed black mussel (*Mytilus galloprovincialis*) consumed in Bulgaria. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 26(2), 181-191.

Stratev, D., Popova, T., Zhelyazkov, G., Vashin, I., Dospatliev, L. ve Valkova, E. (2017). Seasonal changes in quality and fatty acid composition of black mussel (*Mytilus galloprovincialis*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 26(7), 871-879. <https://doi.org/10.1080/10498850.2017.1346742>

Şengör, G. F., Gün, H. ve Kalafatoğlu, H. (2008). Determination of the amino acid and chemical composition of canned smoked mussels (*Mytilus galloprovincialis*, l.). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 32(1), 1-5.

Şentürk, A. (1994). Studies on the factors effecting microbiological properties of some processed marine products (in

Turkish), T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Çanakkale İl Kontrol ve Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayın No: 20/32, Çanakkale, 37 p.

Şereflişan, H.ve Altun, B. E. (2018). Amino acid and fatty acid composition of freshwater mussels, *Anodonta pseudodopsis* and *Unio tigridis*. *Pakistan Journal of Zoology Lahore*, 50(6), 2153-2158.

Tacon, A., Metian, M., Turchini, G. ve De Silva, S. (2010). Responsible aquaculture and trophic level implications to global fish supply. *Reviews in Fisheries Science*, 18, 94–105. doi: 10.1080/10641260903325680.

Takagi, T., Itabashi, Y. ve Kaneniwa, M. (1986). Fatty acid composition of bivalves from Japanese Waters. *Journal of Japan Oil Chemists' Society*, 35(7), 517-521. <https://doi.org/10.5650/jos1956.35.517>

Tan, K., Zhang, H., Li, S., Ma H.ve Zheng, H. (2021). Lipid nutritional quality of marine and freshwater bivalves and their aquaculture Potential. *Journal of Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(25), 6990-7014. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1909531>

Tatlısu, N.U. (2002). İstanbul piyasasında satılmakta olan midye dolmalarının kalite düzeylerinin belirlenmesi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Turan, H., Erkoyuncu, İ. ve Kocatepe, D. (2013). Omega-6, Omega-3, fatty acid and fish. *Journal of Aquaculture Studies*, 13(2), 45-50. DOI:10.17693/yunusae.v2013i21905.235422

TÜİK (2025). Su ürünleri istatistikleri/Türkiye İstatistik Kurumu/Ankara, 45745s. Erişim tarihi: 22.04.2025, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2023-53702>

UGKVT (2025), Ulusal gıda kompozisyon veri tabanı, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü/Bursa. Erişim tarihi: 22.04.2025, <https://turkomp.tarimorman.gov.tr/food-95>

Ulusoy, Ş., ve Özden, Ö. (2011). Preservation of stuffed mussels at 4°C in modified atmosphere packaging. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 20, 319–330.

USDA (1998). United States Department of Agriculture (USDA). Nutrient Database for Standart Reference, Mollusk, mussel, blue, raw, <http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/listnul.pl>

Varlık, C., Erkan, N., Özden, Ö., Mol, S. ve Baygar, T. (2004). Su Ürünleri İşleme Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi Yayın No:4465, İstanbul.

Venugopal, V. ve Gopakumar, K. (2017). Shellfish: Nutritive Value, Health Benefits, and Consumer Safety. *Compr. Rev. Food Sci Food Saf.*, 16(6), 1219-1242. doi: 10.1111/1541-4337.12312.

Whfoods (2012). The world's healthiest foods. <http://whfoods.org/genpage.php?tname=nutrient&dbid=84> (giriş September 19, 2012).

WHO (2010). Safe management of shellfish and harvest waters. Edited, by G. Rees, K. Pond, D. Kay, J. Bartram and J. Santo Domingo, IWA Publishing, London.

Wright, A. C., Fan, Y. ve Baker, G. L. (2018). Nutritional value and food safety of bivalve molluscan shellfish. *Journal of Shellfish Research*, 37(4), 695-708. <https://doi.org/10.2983/035.037.0403>

Yaghubi, E., Carboni, S., Snipe, R. M. J., Shaw C. S., Fyfe, J. J., Smith, C. M., Kaur, G., Tan, S.ve Hamilton, D. L. (2021). Farmed mussels: A nutritive protein source, rich in Omega-3, fatty Acids, with a low environmental footprint. *Journal of Nutrients*, 13(4), 1124. <https://doi.org/10.3390/nu13041124>

Yıldırım, P., Cardak, M., Colakoglu, S., Türker, G. ve Ormancı, H. B. (2022). Seasonal variations and human health risk assessment of traceelements in the bivalve ecosystem in the Sea of Marmara. *Journal of Food Additives And Contaminants, Part B* 15(3):221–234.

Zanetti, M., Gortan Cappellari, G., Barbetta, D., Semolic, A. ve Barazzoni, R. (2017). Omega 3 polyunsaturated fatty acids improve endothelial dysfunction in chronic renal failure: role of eNOS activation and of oxidative stress. *Nutrients*, 9(8), 895.

BÖLÜM 8

BALIKLARDA ALZHEİMER, PARKİNSON, EPİLEPSİ KOMBİNE MODELLERİ

MUHAMMET ENİS YONAR¹
SERPİL MİŞE YONAR²

Giriş

Nörodejeneratif hastalıklar, farklı klinik belirtiler göstermelerine rağmen ortak biyolojik mekanizmalar üzerinden ilerleyen karmaşık patolojik süreçlerdir. Alzheimer hastalığı, Parkinson hastalığı ve epilepsi; oksidatif stresin artması, mitokondriyal fonksiyonların bozulması, nöroinflamasyonun yükselmesi, sinaptik iletimin zayıflaması ve nörotransmitter dengesizlikleri gibi temel nörolojik bozuklukları paylaşır. Bu ortak mekanizmalar, birden fazla nöropatolojinin aynı model organizmada birlikte incelenmesine bilimsel bir zemin sağlar (Kalueff & ark., 2014).

¹ Prof. Dr, Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, ORCID: 0000-0001-9519-4247.

² Prof. Dr, Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, ORCID: 0000-0003-2736-5731.

Zebra balığı (*Danio rerio*), sinir sistemi yapısının memelilere yüksek oranda benzerlik göstermesi, hızlı gelişimi, şeffaf embriyonik yapısı, güçlü nörotransmitter sistemleri (dopaminerjik, kolinerjik, glutamaterjik ve GABAerjik döngüler) ve genetik manipölasyon kolaylığı nedeniyle Alzheimer, Parkinson ve epilepsi gibi karmaşık beyin hastalıklarını modellemek için ideal bir araştırma organizmasıdır (Howe & ark., 2013). Zebra balığının farmakolojik ajanlara verdiği davranışsal ve moleküler yanıtların memelilerle paralellik göstermesi, bu modeli translasyonel nörobilimde güvenilir bir araç hâline getirir (Santoriello & Zon, 2012).

Klinik çalışmalar Alzheimer hastalarının önemli bir kısmında epileptik aktivitenin ortaya çıktığını, Parkinson hastalarında ise dopaminerjik hücre kaybına ek olarak bilişsel bozulma ve epileptiform aktivite gözlemlendiğini göstermektedir. Bu durum, insan hastalıklarında komorbid nörolojik bozuklukların tahmin edilenden daha yaygın olduğunu düşündürmektedir. Dolayısıyla yalnızca tek bir hastalık modeline odaklanmak, nörodejeneratif sürecin gerçek biyolojik çeşitliliğini tam olarak yansıtmayabilir (Xi & ark., 2011).

Zebra balığında Alzheimer modeli için skopolamin ve A β 42 uygulamaları; Parkinson modeli için 6-OHDA, MPTP ve rotenon; epilepsi modeli için ise PTZ, kainik asit ve elektriksel indüksiyon yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Epilepsi araştırmalarında zebra balığı zaten uzun yıllardır güçlü bir model olarak kabul edilmekte, davranış ve moleküler fenotipleri memeli modelleriyle yüksek benzerlik göstermektedir (Stewart & ark., 2012). Bu farklı nörolojik model sistemlerinin dikkatli biçimde birleştirilmesi, aynı bireyde hem bilişsel bozukluk, hem motor disfonksiyon hem de epileptiform aktivite oluşturulmasına olanak sağlayarak nörodejeneratif süreçlerin çok boyutlu analizine imkân tanır.

Kombine model yaklaşımı hem ortak mekanizmaların açıklığa kavuşturulmasını hem de nöroprotektif bileşiklerin, antioksidanların, bitkisel ekstraktların ve yeni farmakolojik ajanların daha gerçekçi bir patolojik arka plan üzerinde test edilmesini mümkün kılar. Bu nedenle Alzheimer–Parkinson–Epilepsi üçlü modeli, modern nörobilimde giderek daha yenilikçi ve değerli bir araştırma stratejisi hâline gelmektedir (Santoriello & Zon, 2012).

Balıklarda Alzheimer Hastalığı Modeli

Alzheimer hastalığı (AH), öğrenme ve hafıza süreçlerinin bozulmasıyla karakterize edilen nörodejeneratif bir bozukluktur (Selkoe, 2001; Querfurth ve LaFerla, 2010). Patolojik açıdan A β peptitlerinin birikimi, tau proteinlerinin hiperfosforilasyonu, oksidatif stresin artması ve kolinerjik sistemde zayıflama, hastalığın temel bileşenleri olarak kabul edilir. Zebra balığı (*Danio rerio*), bu süreçlerin davranışsal ve moleküler düzeyde incelenmesi için güçlü bir model sunar (Zhang & ark., 2003; Sun & ark., 2004; Lieschke ve Currie, 2007; Crawford & ark., 2008; McGrath ve Li, 2008; Kalueff & ark., 2014).

Balıklarda Alzheimer benzeri bilişsel bozukluk oluşturmaının en yaygın yöntemlerinden biri skopolamin uygulamasıdır (Shenoy & ark., 2022; Singsai & ark., 2021). Skopolamin, muskarinik asetilkolin reseptörlerini geçici olarak bloke ederek kısa süreli hafıza ve öğrenme performansını bozar. Zebra balıklarında skopolamin uygulaması sonrası yeni ortam keşfi azalır, hedefe yönelik yüzme davranışı bozulur ve öğrenme testlerinde performans düşer (Santoriello & Zon, 2012). Bu fenotip memelilerde gözlenen erken dönem AH profiliyle uyumludur.

Balıklarda Alzheimer modelinin ikinci yaklaşımı, insan kaynaklı A β 42 peptidinin enjekte edilmesi veya transgenik olarak ekspresyonudur (Shenoy & ark., 2022; Singsai & ark., 2021). A β 42, sinaptik fonksiyonu bozan ve oksidatif stresi artıran nörotoksik bir

birikim oluşturur. Transgenik A β 42 ekspresyonu, zebra balığında davranışsal yavaşlama, hafıza bozukluğu ve mikrogliyal aktivasyon gibi klasik Alzheimer belirtilerine yol açmaktadır (Xi & ark., 2011). Bu model, amiloidopatinin erken doku etkilerini incelemek için değerlidir.

Tau proteinlerinin hiperfosforilasyonu, Alzheimer patofizyolojisinin temel bileşenlerinden biri olup aksonal stabiliteyi bozar. Tau transgenik zebra balıkları, nörönel dejenerasyon, sinaptik kayıp ve davranışsal gerileme gibi AH ile ilişkili fenotipler sergiler. Tau birikimi, A β 42 modelleriyle birlikte değerlendirildiğinde nöröpatolojik sürecin hızlandığı bildirilmektedir (Howe & ark., 2013).

AH modellerinde ROS üretiminin artması ve mitokondriyal fonksiyonların bozulması, hastalığın ilerlemesine katkı sağlar. Zebra balığında amiloid veya skopolamin uygulaması sonrası SOD, CAT ve GPx gibi antioksidan enzimlerde dengesizlik görüldüğü, bunun da davranışsal bozukluklarla paralel ilerlediği gösterilmiştir (Xi & ark., 2011). Ayrıca mikrogliya aktivasyonunu temsil eden nöröinflamatuvar yanıtın da AH modellerinde belirgin şekilde arttığı bilinmektedir (Santoriello & Zon, 2012).

Zebra balığında Alzheimer etkilerini ölçmek için en sık kullanılan davranış testleri Novel tank test (kognitif ve anksiyete ilişkili davranış), T-maze / Y-maze (hafıza ölçümleri), Light–dark preference test, Novel object recognition (nesne tanıma testi) ve Shuttle box öğrenme testleridir.

Skopolamin veya A β uygulaması sonrası bu testlerde performans düşüşü istikrarlı bir Alzheimer fenotipi oluşturur (Kalueff & ark., 2014).

Balıklarda Parkinson Hastalığı Modeli

Parkinson hastalığı (PH), substantia nigra pars compacta'daki dopaminerjik nöron kaybı, motor fonksiyonlarda bozulma ve α -sinüklein birikimi ile karakterize edilen ilerleyici bir nörodejeneratif bozukluktur. Zebra balığı (*Danio rerio*), dopaminerjik sistemi memelilerle önemli yapısal ve fonksiyonel benzerlikler taşıdığı için Parkinson patofizyolojisinin modellenmesinde sık kullanılan bir organizmadır (Xi & ark., 2011). Balığın dopamin yolağı, tirozin hidroksilaz (TH)-pozitif nöronları ve motor davranış çıktıları, Parkinson modellerinde oluşan patolojilerin ölçülmesini mümkün kılar (Kalueff & ark., 2014).

6-OHDA, dopamin ve noradrenalin taşıyıcıları aracılığıyla nörona alınan güçlü bir nörotoksindir. Zebra balığında 6-OHDA uygulaması dopaminerjik sinir uçlarında dejenerasyona, yüzme performansında azalmaya ve motor koordinasyon bozukluklarına yol açar. Bu fenotipin memeli Parkinson modellerine yüksek oranda benzediği bildirilmiştir (Xi & ark., 2011). 6-OHDA ayrıca oksidatif stres, mitokondriyal membran potansiyelinde düşüş ve antioksidan savunmada bozulma ile karakterizedir.

MPTP, memelilerde olduğu gibi zebra balığında da dopaminerjik nöron kaybı oluşturan klasik bir Parkinson toksinidir. MPTP, MAO-B tarafından toksik metabolit MPP⁺'a dönüştürülür ve mitokondriyal kompleks I'ı inhibe ederek ATP üretimini azaltır. Zebra balıklarında MPTP maruziyeti, dopamin seviyelerinin düşmesine, motor aktivitenin azalmasına ve TH-pozitif nöron kaybına neden olur (Santoriello & Zon, 2012). Bu model translasyonel PH araştırmalarında en sık kullanılan yöntemlerden biridir.

Rotenon, doğal bir pestisit olup mitokondriyal kompleks I inhibitörüdür. Kronik düşük doz rotenon uygulaması zebra balığında progresif dopaminerjik kayıp, davranışsal yavaşlama,

gastrointestinal bozulmalar ve oksidatif stres artışı oluşturur. Rotenon modeli özellikle mitokondri kaynaklı Parkinson patofizyolojisini taklit ettiği için değerlidir (Xi & ark., 2011).

Zebra balığı genomunun tamamen çözümlenmiş olması (Howe & ark., 2013), Parkinson hastalığıyla ilişkili genlerin fonksiyonel olarak incelenmesini mümkün kılmıştır. Aşağıdaki genler üzerinde yapılan çalışmalar, balık modellerinde PH patofizyolojisinin genetik yönünü anlamayı kolaylaştırmaktadır:

α -synuclein (SNCA) aşırı ekspresyonu → protein agregasyonu ve davranış bozuklukları

PINK1 mutasyonları → mitofaji bozulması, motor kusurlar

Parkin (PARK2) eksikliği → oksidatif stres hassasiyeti artışı

LRRK2 mutasyonları → motor fonksiyon bozukluğu ve nöronal hassasiyet artışı

Zebra balığında bu genlerin susturulması veya aşırı ekspresyonu, memeli Parkinson modelleriyle karşılaştırılabilir fenotipler oluşturur (Santoriello & Zon, 2012).

Parkinson modelinde motor fonksiyonun bozulmasını değerlendirmek için zebra balığında belirli davranış protokolleri uygulanır. Bunlar; toplam yüzme mesafesinde azalma, yüzme hızında belirgin düşüş, stereotipik yüzme paternleri, hedef yönelimli hareketlerde gecikme, dikey yönde harekette zayıflama

MPTP, 6-OHDA veya rotenon uygulanan balıklarda bu davranışsal parametreler güvenilir PH göstergeleri olarak kabul edilir (Kalueff & ark., 2014).

Parkinson modeli oluşturulan zebra balıklarında, ROS üretiminin arttığı, Kompleks I aktivitesinin düştüğü, ATP seviyelerinin azaldığı, SOD, CAT ve GPx enzim aktivitelerinde dengesizlik olduğu rapor edilmiştir (Xi & ark., 2011). Bu

biyokimyasal değişiklikler, toksin tabanlı Parkinson modellerini patofizyolojik açıdan güçlü kılar.

PH modellerinde; TH-pozitif dopaminerjik nöron boyaması, SNCA ekspresyon analizi, İnflamatuar belirteçlerde artış (IL-1 β , TNF- α), Apoptotik belirteçlerde yükseliş (Caspase-3) sık kullanılan doğrulama yöntemleridir.

Balıklarda Epilepsi Modeli

Epilepsi, tekrarlayan ve kontrolsüz nöronal deşarjlarla karakterize edilen, yaygın nörolojik bir bozukluktur (Liu & ark., 2010). Zebra balığı (*Danio rerio*), epilepsi araştırmalarında memeli modellerine güçlü bir alternatif olarak kullanılmakta; nöbet fizyolojisinin, antiepileptik farmakolojinin ve nörogelişimsel epilepsi mekanizmalarının incelenmesine çok yönlü katkı sağlamaktadır (Stewart & ark., 2012). Zebra balığının saydam embriyonik yapısı, yüksek üreme kapasitesi, davranışsal nöbet paternlerinin kolay izlenebilirliği ve genetik manipölasyonlara uygunluğu bu modeli epilepsi çalışmalarında özellikle değerli kılar.

PTZ (Pentylene-tetrazole) modeli, en yaygın epilepsi yaklaşımı modelidir. PTZ, GABA_A reseptör antagonisti olarak etki gösteren güçlü bir konvülsan ajandır. Zebra balığında PTZ uygulaması epilepsi sırasında görülen semptomlara benzer olarak balıklarda hızlı ve ritmik yüzme artışı, kontrolsüz kasılmalar, tonik-klonik benzeri nöbet fazları ve beyinde geniş ölçekli elektriksel senkronizasyon gibi semptomlar oluşturur. Zebra balığında PTZ ile indüklenen epileptik davranış genellikle üç aşamada tanımlanır. Bunlar, artmış lokomotor aktivite, dairesel yüzme – kontrol kaybı ve tonik-klonik benzeri nöbettir. Bu evreler, memeli modellerindeki nöbet şiddet sınıflandırmalarıyla uyumludur (Afrikanova & ark., 2013).

Zebra balığı larvalarında PTZ ile oluşturulan nöbet paternleri hem davranışsal hem de EEG düzeyinde memeli epilepsi

modelleriyle yüksek benzerlik taşır (Afrikanova & ark., 2013). Bu nedenle PTZ modeli hem nöbet mekanizmalarının hem de antiepileptik ilaç etkinliğinin test edilmesinde standart olarak kullanılır.

Kainik asit, glutamat reseptörlerini aşırı aktive ederek nöronal eksitabiliteyi yükselten ve epileptik aktivite oluşturan güçlü bir nörotoksindir. Bu maddenin zebra balığında, eksitotoksik nöron kaybı, hippocampus benzeri bölgelerde inflamasyon, kronik epileptiform davranışlar oluşturduğu bildirilmiştir. Bu model özellikle temporal lob epilepsisi patofizyolojisinin araştırılmasında kullanılmaktadır (Stewart & ark., 2012).

Zebra balığında genetik epilepsi modelleri de oluşturulabilmektedir. Genetik mutant hatlar, insan epilepsilerinin moleküler nedenlerini incelemek için güçlü bir araçtır. Doğrulanmış genetik modeller şunlardır:

a) scn1lab mutanı (Dravet Sendromu modeli)

SCN1A'nın zebra balığı ortologu olan scn1lab genindeki mutasyonlar, Dravet sendromuna benzer spontan nöbetler oluşturur. Bu modelde; hiperaktivite, spontan nöbet boşalmaları, GABAerjik inhibisyon bozukluğu görülmektedir.

b) GABA reseptör alt birimi mutasyonları

GABRA1 veya GABRB3 benzeri genlerdeki mutasyonlar epileptiform motor davranışlar oluşturur ve antiepileptik ilaçlara insanlara benzer yanıtlar verir.

c) mTOR yolak aktivasyonu içeren genetik modeller

TSC1/TSC2 mutasyonları, nörogelişimsel epilepsilerin zebra balığı modellerinde başarıyla taklit edilmesini sağlamıştır.

Epilepsi modellerinde zebra balığı beyinde farklı değişiklikler rapor edilmiştir. GLUTAMAT/GABA dengesizliği, IL-

1 β , TNF- α gibi inflamatuvar sitokinlerde artış, Oksidatif stres yükselmesi, Caspase-3 aktivasyonu (apoptoz göstergesi) ve BDNF artışı (aktivite-bağımlı nöroplastisite yanıtı) bunlardan bazılarıdır. Bu biyomarkırlar hem nöbetlerin şiddetini hem de antiepileptik ilaç yanıtlarını değerlendirmede kullanılır (Stewart & ark., 2012).

PTZ ve genetik modellerde kullanılan ilaçlar (valproat, topiramat, benzodiazepinler) zebra balığında memeli modelleriyle uyumlu bir şekilde nöbetleri baskılar (Baraban & ark., 2013).

Balıklarda Alzheimer/Parkinson/Epilepsi Üçlü Kombine Model Tasarımı

Nörodejeneratif hastalıkların birbirinden bağımsız olmadığı, aksine ortak moleküler süreçler üzerinden ilerlediği günümüzde giderek daha net anlaşılmaktadır. Alzheimer hastalığı (AH), Parkinson hastalığı (PH) ve epilepsi (EP) klinik açıdan farklı tablolar sunmalarına rağmen oksidatif stres artışı, mitokondriyal bozulma, nöroinflamasyon, sinaptik yetersizlik ve nörotransmitter dengesizliği gibi birçok temel patolojik mekanizmayı paylaşır (Kalueff & ark., 2014). Bu ortaklık, üç hastalığın aynı model organizmada birlikte incelenmesini bilimsel açıdan anlamlı hâle getirmektedir.

Zebra balığı, nörodejenerasyonun ortak mekanizmalarını canlı bir sistemde çoklu düzeyde değerlendirme imkânı sağladığından, Alzheimer–Parkinson–Epilepsi kombine modelinin geliştirilmesi için ideal bir organizmadır. Balığın genomunun yüksek oranda insanla örtüşmesi, dopaminerjik ve kolinerjik sistemlerin memelilere benzerliği ve epileptik aktivitenin kolayca ölçülebilmesi bu modeli eşsiz kılar (Howe & ark., 2013; Stewart & ark., 2012). Üçlü bir model tasarımı, hem ortak hem özgün nöropatolojik süreçlerin tek bireyde eşzamanlı olarak analiz edilmesine olanak tanır.

Klinik araştırmalar AH, PH ve epilepsinin gerçek yaşamda sıklıkla birlikte görülebildiğini göstermektedir. Alzheimer hastalarının %10–22’sinde epileptik aktivite rapor edilmiştir. Parkinson hastalarında bilişsel bozulma ve epileptiform değişiklikler beklenenden daha yaygındır. Nöroinflamasyon ve oksidatif stres tüm bu hastalıkların ortak itici gleridir. Bu nedenle  hastalığın bir arada modellenmesi, tek-etkenli modellerin yetersiz kaldığı nörolojik karmaşıklığı daha iyi yansıtır (Santoriello & Zon, 2012).

Kombine modelde en sık kullanılan yaklaşım,  nörolojik durumu sırayla veya eşzamanlı olarak tetikleyen farmakolojik ajanların entegre uygulanmasıdır. şöyle ki;

Adım 1 — Alzheimer bileşeni (kolinerjik bozulma): Skopolamin (kolinerjik antagonizm) veya A β 42 enjeksiyonu ile bilişsel fonksiyon zayıflatılır. Hafıza bozukluğu, yavaş öğrenme ve anksiyete benzeri davranış görülür.

Adım 2 — Parkinson bileşeni (dopaminerjik kayıp): 6-OHDA, MPTP veya rotenon uygulanarak dopaminerjik sisteme zarar verilir (Xi & ark., 2011). TH-pozitif nöron kaybı, motor performans düşüşü ve kompleks I inhibisyonu görülür.

Adım 3 — Epilepsi bileşeni (nöronal hiperaktivite): PTZ (GABA_A antagonisti) veya kainik asit ile epileptik aktivite tetiklenir (Afrikanova & ark., 2013). Hızlı motor aktivite artışı, tonik–klonik benzeri nöbet fazları, glutamaterjik eksitotoksisite görülür.

Bu üç adım doğru doz, süre ve aralıklarla uygulandığında tek bir balıkta eşzamanlı olarak bilişsel bozulma, dopaminerjik dejenerasyon ve epileptik aktivite üretilir.

Bu modelde gözlenen ortak patolojik süreçler şunlardır (Stewart & ark., 2012):

1. Oksidatif stres artışı (Üç modelin hepsi ROS birikimi oluşturduğu için MDA düzeylerinde artış, SOD–CAT–GPx dengesinde bozulma beklenir.)
2. Mitokondri hasarı (MPTP/6-OHDA'nın kompleks I üzerindeki etkisi epileptik aktivitenin enerji ihtiyacıyla birleşince belirgin ATP düşüşü ortaya çıkar.)
3. Nöroinflamasyon (IL-1 β , TNF- α ve mikroglial aktivasyon üçlü modelin temel bileşenidir.
4. Nörotransmitter dengesizliği (Kolinerjik sistem zayıflar (Alzheimer), dopamin azalır (Parkinson), GABA azalır – Glutamat artar (Epilepsi))

Sonuç

Balıklarda Alzheimer, Parkinson ve epilepsi modellerinin birlikte ele alınması, nörodejeneratif hastalıkların çoklu mekanizmalarının anlaşılması açısından yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Tek hastalık modelleri, belirli patolojik süreçleri ayrıntılı şekilde incelemeye olanak sağlasa da, nörodejenerasyonun gerçek biyolojik dinamiği çoğu zaman birden fazla mekanizmanın eşzamanlı etkileşimini içerir. İnsanlarda bilişsel bozulma, motor yeti kaybı ve epileptik aktivite sıklıkla birlikte görülebilir ve bu komorbid durumların birlikte modellenmesi hastalıkların daha bütüncül anlaşılmasına katkı sağlar.

Zebra balığı, nörolojik bozuklukların incelenmesi için güçlü bir model organizmadır. Gelişim hızı, davranışsal yanıtlarının hassas ölçülebilmesi, genetik benzerliği ve farmakolojik duyarlılığı, bu türü Alzheimer, Parkinson ve epilepsinin kombine olarak modellenmesi açısından benzersiz kılar. Kolinerjik blokaj, dopaminerjik dejenerasyon ve epileptiform aktiviteyi tetikleyen farmakolojik ajanların dikkatlice birleştirilmesiyle aynı bireyde üç farklı nöropatolojinin davranışsal ve moleküler yansımalarını görmek

mümkündür. Bu bütünleşik yaklaşım, ortak patolojik süreçlerin daha net ortaya konmasını sağlarken, hastalığa özgü farklılıkların da aynı deney seti içinde incelenmesine olanak tanır.

Kombine modelin önemli bir avantajı, oksidatif stres yanıtı, mitokondriyal enerji dengesi, nöroinflamasyon, sinaptik iletim ve nörotransmitter düzeyleri gibi temel biyolojik süreçlerin çoklu hastalık yükü altında nasıl değiştiğini eşzamanlı olarak değerlendirebilmesidir. Böylelikle hastalıkların birbirini nasıl etkilediği, patolojinin hangi aşamalarda hızlandığı veya yavaşladığı daha doğru şekilde analiz edilebilir. Ayrıca antioksidan ve nöroprotektif bileşiklerin, bitkisel ekstraktların ve yeni farmakolojik ajanların üçlü model üzerinde test edilmesi, tedavi yaklaşımlarının klinik gerçekliğe daha yakın koşullarda değerlendirilmesini sağlar.

Sonuç olarak, Alzheimer–Parkinson–Epilepsi üçlü model tasarımı yalnızca bir deneysel yenilik değil, aynı zamanda gelecekteki nörodejenerasyon araştırmalarına yön verecek çok boyutlu bir bilimsel çerçeve sunmaktadır. Bu yaklaşım hem temel mekanizmaların anlaşılmasını hem de yeni terapötik stratejilerin geliştirilmesini hızlandırabilecek potansiyele sahiptir. Balık modellerine dayalı bu entegre yöntem, nörodejeneratif hastalıkların karmaşık doğasını anlamak için önemli ve güçlü bir araştırma aracı olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Afrikanova, T., Serruys, A. S., Buenafe, O. E. M., Clinckers, R., Smolders, I., de Witte, P. A. M., & Crawford, A. D. (2013). Validation of the zebrafish pentylene-tetrazole seizure model: Locomotor versus electrographic responses to antiepileptic drugs. *Epilepsia*, 54(1), 1–10.
- Baraban, S. C., Dinday, M. T., & Hortopan, G. A. (2013). Drug screening in Scn1a zebrafish mutant identifies clemizole as a

potential Dravet syndrome treatment. *Nature Communications*, 4, 2410.

- Crawford, A. D., Esguerra, C. V., & De Witte, P. A. M. (2008). Fishing for drugs from nature: Zebrafish as a technology platform for natural product discovery. *Planta Medica*, 74(6), 624–632.
- Howe, K. vd (2013). The zebrafish reference genome sequence and its relationship to the human genome. *Nature*, 496, 498–503.
- Kalueff, A. V., Stewart, A. M., & Gerlai, R. (2014). Zebrafish as an emerging model for studying complex brain disorders. *Trends in Pharmacological Sciences*, 35(2), 63–75.
- Lieschke, G. J., & Currie, P. D. (2007). Animal models of human disease: Zebrafish swim into view. *Nature Reviews Genetics*, 8, 353–367.
- Liu, X., Wen, F., Yang, J., Chen, L., & Wei, Y. Q. (2010). A review of current applications of mass spectrometry for neuroproteomics in epilepsy. *Mass Spectrometry Reviews*, 29(2), 197–246.
- McGrath, P., & Li, C. Q. (2008). Zebrafish: A predictive model for assessing drug-induced toxicity. *Drug Discovery Today*, 13(9–10), 394–401.
- Querfurth, H. W., & LaFerla, F. M. (2010). Alzheimer's disease. *New England Journal of Medicine*, 362(4), 329–344.
- Santoriello, C., & Zon, L. I. (2012). Hooked! Modeling neurological disorders in zebrafish. *Journal of Clinical Investigation*, 122(7), 2337–2343.
- Selkoe, D. J. (2001). Alzheimer's disease results from the cerebral accumulation and cytotoxicity of amyloid beta-protein. *Journal of Alzheimer's Disease*, 3(1), 75–80.

- Shenoy, A., Banerjee, M., Upadhyay, A., Bagwe-Parab, S., & Kaur, G. (2022). The brilliance of the zebrafish model: Perception on behavior and Alzheimer's disease. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16, 861155.
- Singsai, K., Ladpala, N., Dangja, N., Boonchuen, T., Jaikhamfu, N., & Fakthong, P. (2021). Effect of *Streblus asper* leaf extract on scopolamine-induced memory deficits in zebrafish: The model of Alzheimer's disease. *Advances in Pharmacological and Pharmaceutical Sciences*, Article ID 6666726.
- Stewart vd, (2012). Perspectives of Zebrafish models of epilepsy: what, how and why? *Brain Research Bulletin*, 87, 135–143.
- Sun, Z., Amsterdam, A., Pazour, G. J., Cole, D. G., Miller, M. S., & Hopkins, N. (2004). A genetic screen in zebrafish identifies cilia genes as a principal cause of cystic kidney. *Development*, 131, 4085–4093.
- Xi, Y., Noble, S., & Ekker, M. (2011). Modeling neurodegeneration in zebrafish. *Journal of Neuroscience*, 31(45), 16076–16085.
- Zhang, C. J., Willett, C., & Fremgen, T. (2003). Zebrafish: An animal model for toxicological studies. *Current Protocols in Toxicology*, 1(7), 1–18.

BÖLÜM 9

TÜRKİYE DENİZLERİNDE BULUNAN İsparoz (*Diplodus annularis* L, 1758) BALIĞININ ÖZELLİKLERİ

ORHAN ARAL¹

Giriş

İsparoz, (*Diplodus annularis* L,1758) ülkemiz denizlerinde yaygın olarak bulunan Sparidae familyasına ait bir balık türüdür (Resim 1).

Resim 1 İsparoz balığı (Diplodus annularis L,1758)



Kaynak: Orijinal

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-8550-9970

Sparidae familyasına ait bugüne kadar ülkemizde 16 tür saptanmış olup, bu türlerden 8'i Karadeniz'de, 12' sinin de Marmara ve diğer denizlerimizde yaşadığı bildirilmektedir. Karadeniz' de yaşayan Sparidae familyasına ait bu 8 türden birisi de İsparoz (*Diplodus annularis* L,1758) türüdür (Akşiray, 1954:59; Mater, 1968:6; Mater, 1974:53; Slastenenko, 1955-56:371).

İsparoz balığı, tropik ve ılıman denizlerin hemen hepsinde bulunabilen bir form olup, Atlantik okyanusundan Kanarya adalarına, Akdeniz havzası denizlerinden Karadeniz ve Azak denizine kadar dağılım göstermektedir. İsparoz balıkları karnivor beslenme özelliği göstermekte ve temel besinlerini kabuklular, yumuşakçalar, çeşitli kurtlar ve balık larvaları oluşturmaktadır. İsparoz balıklarının yayılım gösterdiği deniz alanları 0-100 m arasında, kumlu ve deniz çayırları ile kaplı alanlar oluşturmaktadır. Akdeniz, Karadeniz, Ege ve Marmara denizlerinde 20 m derinliklerde kıyı bölgelerine yakın yerlerde bol miktarda bulunur. Yaz aylarında deniz suyu sıcaklığının artması ile birlikte kıyılara yaklaşır, kış aylarında deniz suyu soğuması ile birlikte 100 m civarındaki derinliklere çekilir. Kayalık diplerden daha çok yosunlu, otlu kumluk bölgelerde bulunur.

İsparoz balıklarının vücutları yanlardan yassılaşmış, oval şekilde olup vücut üzeri iri pullar ile kaplıdır (Akşiray, 1954:59; Mater, 1968:6; Mater, 1974:53; Slastenenko, 1955-56:372).

Karın, göğüs ve anal yüzgeçleri yeşilimsi sarıdır (Resim 2). Vücutlarında gümüşü ve enine desen, bant/şerit bulunur. Kuyruk sapı ile kuyruk yüzgeci başlangıcında kendine özgü siyah benek bulunur. Maksimum boyları 25 cm olup denizlerimizde ortalama 10-15 cm uzunluktadırlar.

Resim 2 Ülkemiz denizlerinde yakalanan İsparoz balığı örnekleri



Kaynak: Orjinal

Halk arasında kullanılan isimleri; İspari, İsparya, İsparoz, Tarak balığı, deniz sazan balığı şeklindedir Mater: 1974:53; Slastenenko, 1955-56:372; Mater, Kaya & Bilecenoğlu, 2002:89).

İsparoz balığının ölçülen maksimum uzunluğu 27,5 cm olarak bildirilmektedir. Balıkların maksimum boya ulaşabilmelerinin ancak av baskısı altında olmamasına bağlı olduğu gibi yaşam ortamlarındaki su kalite parametreleri (sıcaklık, tuzluluk, oksijen, kirlilik vb.), besin varlığı büyük oranda etkili olmaktadır (Erkoyuncu, 1995:44; Cengiz, 2013:420; Acarlı, Kara & Bayhan, 2014:251). Balıkların uzunluk ve ağırlıklarında görülen bölgesel farklılıkların bu nedenlere bağlı olduğu bilinmelidir.

Yaş ve Cinsiyet Dağılımı

Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz olmak üzere Türkiye denizlerinin tamamında bulunabilen İsparoz balığının çeşitli özellikleri üzerine birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen yaş dağılımı ve cinsiyet oranları üzerine fazla çalışma bulunmamaktadır. Çalışma yapılmış olanlarda da yaş ve cinsiyet dağılımı bölgelere göre farklılıklar göstermektedir.

Yaş dağılımı, Sinop Körfezinde (Karadeniz) I-V yaş (Aral: 1995:195), Edremit Körfezinde I-VII yaş, Gülbahçe körfezinde ise I-IV yaş (Akyol, Kınacıgil & Şevik, 2007:3) şeklinde saptanmıştır. Cinsiyet oranı, Gülbahçe körfezinde 1:1,23 (Akyol, Kınacıgil & Şevik, 2007:3; Mater, 1976), Orta Ege ve İzmir Körfezinde 1:0,87 (Akalin, 1996:14), Sinop Körfezinde ise 1:1,19 (Aral, 1995:195) olarak tespit edilmiştir. İzmir körfezinde cinsi olgunluğa erişmiş bireylerin %43'ünün dişi, %27'sinin erkek, %30' unun da hermafrodit bireylerden (Mater, 1976:28) oluştuğu, Marmara'da %47,58'nin dişi, %52,42'sinin erkek (Ünsal, 1984:104), Sinop Körfezinde ise %54,5'nin dişi, %45,5'nin erkek olduğu bildirilmiştir (Aral, 1995:195).

Türkiye denizlerinde yaşayan İsparoz balıkları üzerinde yapılan çalışmalarda incelenen örnekler içerisinde en fazla ağırlık 308,3 g ile Sinop körfezinden bildirilmiştir (Tablo 1). Uzunluk açısından bakıldığında ise 25,43 cm ile yine Sinop körfezinden bildirilmektedir (Aral, 1995:197). Literatür bildirişlerinde de karşılaşılan maksimum boyu 27,5 cm olarak verilmektedir. Diğer çalışmalar arasında görülen farklılıklar tabi ki bölgeye, beslenme durumuna, yaş faktörüne, av baskısına ve av yöntemi ile araştırma yapısının planına vb. göre değişebilmektedir.

Balıklarda ağırlık-uzunluk ilişki denklemi (aL^b) popülasyondaki balıklar üzerinde yorum yapma olanağı sunabilmektedir (Erkoyuncu, 1995:95). Örneğin ağırlık-uzunluk

denklemindeki b değeri balıkların vücut şekilleri üzerinde yorum yapma olanağı vermektedir. $b=3$ olduğunda; balık vücudu ideal şekilde, $b<3$ olduğunda, kısa ve küt, $b>3$ olduğunda ise balık vücudunun ince ve uzun yapılı olduğu bildirilmektedir. İsparoz balıkları vücut şekilleri bakımından nispeten kısa ve küt balıklardır. Tablodan da görülebileceği gibi b değeri 3'ün biraz üzeri, fakat çoğunlukla 3'e yakın değerler içermektedir. Bu da kondüsyon faktörü tanımındaki 3'e yakın olmanın, vücut şeklinin küt ve kısa olması tanımını İsparoz balığının görselini karşılamaktadır.

Tablo 1 Türkiye denizlerindeki İsparoz balığının ağırlık ve uzunluk dağılımı ile a ve b değerleri

Bölge	n (birey sayısı)	Wmin-Wmax (g)	Lmin-Lmax (cm)	a	b
Sinop Körfezi (Aral, 1995:197)	330	38,1-308,3	12,4-25,43	0,0285	2,86
İzmir Körfezi (Tosunoğlu & ark., 1997:131)	205	6,00-79,0	6,50-15,0	0,0210	3,02
İzmir Körfezi (Kınacıgil & Akyol, 2001:23)	160	9,00-100	7,8-15,6	0,0140	3,19
İzmir Körfezi (Özaydın & Taşkavak, 2006:214)	929	11,21-102,0	7,9-16,8	0,0245	2,97
İzmir Körfezi (Özaydın & ark., 2007:696)	2517	-----	5,1-16,1	0,0190	3,04
İzmir Körfezi (İlkyaz & ark., 2008:700)	1443	-----	7,8-18,3	0,0123	3,13
Babadil Limanı (Çiçek & ark., 2006:291)	89	7,37-78,86	7,9-16,7	0,0113	3,14
Gökçeada (Karakulak, Erk & Bilgin, 2006:276)	372	-----	7,7-17,7	0,0068	3,31
Gökova Körfezi (Akyol, Kınacıgil & Şevik, 2007:3)	159	15,8-105,10	9,5-19,0	0,0179	2,98
Kuzey Ege Denizi (Gökçe, Aydın & Metin, 2007:51)	718	8,00-142,0	8,3-20,8	0,0177	2,99
Saros Körfezi (İşmen & ark., 2007:707)	108	9,00-70,0	8,8-15,6	0,0160	3,01
Kuzeydoğu Akdeniz (Sangun, Akamca & Akar, 2007:38)	154	14,4-51,45	10,3-15,0	0,0370	2,67
Edremit Körfezi (Çakır, Koç & Başusta, 2008:49)	887	8,66-72,13	7,3-13,8	0,00005	2,82
İskenderun Körfezi (Gökçe, Mustafa & Filiz, 2010:102)	33	26,88-51,82	12,2-15,0	0,0173	2,97
Çandarlı Körfezi (Gürkan & ark., 2010:497)	25	0,72-41,56	3,9-13,5	0,0085	3,28
Marmara Denizi (Demirel & Dalkara, 2012:787)	81	-	10,0-16,7	0,0040	3,43
Gelibolu Yarımadası (Cengiz, 2013:420)	282	10,63-126,22	8,7-19,4	0,0153	3,05
Homa Dalyanı (Acarlı, Kara & Bayhan, 2014:251)	121	0,9-68,0	3,9-15,5	0,100	3,19
Güney Ege Denizi (Bilge & ark., 2014:264)	2554	-	5,3-16,3	0,0192	3,04
Gökçeada (Altın & ark., 2015:973)	923	0,01-48,33	1,1-14,0	0,0110	3,10
Gediz Deltası (Kara & ark., 2017:3)	91	7,70-66,5	8,0-15,5	0,0085	3,24
Saroz Körfezi (Cengiz, Kızılkaya & Paruğ, 2019:819)	159	28,69-180,0	12,0-23,2	0,0331	2,77

Üreme Yaşı ve Zamanı

İsparoz balıkları ayrı eşeylidirler. Ancak, Sparidae familyasının diğer bazı üyelerinde de görüldüğü gibi İsparoz balıklarında da hermafroditlik görülebilir. Mayıs ayının sonundan eylül ayı ortalarına kadar özellikle su sıcaklığına bağlı olarak deniz suyunun üst kısımlarında genellikle akşam saatlerinde sahile yakın yerlerde yumurtlarlar. Yumurtaları pelajiktir. Yumurtaların çapları yaş ve beslenme durumlarına bağlı olarak 0,8-1,8 mm'ye kadar değişebilir. Döllenen yumurtalar kısa süre (2-6 gün) içerisinde açılırlar. Yumurtadan çıkan larvalar 10-20 m derinlikler arasında pelajik şekilde yaşam sürmektedir. Daha sonra sahil kıyılarında suyun dip kısımlarına inerler (Akşiray, 1954:55; Slastenenko, 1955-56:371; Aral, 1995:198).

İsparoz balığının üreme yaşının saptanmasına yönelik yapılan çalışmalarda Mater (1968:5) ilk üreme yaşını 4 yaş ve bu yaşa denk düşen ortalama uzunluğun da 13 cm olduğunu bildirmektedir. Bir başka çalışmada ise Metin & Akyol, 2003:207, aynı türün dişi bireylerinin ilk üreme boyuna 9,5 cm'de geldiğini bildirmektedir. Akdeniz için ilk üreme boyu 10 cm ve 1. yaş olarak bildirilmektedir. Tabi ki balıklarda üremenin, çevre şartlarına, mevsimsel değişimlere ve beslenme durumları vb. birçok faktöre bağlı olarak değişim gösterebileceği araştırmacılar tarafından bildirilmektedir.

Sinop Körfezinde İsparoz balıklarının üreme zamanının saptanması amacıyla yapılan çalışmada da İsparoz balıklarının yumurtlamasının Temmuz ayının ikinci yarısı ile Ağustos ayı ve kısmen Eylül ayında meydana geldiği saptanmıştır (Aral, 1995:198). Ayrıca yine aynı çalışmada, yumurta çaplarının $0,7 \pm 0,062$ mm., yumurta veriminin ise (fecundity) 126900-161320 arasında olduğu belirtilmektedir.

Sonuç olarak, İsparoz (*Diplodus annularis* L.1758) lkemizin tüm denizlerinde bulunan, fakat özellikle avcılığı yapılan bir balık türü değildir. Başka bir ifade ile, diğer balıkların avlanması sırasında yakalanan bir balıktır. Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) 2023 yılı verilerine göre toplam deniz balıklarının avcılık miktarı 421 .000 ton gerçekleşmiştir. Bu miktar içerisinde İsparoz balığı avcılık miktarı ise 64,5 ton olarak bildirilmektedir (TÜİK, 2024). Bunun yanında yine su ürünleri avcılığını düzenleyen ve her yıl yayınlanan sirkülerde de İsparoz balığı ile ilgili herhangi bir avcılık (boy, ağırlık, zaman vb.) kısıtlaması bulunmamaktadır. Amatör olta avcılığının mevsimsel favori balıkları arasındadır.

Teşekkür

Kitap bölümünün yazımında kullanılan resimlerin sağlanmasıda katkı sunan sayın Prof. Dr. Süleyman zdemir'e teşekkür ederim.

Kaynakça

Acarlı, D., Kara, A. & Bayhan, B. (2014). Length- weight Relations for 29 Fish Species From Homa Lagoon, Aegean Sea, Turkey. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 44, 249-257.

Akalın, S. (1996). İzmir Körfezi'nde İsparoz Balığının (*Diplodus annularis* L., 1758) Besleme Rejimi Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akyol, O., Kınacıgil, H. T. & Şevik, R. (2007). Longline fishery and Length- Weight Relationships for selected fish species in Gökova Bay (Aegean Sea, Turkey). *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 1, 1-4.

Altın, A., Ayyıldız, H., Kale, S. & Alver, C. (2015). LengthWeight Relationships of 49 Fish Species From Shallow Waters of Gökçeada Island, Northern Aegean Sea. *Turkish Journal of Zoology*, 39, 1-5.

Aral, O. (1995). Some population and Reproduction Characteristic of Spottail (*Diplodus annularis* L,1758) In Bay of Sinop. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Dergisi*, 6(1), 192-201

Akşiray, F. (1954). *Türkiye Deniz Balıkları Tayin Anahtarı*. İ.Ü. Fen Fakültesi Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsü Yayınları. Sayı. 1

Bilge, G., Yapıcı, S., Filiz, H. & Cerim, H. (2014). Weight-Length Relations for 103 Fish Species From the Southern Aegean Sea.Turkey. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 44, 263-269.

Cengiz, Ö. (2013). Length_weight Relationships of 22 Fish species From the Gallipoli Peninsula and Dardanelles (northeastern Mediterranean Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 37, 419-422.

Cengiz, Ö., Kızılkaya, B. & Paruğ, Ş.Ş. (2019). Türkiye Suları İçin İsparoz Balığının (*Diplodus annularis* L,1758) Büyüme Özellikleri. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(5), 817-822

Çakır, D.T., Koç, H. T. & Başusta, N. (2008). Lenght-Weight Relationships of 24 Fish Species From Edremit Bay Aegean Sea. *E-Journal of New World Sciences Academy Natural and Applied Sciences* ,3(1), 47-51

Çiçek, E., Avşar, D., Yeldan, H. & Özütok, M. (2006). Lenght-Weight Relationship for 31 Teleost Fishes Caught by Bottom Trawl Net in the Babadillimanı Bight (northeastern Mediterranean). *Journal of Applied Ichthyology*, 22, 290-292.

Demirel, N. & Dalkara, M. E. (2012). Weight-Length Relationships of 28 Fish Species in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Zoology*, 36, 785-791.

Erkoyuncu İ, 1995. *Balıkçılık Biyolojisi ve Populasyon Dinamiği*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sinop Su Ürünleri Fakültesi Yayın No:95.

Gökçe, G., Aydın, İ. & Metin, C. (2007). Lenght-Weight Relationship of 7 Fish Species from the North Aegean Sea, Turkey. *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 1, 51-52

Gökçe, G., Mustafa, C. & Filiz, H. (2010). Lenght-Weight Relationship of Marine Fishes off Yumurtalık Coast (İskenderun Bay), Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 34, 101-104.

Gürkan, Ş., Bayhan, B., Akçınar, S.C. & Taşkavak, E. (2010). Lenght-Weight Relationship of Fish From Shallow Waters of Çandarlı Bay (North Aegean Sea,Turkey). *Pakistan Journal of Zoology*, 42, 495-498.

İlkyaz, A. T., Metin, G., Soykan, O. & Kınacıgil, H.T. (2008). Lenght-Weight Relationship of 62 Fish Species from the Central Aegean Sea, Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 24, 699-702.

İşmen, A., Özen, O., Altınağaç, U., Özekinci, U. & Ayaz, A. (2007). Weight- Length Relationships of 63 Fish Species in Saros Bay Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 23, 707-708

Kara, A., Sağlam, C., Acarlı, D. & Cengiz, Ö. (2017). Length- Weight Relationships for 48 Fish Species Of the Gediz Estuary, in Bay (Central Aegean Sea,Turkey). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-6.

Karakulak, F. S., Erk, H. & Bilgin, B. (2006). Length-Weight Relationships for 47 Coastal Fish Species From the Northern Aegean Sea Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 22, 274-278

Kinacigil, H. T. & Akyol, O. (2001). Effects on trawl selectivity of growth and reproduction in *Diplodus annularis* L. of İzmir Bay (Aegean Sea). *Archive of Fishery and Marine Research*, 49(1), 19-26.

Mater, S. (1968). İzmir Körfezinde *Diplodus annularis* L., 1758 (İsparoz) Populasyonu Üzerine Araştırmalar. Ege Üniv. Fen Fakültesi İlmi Raporlar Serisi No:50.

Mater, S. (1974). İzmir Körfezi ve Civarı Sparidae Populasyonları Üzerine Biyolojik ve Ekolojik Çalışmalar. Ege Üniversitesi İlmi Raporlar Serisi No:201.

Mater, S. (1976). İzmir Körfezi ve civarı “Sparidae” populasyonları üzerine biyolojik ve Ekolojik araştırmalar. Ege Üniversitesi İlmi Raporlar Serisi, No:201, 132, 1-53.

Mater, S., Kaya, M. & Bilecenoğlu, M. (2002). *Türkiye Deniz Balıkları Atlası*. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:68 Yardımcı Ders Kitapları Dizini No:11

Metin, G. & Akyol, O. (2003). İzmir Körfezi’nde (Ege Denizi) İsparoz (*Diplodus annularis* L., 1758)’un bir defada bıraktığı yumurta miktarının belirlenmesi üzerine bir ön çalışma. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 20(1-2), 205-209.

Sangun, L., Akamca, E. & Akar, M. (2007). Weight- Length Relationships for 39 Fish Species from the North-Eastern Mediterranean Coast of Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 7, 37-40

Slastenenko, E. (1955-56). *Karadeniz Havzası Balıkları (The Fishes of the Black Sea Basin)*. (Çev. Hanif Altan), Et ve Balık Kurumu Yayınları. İstanbul.

Özaydın, O. & Taşkavak, E (2006). Length-Weight Relationship for 47 Fish Species From İzmir Bay (Eastern Aegean Sea ,Turkey). *Acta Adriatica*, 47, 211-216

Özaydın, O., Uçkun, D., Akalın, S., Leblebici, S. & Tosunoğlu Z (2007). Length -Weight Relationships of Fishes Captured from İzmir Bay, Central Aegean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 23, 695-696.

Tosunoğlu, Z., Akyol, O., Metin, G., Tokaç, A. & Ünsal, S. (1997). Gülbahçe Körfezindeki üç Sparid Türünün Populasyon Özelliklerinin Araştırılması. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14(1-2), 127-143.

TÜİK 2024.Türkiye İstatistik Kurumu. Su Ürünleri İstatistikleri, 2024. Data.tuik.gov.tr/Bulten/index=Su Ürünleri 2024-54193. TÜİK Kurumsal.

Ünsal, N. (1984). Determination of the sparids (Sparidae) of the Sea of Marmara and Researches on the biology of two Dominant species, Pandora (*Pagellus erythrinus*) and annular bream (*Diplodus annularis*). *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası*, Seri B,49:99-118

BÖLÜM 10

KİRLİ SULAMA SULARININ ETKİLERİ

BANU KUTLU¹

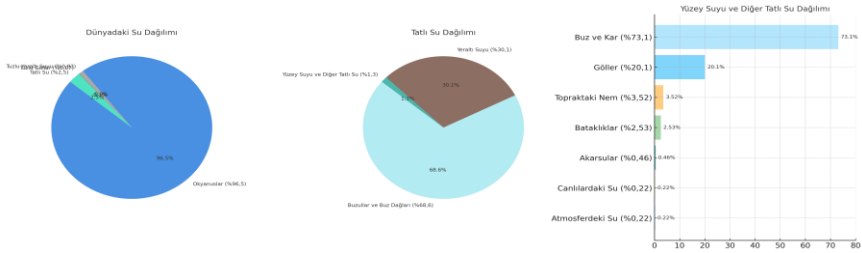
Giriş

Yeryüzünün yaklaşık dörtte üçü suyla kaplıdır ve su, yaşamın en temel bileşenlerinden biridir. Canlıların yapı taşı olan hücrelerin hayati işlevlerini sürdürebilmesi açısından su büyük bir önem taşırken, aynı zamanda ekosistemlerin düzeni ve canlılar için yaşam alanlarının oluşumu bakımından da kritik bir rol üstlenir. Okyanuslar, denizler ve karasal ekosistemlerde bulunan akarsular, göller, göletler, sulak alanlar ve bataklıklar gibi çeşitli su kütleleri, ekolojik açıdan oldukça değerli habitatlar sağlar. Bunun yanı sıra, teknolojik ilerlemelerin etkisiyle su kaynakları; içme ve kullanma suyu temini, enerji üretimi, tarım faaliyetleri ve sanayi gibi pek çok alanda önemli bir kaynak hâline gelmiş ve ülkelerin ekonomik kalkınmaları açısından stratejik bir unsur olmuştur. Özellikle tarımsal üretimde temel girdilerden biri olan su, dünya genelinde sulanan tarım alanlarının genişlemesiyle birlikte daha da kritik hâle gelmektedir. Ancak sanayileşmenin hızlanması, nüfusun artması ve iklim değişikliği gibi etkenler, su kaynakları üzerinde hem niceliksel hem de niteliksel ciddi baskılar yaratmaktadır. Bu doğrultuda, su

¹ Prof. Dr., Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Orcid: 0000-0001-6348-2754

kıtlığı yaşayan bölgelerde atık suların sulama amacıyla kullanılması çoğu zaman kaçınılmaz olmakta; ancak bu durum, toprak sağlığı ve bitki verimi üzerinde önemli riskler doğurmaktadır.

Dünya üzerindeki toplam yeraltı ve yüzey suyu hacminin yaklaşık 1,4 milyar kilometreküp olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktarın çok büyük bir kısmını, yani yaklaşık %97,5'ini denizler ve okyanuslardaki tuzlu sular oluşturmaktadır. Geriye kalan %2,5'lik bölüm ise tatlı sudan ibarettir. Ancak bu tatlı suyun da büyük çoğunluğu, insanların doğrudan kullanımına uygun değildir. Çünkü tatlı su rezervlerinin yaklaşık %68,6'sı buzulların içinde hapsolmuş durumdadır, %30,1'i yeraltı suyu şeklinde bulunur ve %0,9'luk kısmı da kutuplarda sürekli don halinde kalan permafrost tabakasını oluşturur. Doğrudan erişilebilen tatlı su miktarı ise oldukça sınırlıdır; toplam tatlı suyun yalnızca %0,3'ü yüzey sularında ve atmosferde yer alır. Bu küçük oranın büyük bölümü tatlı su göllerinde (%87) depolanırken, %2'si akarsularda bulunmaktadır. Kalan kısım ise atmosferde, toprak nemi olarak ya da sulak alanlar ile canlı dokularında saklanmaktadır. Dolayısıyla, insan kullanımına elverişli su miktarı dünya toplam su varlığının son derece küçük bir bölümünü oluşturur ve bu kaynak da sürekli olarak yağış, akış ve buharlaşma gibi doğal döngülere tabidir (Şekil 1).



Resim 1 Dünyadaki su kaynaklarının dağılımı

Kaynak :USGS'ten uyarlanmıştır

Hızla artan dünya nüfusu, kentleşmenin yaygınlaşması ve yaşam standartlarının yükselmesi, küresel ölçekte su talebini sürekli olarak artırmaktadır. Sanayi Devrimi'nin başladığı 18. yüzyılın son çeyreğinde dünya nüfusu yaklaşık 1 milyar civarındayken, bu sayı 1950 yılında 2,5 milyara, 2000'li yılların başında ise 6 milyarın üzerine çıkmıştır. Birleşmiş Milletler Nüfus Bölümü'nün (UN DESA, 2022) yayımladığı en güncel raporlara göre, dünya nüfusu 2022 itibarıyla 8 milyarı aşmış olup, 2050 yılına kadar 9,7 milyara ulaşması beklenmektedir. Artan nüfusun beslenme, enerji ve diğer ihtiyaçlarını karşılamak için, geleneksel tarım yöntemleri birçok bölgede yetersiz kalmakta ve bu nedenle modern, yüksek verim odaklı tarımsal üretim sistemleri yaygınlaşmaktadır. Bu modern tarım uygulamaları, daha fazla su tüketimi ve artan miktarda kimyasal girdi kullanımı (ör. gübreler, pestisitler) gerektirmektedir (FAO, 2022). Tarım sektörü, dünya genelinde toplam tatlı su tüketiminin yaklaşık %70'ini oluşturmaktadır. Sanayi sektörü %20, evsel kullanım ise %10'luk bir pay almaktadır (FAO, 2022; UNESCO, 2020). Bunun yanı sıra, sanayileşmenin hızlanması ve kentleşmenin genişlemesi, doğal kaynakların yoğun şekilde tüketilmesine ve üretilen atık su miktarının önemli ölçüde artmasına neden olmaktadır. Özellikle iklim değişikliğinin etkileriyle birleşen bu süreçler, su kaynakları üzerinde hem miktar hem de kalite açısından artan bir baskı yaratmaktadır. Nitekim, FAO'nun 2022 raporuna göre, küresel düzeyde su talebinin 2050 yılına kadar %20 ila %30 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Bu artış, özellikle tarımsal sulama, enerji üretimi ve endüstriyel kullanım alanlarında su yönetiminin daha sürdürülebilir yöntemlerle yürütülmesini zorunlu kılmaktadır (FAO, 2022; UN Water, 2023).

İklim değişikliği, günümüzde hem su kaynaklarının miktarını hem de kalitesini doğrudan ve dolaylı yollarla tehdit eden başlıca çevresel sorunlardan biri olarak önemini sürdürmektedir. Sanayi Devrimi'nden itibaren hızla artan fosil yakıt kullanımı, orman alanlarının tahribi ve kentleşme süreçlerinin hız kazanması, atmosferde sera gazlarının birikmesine neden olmuş; bunun sonucunda sera etkisi kuvvetlenmiş ve 19. yüzyılın sonlarından bu yana küresel ortalama sıcaklık yaklaşık 0,74°C oranında yükselmiştir. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Panelinin

yayımladığı raporlar, bu değişimin özellikle doğal ekosistemler üzerindeki etkilerini net biçimde ortaya koymaktadır. Birçok bölgede yağış rejimlerinde yaşanan değişiklikler ve buzulların hızla erimesi, hidrolojik döngüyü etkileyerek su kaynaklarının miktarı ve kalitesinde önemli dalgalanmalara yol açmaktadır. İklim değişikliği, tatlı su kaynakları açısından önemli riskler barındırmakta ve sera gazlarının artan yoğunluğu, bu riskleri daha da büyötmektedir. Gelecek projeksiyonlarına göre, küresel ısınmanın sürmesiyle birlikte hem su sıkıntısı yaşayan nüfus oranı artacak hem de taşkınlardan etkilenen insan sayısında ciddi bir yükselme beklenmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği 21. yüzyılda kurak subtropikal bölgelerde yenilenebilir yüzey ve yeraltı su kaynaklarının belirgin şekilde azalmasına yol açacak ve bu azalma, farklı sektörler arasında su kaynakları üzerindeki rekabeti daha da kızıştıracaktır.

Günümüzde gerçekleştirilen pek çok araştırma, sulama sularında bulunan kirleticilerin toprakta birikerek, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, bitkilerde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal düzeyde çeşitli streslere ve olumsuz etkilere neden olmaktadır. Dolayısıyla, sulama suyu kalitesinin düzenli olarak izlenmesi, kirlenme kaynaklarının tespit edilmesi ve gerekli önleyici tedbirlerin uygulanması, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından büyük bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

Dünyada ve Türkiye’de Su Kullanımı: Su, dünya çapında içme-kullanma, tarımsal sulama, sanayi üretimi ve enerji elde etme gibi çeşitli sektörlerde hayati bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Nüfusun sürekli artması, sanayileşme hızının yükselmesi ve yaşam standartlarının gelişmesi, suya olan talebi sürekli artırmakta ve mevcut kaynaklar üzerindeki baskıyı daha da şiddetlendirmektedir. Küresel düzeyde mevcut tatlı su kaynaklarının yaklaşık %70’i tarımsal sulama, %20’si sanayi süreçleri ve %10’u ise evsel kullanım için tüketilmektedir. Özellikle iklim değişikliğinin yarattığı etkiler, suyun sürdürülebilir yönetimi ve verimli kullanımı konularını

günümüzün en önemli çevresel ve ekonomik meselelerinden biri hâline getirmiştir (Tablo 1).

Tablo 1 Dünyada Su Kullanımının Dağılımı

Kullanım Alanı	Oransal Pay (%)	Açıklama
Tarımsal Sulama	~70	En büyük su kullanıcısı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde baskın
Sanayi	~20	Soğutma, üretim süreçleri, enerji santralleri vb.
Evsel (İçme ve Kullanma)	~10	İçme, temizlik, şehir şebekesi kullanımları

Kaynak: FAO (2022); UNESCO (2020)

Dünya üzerindeki tatlı su kaynaklarının toplam miktarı oldukça büyük görünse de bu suyun insanların erişimine ve kullanımına uygun olan bölümü sınırlı kalmaktadır. Küresel ölçekte kişi başına düşen toplam tatlı su miktarının ortalama 22.770 m³ civarında olduğu bildirilmekle birlikte, bu değer coğrafi ve mevsimsel farklılıklar nedeniyle ülkeler ve bölgeler arasında eşit dağılmamaktadır. Özellikle suyun mekânsal ve zamansal düzensizliği, belirli bölgelerde su kıtlığı riskini ciddi boyutlara taşımaktadır. Dünya genelinde ortalama kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının ise yaklaşık 7.600 m³ olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, ülkelerin sosyoekonomik yapısı, teknolojik gelişmişlik düzeyi, iklim koşulları ve su yönetimi politikaları gibi faktörler, bu miktarın ülkeler arasında ve aynı ülkenin farklı bölgeleri arasında önemli ölçüde değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, suyun adil ve sürdürülebilir yönetimi, sadece toplam su varlığına değil, aynı

zamanda bölgesel dağılımın eşitsizliklerini gidermeye odaklanmak durumundadır (Tablo 2).

Tablo 2 Bölgesel Bazda Ortalama Su Kullanımı

Bölge	Tarım (%)	Sanayi (%)	Evsel (%)
Kuzey Amerika	37	48	15
Güney Amerika	71	11	18
Avrupa	33	54	13
Afrika	82	5	13
Asya	81	9	10
Okyanusya	52	30	18
Dünya Ortalaması	70	20	10

Kaynak: Oranlar yuvarlatılmış olup, ülkelerin gelişmişlik düzeyi, iklim koşulları ve ekonomik yapısına göre farklılık gösterebilmektedir.

Dünya genelinde ortalama yıllık yağış miktarı yaklaşık olarak 800 mm/m² düzeyindedir. Buna karşılık, yarı kurak iklim kuşağında bulunan Türkiye’de bu değer yıllık ortalama 643 mm/m² civarındadır. Bu yağış miktarı, Türkiye genelinde yıllık yaklaşık 501 milyar m³ suyun yeryüzüne düştüğünü göstermektedir. Ancak ülkemizin farklı coğrafi bölgeleri arasında belirgin iklimsel farklılıklar söz konusudur. Örneğin, bazı bölgelerde yıllık yağış 3.000 mm/m²’yi aşarken, özellikle kurak karakterli bölgelerde bu miktar 250 mm/m²’nin altına kadar gerileyebilmektedir.

Türkiye’de yılda gerçekleşen toplam yağış miktarının yaklaşık 158 milyar m³’ü, akarsular aracılığıyla göllere ve denizlere taşınmaktadır. Bunun yanı sıra, yaklaşık 274 milyar m³’lük bir kısım ise yüzey sularından ve bitki örtüsünden buharlaşma yoluyla atmosfere geri dönmektedir. Yağışlarla düşen suyun geriye kalan yaklaşık 69 milyar m³’ü ise yer altı suyu rezervlerine sızarak depolanmaktadır. Yer altına sızan bu suyun yaklaşık 28 milyar m³’ü, çeşitli kaynaklar vasıtasıyla yeniden yüzeysel su sistemlerine dahil

olmaktadır. Ayrıca, Meriç ve Asi gibi sınır aşan nehirler aracılığıyla, komşu ülkelerden Türkiye'ye her yıl ortalama 7 milyar m³ su girişinin olduğu hesaplanmaktadır. Türkiye'nin toplam yüzey suyu potansiyeli; yağışlardan oluşan yüzey akışı (158 milyar m³), yer altı sularından yeniden yüzeye çıkan kaynak suları (28 milyar m³) ve sınır ötesi nehirlerden gelen akımların (7 milyar m³) toplamından oluşmakta olup, brüt olarak yaklaşık 193 milyar m³ seviyesine ulaşmaktadır (Tablo 3).

Tablo 3 Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli (2023)

Kalem	Değer	Açıklama
Ortalama yıllık yağış	643 mm/yıl	Uzun dönemli ortalama
Yıllık yağış hacmi	501,0 milyar m ³	Türkiye yüzeyine düşen toplam yağış
İç su kaynakları	227,4 milyar m ³	Yenilenebilir iç akış miktarı
Dış ülkelere gelen akış	6,9 milyar m ³	Komşu ülkelere gelen su miktarı
Toplam yenilenebilir su potansiyeli	234,3 milyar m ³	İç ve dış kaynakların toplamı
Buharlaşma-terleme	274,0 milyar m ³	Yıllık buharlaşma ve terleme kaybı
Yeraltına sızma	41,0 milyar m ³	Yağışlardan yer altına geçen miktar
Yıllık yüzey akışı miktarı	186,0 milyar m ³	Akarsularla oluşan toplam yüzey akışı
Yıllık dış akış miktarı	178,0 milyar m ³	Sınır ötesi akışlar
Dış ülkelere giden miktar	64,0 milyar m ³	Akarsularla dış ülkelere taşınan su
Denizlere giden miktar	114,0 milyar m ³	Denizlere dökülen yüzey akışları
Yıllık kullanılabilir yüzey suyu miktarı	98,0 milyar m ³	Teknik ve ekonomik açıdan kullanılabilir

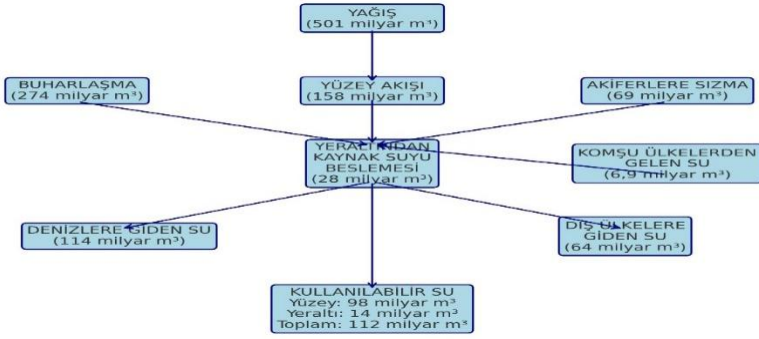
Yıllık çekilebilir yer altı suyu miktarı	14,0 milyar m ³	Teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir
Toplam kullanılabilir su miktarı (net)	112,0 milyar m ³	Yüzey + yer altı toplamı

Kaynak: Devlet Su İşleri (DSİ). (2023). *Türkiye su kaynakları istatistikleri*. DSİ Yayınları, Ankara

Türkiye'nin su varlıkları, yer altı ve yer üstü kaynaklarının birleşimiyle şekillenmektedir. Yapılan hidrolojik değerlendirmelere göre, ülke genelinde akiferlerde biriken yaklaşık 41 milyar m³ suyun da toplam potansiyele dâhil edilmesiyle, Türkiye'nin yenilenebilir brüt su kapasitesi yaklaşık 234 milyar m³'e ulaşmaktadır. Ancak, Devlet Su İşleri'nin (DSİ) 2023 yılına ait raporları, bu su potansiyelinin tamamının kullanılabilir olmadığını ve yalnızca yaklaşık 112 milyar m³'lük kısmının teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle nüfus artışı, iklim değişikliği kaynaklı su kaynakları üzerindeki belirsizlikler ve artan su talebi, önümüzdeki süreçte kişi başına düşen kullanılabilir su miktarını daha da düşürme riski taşımaktadır. Bu durum, Türkiye'yi su stresi yaşayan ülkeler kategorisine sokmaktadır. Ülkenin kendi nehirlerinden sağlanan yıllık yüzey suyu potansiyelinin yaklaşık 95 milyar m³ olduğu belirlenirken, sınır aşan sular yoluyla komşu ülkelerden gelen yıllık su miktarının ise ortalama 3 milyar m³ olduğu hesaplanmaktadır. Böylece, Türkiye'nin toplam kullanılabilir yüzey suyu potansiyeli yaklaşık 98 milyar m³ olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, yapılan araştırmalar Türkiye'de yer altından çekilebilecek su miktarının yılda yaklaşık 14 milyar m³ olduğunu göstermektedir. Tüm bu veriler ışığında, Türkiye'nin teknik ve ekonomik bakımdan kullanılabilir toplam su kapasitesi yıllık bazda yaklaşık 112 milyar m³ olarak ifade edilmektedir.

Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli, havzalar arasında belirgin farklılıklar göstermektedir. Devlet Su İşleri'nin 2023 yılı verilerine göre, ülkemizin toplam yenilenebilir su varlığı brüt olarak yaklaşık 234 milyar m³ düzeyinde hesaplanmıştır. Ancak bu miktarın yalnızca yaklaşık 112 milyar m³'ü, mevcut teknik imkânlar ve

ekonomik koşullar çerçevesinde etkin bir şekilde kullanılabilir durumdadır (Şekil 2).



Şekil 1 Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli (DSİ,2023)

Kaynak: SGS (2023). *Distribution of Earth's water resources*. U.S. Geological Survey.

Türkiye’de su kaynakları gerek tarımsal üretim gerekse sanayi ve şehirselle kullanım açısından stratejik bir rol üstlenmektedir. Ülkemizde mevcut su kaynaklarının büyük bir kısmı tarımsal sulama amaçlı olarak tüketilmektedir. Ancak, nüfus artışı, kentleşmenin hız kazanması ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri, Türkiye’nin su kaynaklarını hem miktar hem de kalite açısından ciddi şekilde zorlamaktadır. Bu nedenle, suyun etkin ve tasarruflu kullanılması, su kayıplarının önlenmesi ve modern sulama yöntemlerinin yaygınlaştırılması, ülkemizin su yönetimi açısından öncelikli konular arasında yer almaktadır.

Bir ülkenin su varlıkları açısından ne durumda olduğunu belirlemede kullanılan en önemli göstergelerden biri, kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarıdır. Bu değer, ülkelerin sahip oldukları yenilenebilir tatlı su rezervlerinin nüfusa bölünmesiyle hesaplanır ve su yönetimi politikalarının şekillendirilmesinde önemli bir kriter olarak kabul edilir. Uluslararası ölçekte kabul gören sınıflandırmalara göre; yılda kişi başına 10.000 m³’ten fazla su kaynağına sahip ülkeler su zengini sayılırken, 1.700 ile 10.000 m³

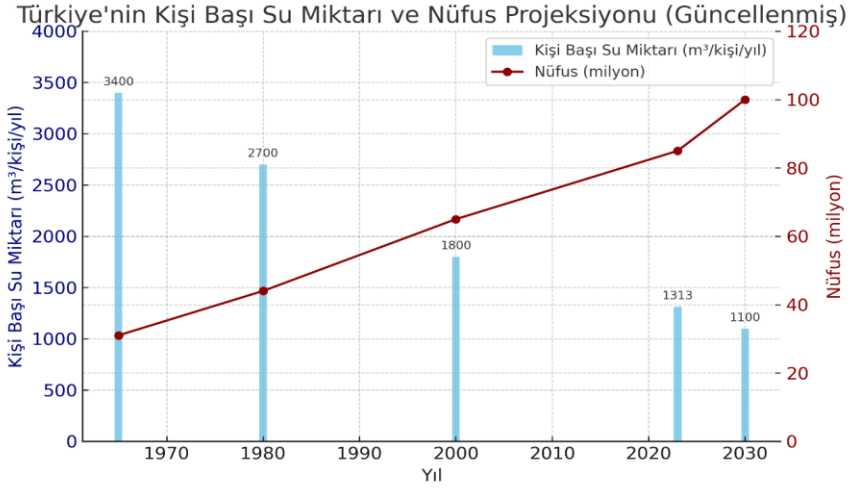
arasında su kaynağına sahip olanlar yeterli su varlığına sahip olarak değerlendirilir. Kişi başına düşen su miktarının 1.000 ila 1.700 m³ arasında olması, ülkenin ‘su stresi’ altında olduğunu gösterirken; bu miktarın 1.000 m³’ün altına inmesi ciddi su kıtlığı anlamına gelmektedir.

Türkiye’de geçmişte kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı yaklaşık 1.600 m³ olarak belirlenirken, zamanla nüfus artışı, kentleşmenin hız kazanması, iklim değişikliğinin etkileri ve suya olan talebin sürekli yükselmesi, bu değerın düşmesine neden olmuştur. Devlet Su İşleri (DSİ) ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan güncel verilere göre, 2023 yılı itibarıyla Türkiye’de kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı yaklaşık 1.313 m³ seviyesine inmiştir. Bu rakam, Türkiye’yi su stresi yaşayan ülkeler arasında konumlandırmaktadır. Öte yandan, Türkiye’de su kaynaklarının bölgesel dağılımında belirgin bir eşitsizlik söz konusudur. Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri hem yüksek nüfus yoğunluğu hem de sanayi ve tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu nedeniyle su stresi riskinin en belirgin hissedildiği alanlar olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, iklim değişikliğine bağlı olarak yağış düzeninin bozulması, kuraklık olaylarının daha sık yaşanması ve artan buharlaşma oranları, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını giderek güçleştirmektedir. Bu gelişmeler, Türkiye’nin su yönetiminde daha kapsamlı, bilimsel temellere dayanan ve sürdürülebilirlik odaklı bir yaklaşımı benimsemesini kaçınılmaz kılmaktadır. Kişi başına düşen su miktarındaki azalma, yalnızca tarım sektörünü değil, aynı zamanda sanayi, enerji üretimi ve içme suyu temini gibi birçok kritik sektörü de ciddi riskler altına sokmaktadır. Dolayısıyla, Türkiye’nin su kaynaklarını koruması ve daha verimli değerlendirebilmesi için modern sulama yöntemlerinin yaygınlaştırılması, su tasarrufu bilincinin toplum genelinde artırılması, atık suların geri kazanılması ve su kaynaklarının entegre bir yaklaşımla yönetilmesi gibi önlemlerin hızla hayata geçirilmesi gerekmektedir. (Şekil 3).

Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) son projeksiyonlarına göre, ülke nüfusunun 2030 yılına kadar yaklaşık 100 milyona ulaşması beklenmektedir. Bu öngörü, Türkiye’de su kaynakları

üzerindeki baskının ilerleyen yıllarda daha da artacağına işaret etmektedir. DSİ'nin yaptığı değerlendirmelere göre, mevcut su rezervleri ve mevcut tüketim trendleri dikkate alındığında, 2030 yılı itibarıyla kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarının yaklaşık 1.100 m³ düzeyine kadar inebileceği tahmin edilmektedir. Bu rakam, Türkiye'yi su stresi yaşayan ülkeler sınıfından, su kıtlığı sınırına daha da yaklaştırmaktadır. Özellikle sanayileşmenin, kentleşmenin ve tarımsal sulama taleplerinin artışı suya olan ihtiyacı daha da yükseltirken, iklim değişikliği yağış rejimlerinde ve su kaynaklarının yenilenme hızında olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Son yıllarda yapılan çeşitli araştırmalar ve yayımlanan uluslararası raporlar, Türkiye'nin önümüzdeki on yıllarda su yönetimi açısından ciddi zorluklarla karşılaşabileceğine işaret etmektedir. Özellikle iklim değişikliğinin etkileri, bölgesel yağış düzenlerindeki düzensizlikler ve artan buharlaşma oranları, ülkenin su kaynakları üzerinde belirgin bir baskı yaratmaktadır. Bununla birlikte, Marmara, Ege, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde hem nüfus yoğunluğunun hem de endüstriyel üretim faaliyetlerinin artması, su talebini daha da yükseltmekte ve mevcut kaynakların sürdürülebilir yönetimini güçleştirmektedir. Avrupa Birliği ve uluslararası kuruluşlar tarafından yayımlanan son analizler, Türkiye'nin su arzı ile talebi arasında giderek büyüyen bir dengesizlik riski taşıdığını ve özellikle ekonomik kalkınmanın sürdürülebilirliği açısından su kıtlığının stratejik bir tehdit unsuru hâline gelebileceğini vurgulamaktadır. Tüm bu veriler doğrultusunda, Türkiye'nin su kaynaklarını sürdürülebilir biçimde yönetebilmesi için su tasarrufu sağlayan yeni teknolojilerin benimsenmesi, atık suların yeniden kullanımının artırılması ve su kaynaklarının bütüncül bir anlayışla yönetilmesi zorunluluk hâlini almıştır.



Şekil 2 Türkiye'nin Kişi Başı Su Miktarı

Kaynak: DSİ (2023). Türkiye su potansiyeli haritası

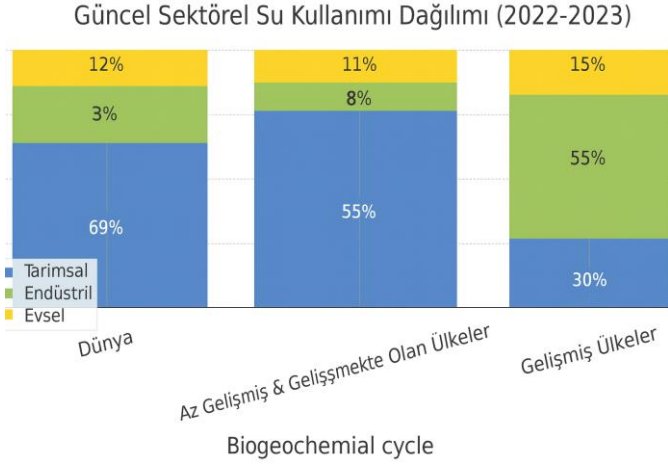
3.Tarım ve Su Kaynakları

Tarım sektörü, dünya çapında en fazla su tüketen alan olarak öne çıkmaktadır. Küresel ölçekte tatlı su kullanımının yaklaşık %70'i tarımsal sulamaya ayrılmaktadır. Endüstriyel faaliyetler bu kullanımın %19-22'sini oluştururken, içme ve evsel kullanım amaçlı tüketim ise %8-11 aralığında değişmektedir (FAO AQUASTAT, 2022). Ancak bu oranlar, ülkelerin gelişmişlik düzeyi, iklimsel koşulları ve ekonomik yapılarına göre önemli farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Avrupa genelinde sektörel su kullanımı dağılımı, dünya ortalamasından farklı bir tablo çizmektedir. Avrupa'da toplam tatlı su tüketiminin yaklaşık %33'ü tarımsal sulamaya, %51'i sanayi sektörüne ve %16'sı içme ve evsel kullanım ihtiyaçlarına yönelmektedir (Eurostat, 2022). Gelişmiş ülkelerde sanayi ve evsel su kullanımı daha yüksek oranlara ulaşırken, gelişmekte olan ülkelerde tarımsal su tüketimi toplam su kullanımının çok daha büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu farklılıklar, su yönetimi stratejilerinin ve politikalarının ülkeden

ülkeye değişmesini zorunlu kılmaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde kullanılması için, sektör bazında verimliliğin artırılması ve modern sulama teknolojilerinin yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır. 2000 yılı itibarıyla tarım sektörünün toplam tatlı su tüketimi, dünya genelinde bölgesel farklılıklar göstermekteydi. Günümüzde de bu farklılıklar devam etmektedir. Dünya üzerindeki işlenebilir tarım arazilerinin toplam büyüklüğü yaklaşık 3,2 milyar hektar olarak hesaplanmaktadır (FAO, 2022).

20. yüzyıl süresince dünya nüfusu önemli bir yükseliş sergilemiş; 1900’lü yılların başında yaklaşık 1,5 milyar olan küresel nüfus, 2000 yılına gelindiğinde 6 milyarı aşmıştır. 2022 itibarıyla ise dünya nüfusu 8 milyar barajını geride bırakmıştır. Nüfustaki bu hızlı artış, kişi başına düşen tarım arazisi miktarında dikkate değer bir azalmaya yol açmıştır. Güncel veriler, gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen tarım arazisi oranının yaklaşık %14 azaldığını, gelişmekte olan ülkelerde ise bu düşüşün %40 seviyelerine ulaştığını göstermektedir. FAO’nun raporlarına göre, dünyada kişi başına düşen tarım arazisi büyüklüğü 2020 yılında ortalama 0,19 hektara gerilemiş olup, bu değerin 2050 yılına kadar 0,15 hektara kadar düşeceği öngörülmektedir. Buna karşılık, küresel ölçekte sulanan tarım arazilerinin yüzölçümü zaman içerisinde artış göstermiştir. 1995 yılında dünya genelinde sulanan tarım arazileri 253 milyon hektar iken, 2010 yılına gelindiğinde bu alan yaklaşık 290 milyon hektara ulaşmıştır. FAO’nun projeksiyonlarına göre, 2025 yılı itibarıyla sulanan tarım alanlarının küresel toplamı yaklaşık 330 milyon hektara çıkacak; güncel tahminler ise 2030 yılında bu rakamın 350 milyon hektara yaklaşabileceğini işaret etmektedir. Artan nüfusun gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla tarımsal faaliyetlerdeki genişleme, dünya genelindeki su tüketimini de önemli ölçüde artırmıştır. Son yüzyılda, tarımsal su kullanımı dünya çapında yaklaşık 5 ila 6 kat yükselmiştir. FAO’nun 2022 verilerine göre, tarımsal su talebinin 2025 yılına kadar yılda 3.189 km³

seviyelerine çıkması, küresel toplam net su tüketiminin ise %20 civarında artarak yılda yaklaşık 2.152 km³'e ulaşması beklenmektedir. Bu gelişmeler, dünya su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle tarımsal sulamada modern tekniklerin yaygınlaştırılması ve su kullanım verimliliğini artırmaya yönelik politikaların uygulanması, bu sürecin başarıyla yönetilmesi için kaçınılmaz görülmektedir.



Şekil 3 Dünyada sektörlere göre su kullanımı

Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023). *Su kaynakları ve nüfus istatistikleri*. TÜİK Yayınları.

Şekil 4'te de görüldüğü üzere, küresel su kaynaklarının yaklaşık %70'i tarımsal faaliyetlerde kullanılmaktadır. Tarımın toplam su tüketimindeki bu yüksek payı, su kıtlığının yalnızca bir su sorunu olmakla kalmayıp, aynı zamanda küresel ölçekte gıda güvenliğini de ciddi biçimde tehdit ettiğini göstermektedir. Günümüzde su kaynakları kısıtlı olan pek çok küçük ülke, temel gıda ürünleri ihtiyacını karşılamak için büyük miktarlarda tahıl ithal etmek zorunda kalmaktadır. Üstelik, mevcut eğilimler ışığında, Çin ve Hindistan gibi nüfusu yüksek ülkelerin de yakın gelecekte benzer

su kıtlığı sorunlarıyla karşı karşıya kalması muhtemel görünmektedir (Kretschmer ve ark., 2006).

Son dönemlerde Türkiye’de sanayi alanında önemli ilerlemeler kaydedilmesine rağmen, ülkemiz uzun yıllar boyunca tarım ülkesi kimliğiyle öne çıkmıştır. Türkiye’nin toplam kullanılabilir su potansiyeli 112 milyar m³ olarak belirlenmiş olmakla birlikte, bu miktarın yalnızca 46 milyar m³’lük bölümü, yani yaklaşık %41’i fiilen değerlendirilebilmektedir. Kullanılabilir suyun sektörel dağılımı incelendiğinde, en büyük payın tarımsal sulamaya tahsis edildiği dikkat çekmektedir. Yararlanan toplam su miktarının yaklaşık 34 milyar m³’ü (%74) tarımsal sulama faaliyetlerinde kullanılmakta, 7 milyar m³’ü (%15) içme ve kullanma amacıyla ayrılmakta, 5 milyar m³’lük kısmı ise (%11) sanayi sektöründe tüketilmektedir. Türkiye’de sektörel su kullanımına dair yıllara göre gelişmeler ve 2023 yılına ilişkin veriler, Tablo 4’te detaylı biçimde sunulmaktadır.

Tablo 4 Türkiye’de Sektörlere Göre Su Tüketim Miktarları
(Güncellenmiş, DSİ 2023)

Yıl	Toplam Kullanılan Su (milyon m ³)	Sulama (milyon m ³)	Pay (%)	İçme ve Kullanma (milyon m ³)	Pay (%)	Sanayi (milyon m ³) / Pay (%)
1990	30.600	22.016	72 %	5.141	17 %	3.443 / 11 %
2000	39.300	29.300	75 %	5.800	15 %	4.200 / 10 %
2008	46.000	34.000	74 %	7.000	15 %	5.000 / 11 %
2023	46.000	29.440	64 %	7.360	16 %	9.200 / 20 %

Kaynak: Devlet Su İşleri (DSİ). (2023). *Sektörel su kullanım istatistikler*

DSİ verilerine göre, Türkiye’de su kullanımı yıllar içinde önemli ölçüde artmış, sektörler arası dağılımda da değişiklikler yaşanmıştır. 1990’larda toplam su tüketimi 30,6 milyar m³ seviyesindeyken, bu miktar 2023 yılı itibarıyla 46 milyar m³’e ulaşmıştır. Günümüzde sulama sektörü hâlâ en fazla su tüketen sektör olmakla birlikte, toplam kullanım içindeki payı azalarak %64’e düşmüştür. Buna karşılık, sanayi sektörünün payı %20’ye yükselmiş, içme ve kullanma suyu ise %16 seviyelerine ulaşmıştır. Bu değişim, Türkiye’de sanayileşme ve kentleşme süreçlerinin su tüketim yapısını önemli ölçüde dönüştürdüğünü göstermektedir. Ayrıca, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri, sürdürülebilir su yönetimi ihtiyacını daha da artırmaktadır.

Ülkemizin toplam 95 milyar m³ düzeyindeki yüzey suyu potansiyelinden günümüzde yalnızca yaklaşık 27,5 milyar m³, yani yaklaşık %29’u etkin bir şekilde kullanılabilmektedir. Kullanılabilen bu yüzey suyunun büyük bölümü, yaklaşık 20,9 milyar m³ ile (%76) tarımsal sulama faaliyetlerine tahsis edilmektedir. Kalan kısmın 3,85 milyar m³’ü (%14) içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamakta, 2,75 milyar m³’ü (%10) ise sanayi sektöründe değerlendirilmektedir. Bu rakamlar, Türkiye’de yüzey sularının büyük ölçüde tarım sektörüne ayrıldığını, diğer sektörlerin ise nispeten daha sınırlı bir pay aldığını ortaya koymaktadır.

Türkiye’nin yüzölçümü toplamda 78 milyon hektar olup, bunun yaklaşık 28 milyon hektarı tarımsal üretime uygun ekilebilir alanlardan oluşmaktadır. Ülke genelinde toprakların yaklaşık 25,8 milyon hektarlık bölümü ise sulamaya uygun potansiyele sahiptir. Türkiye’de modern sulama sistemlerinin geliştirilmesi süreci, 1950’li yıllarda Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Toprak-Su Genel Müdürlüğü gibi kurumların kuruluşuyla ivme kazanmıştır. Özellikle 1970’li yıllardan sonra, ekilebilir alanların sınırına

ulaşılmasıyla birlikte, tarımsal üretimdeki artışın ancak geniş çaplı ve modern sulama projelerinin uygulanmasıyla mümkün olabileceği netlik kazanmıştır.

Ekonomik olarak sulamaya uygun kabul edilen 8,5 milyon hektarlık tarım alanının, 2023 yılına kadar tamamen sulamaya kazandırılması amaçlanmıştır. Ancak 2008 yılına gelindiğinde, bu potansiyel alanın yaklaşık 5,28 milyon hektarlık bölümü sulanabilir duruma getirilmiştir. Bu sulama alanlarının %58'i Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından, %23'ü ise eski Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından hizmete açılmıştır. Kalan %19'luk, yani yaklaşık bir milyon hektarlık kısmında ise sulama faaliyetleri çiftçiler tarafından yürütölmektedir.

Yağışlı iklim bölgelerinde toprakta mevcut olan doğal tuz mineralleri, yağmur sularının etkisiyle akarsulara ve yer altı su sistemlerine taşınarak eninde sonunda göl ve denizlere ulaşır. Bu nedenle, bu tip bölgelerde toprakta tuz birikimi genellikle ciddi bir sorun oluşturmaz. Buna karşın, sıcak ve kurak iklim koşullarının egemen olduğu, düşük yağış alan bölgelerde, tarımsal üretimi artırmak ve verimi yükseltmek amacıyla yapılan düzensiz sulama uygulamaları, sulama sularındaki doğal tuzların toprakta birikmesine yol açmaktadır.

Bu bölgelerde aşırı sulama, yer altı su seviyesini yükselterek, toprak profili ve taban suyunda bulunan tuzların kapiler hareketle yüzeye taşınmasına ortam hazırlar. Sıcak iklim koşullarında yüzeye çıkan bu sular hızla buharlaşarak içerdikleri tuzları toprak yüzeyine bırakmakta, böylece tuzlanma sorununu ortaya çıkarmaktadır. Toprak yüzeyinde biriken bu tuz tabakası, tarımsal faaliyetleri kısıtlamakta, bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz etkileyerek ürün veriminde ciddi düşüşlere yol açmaktadır.

Türkiye'de tuz, sodyum ve bor içeriği yüksek topraklar, özellikle İç Anadolu Bölgesi ağırlıklı olmak üzere yaklaşık 1,6

milyon hektarlık bir alana yayılmış durumdadır. Ülkemizin batı ve güney kesimlerinde ise yoğun sulama uygulamaları, toprak yapısını olumsuz etkilemiş; bu süreçte topraklarda tuzluluk oranı artmış, zararlı organizmalar ve bitki hastalıklarının görülme sıklığı yükselmiş ve buna bağlı olarak tarımsal verimlilikte azalmalar meydana gelmiştir. Çukurova, Gediz, Söke ve Amik Ovaları, bu problemlerin en belirgin biçimde yaşandığı bölgeler olarak dikkat çekmektedir.

Dünya genelinde erozyon nedeniyle yılda yaklaşık 24 milyar ton toprak kaybı yaşanmakta olup, Türkiye’de de her yıl yaklaşık 500 milyon ton verimli toprak erozyonla taşınmakta, bununla birlikte yaklaşık 9 milyon ton bitki besin elementi de kaybedilmektedir. Erozyon kaynaklı yüzey akışları, taşınan toprak materyali ile bitki besin maddeleri, gübreler ve tarım ilaçlarını da su kaynaklarına ulaştırmakta ve bu durum, su kirliliği sorununu daha da derinleştirmektedir (Atalık, 2006). Öte yandan, küresel iklim değişikliğinin tarım sektörü üzerindeki ve gelecekteki muhtemel etkileri, çeşitli çalışmalar ve yayımlanan raporlar sayesinde birçok kez gündeme getirilmiştir. IPCC’nin en güncel raporları, farklı bölgeleri ve çok sayıda tarımsal ürünü kapsayan geniş kapsamlı araştırmalar ışığında, iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkilerinin, olumlu etkilerden daha ağır bastığını ortaya koymaktadır. Bu olumsuzlukların önemli bir bölümü doğrudan veya dolaylı olarak su kaynaklarının durumuyla bağlantılıdır. Özellikle orta enlemlerde ve ekvatora yakın yarı kurak kuşaklarda iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki başlıca etkilerinin, su miktarında azalma ve kuraklık olaylarının daha sık yaşanması biçiminde ortaya çıkması beklenmektedir.

4. Sulama Suyunda Kirlilik Kaynakları

Sulama suyunda kirlilik, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Sulama sularına karışan

kirleticiler hem doğal süreçlerden hem de insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Endüstriyel tesislerden ve yerleşim alanlarından deşarj edilen atık sular, tarımsal arazilerde kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitler, sulama suyunda ağır metaller, besin elementleri fazlalığı, toksik organik bileşikler ve patojen mikroorganizmalar gibi çeşitli kirleticilerin birikmesine neden olmaktadır. Ayrıca, maden işletmeciliği, hayvancılık faaliyetleri ve şehirleşme süreçleri de su kalitesini olumsuz etkileyen diğer önemli etkenler arasında yer almaktadır. Bu kirleticiler, sulama suyuyla birlikte topraklara taşınarak toprak yapısında bozulmalara, bitki gelişiminde streslere ve nihayetinde ürün veriminde düşüşlere yol açabilmektedir. Dolayısıyla, sulama sularının düzenli olarak izlenmesi, kirlilik kaynaklarının belirlenmesi ve kontrol altına alınması hem çevre sağlığı hem de tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından büyük önem arz etmektedir. Endüstriyel faaliyetler, sulama suları ve toprak ekosistemleri üzerinde ciddi kirlenme baskısı oluşturan önemli antropojenik kaynaklar arasında yer almaktadır. Özellikle madencilik, metal işleme, kimya, tekstil, gıda işleme ve enerji üretimi gibi sektörlerden kaynaklanan atık sular; ağır metaller (ör. kurşun, kadmiyum, civa, arsenik), organik kirleticiler (ör. fenoller, pestisit türevleri), nutrient fazlalıkları ve çeşitli toksik bileşikler içerebilmektedir (Alloway, 2013; Kabata-Pendias, 2011). Bu kirleticiler sulama sularına karışarak hem toprak yapısında hem de bitki metabolizmasında olumsuz etkilere yol açmakta ve gıda zincirine taşınabilmektedir. Özellikle ağır metallerin toprakta birikimi, bitki kökleri tarafından alınarak bitkisel ürünlere geçişine zemin hazırlamakta ve insan sağlığı açısından ciddi riskler doğurmaktadır (McLaughlin ve ark., 2000; Wuana ve Okieimen, 2011). Bunun yanı sıra, endüstriyel atık suların içerdiği yüksek tuzluluk ve bazı toksik iyonlar, toprakların fiziksel özelliklerini bozarak geçirgenlik ve su tutma kapasitesi gibi önemli parametreleri olumsuz yönde etkilemektedir (Rengel, 2011). Literatürde pek çok çalışma, endüstriyel kökenli kirleticilerin hem

tarımsal üretimi sınırlandırdığı hem de ekosistem sağlığını tehdit ettiği konusunda ortak görüş bildirmektedir (Nagajyoti ve ark., 2010; Sharma ve Agrawal, 2005). Bu nedenle, endüstriyel atık suların arıtılmadan sulama amaçlı kullanımı, sürdürülebilir tarım açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır.

Su kaynaklarının kalitesi, yalnızca doğal süreçler değil, aynı zamanda insan faaliyetlerinden kaynaklanan evsel atıksular nedeniyle de ciddi biçimde etkilenmektedir. Özellikle hızlı nüfus artışı, kentleşme ve yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte, evsel kaynaklı atıksuların miktarı ve içerdiği kirleticilerde artış gözlenmektedir (UNESCO, 2020). Evsel atıksular; organik madde, besin elementleri (azot ve fosfor bileşikleri), deterjanlar, patojen mikroorganizmalar ve çeşitli kimyasal kirleticiler gibi bileşenler içermekte ve bu kirleticiler arıtılmadan alıcı su ortamlarına deşarj edildiğinde, yüzey ve yer altı su kalitesini olumsuz etkilemektedir (Tchobanoglous ve ark., 2003; Metcalf ve Eddy, 2014). Nitrat ve fosfat gibi besin elementlerinin fazla miktarda su kaynaklarına taşınması, ötrofikasyon riskini artırarak, sudaki çözünmüş oksijen seviyesini düşürmekte ve su ekosistemlerinde biyolojik çeşitliliği tehdit etmektedir (Smith ve Schindler, 2009). Ayrıca, evsel atıksuların içerdiği patojenler, özellikle içme suyu temininde halk sağlığı açısından ciddi riskler oluşturabilmektedir (WHO, 2017). Bu nedenle, evsel atıksuların çevreye bırakılmadan önce uygun arıtma süreçlerinden geçirilmesi hem ekosistem sağlığının korunması hem de sürdürülebilir su yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Evsel atıksular, organik madde yükü, besin elementleri (N, P, K), deterjan kalıntıları ve mikrobiyolojik kirleticiler açısından zengindir. Özellikle arıtılmadan sulamada kullanılması, toprakta patojen birikimi ve tuzluluk riskini artırabilir. Tarımsal faaliyetler, su kaynakları üzerinde önemli kirlenme baskısı yaratan başlıca insan etkinlikleri arasında yer almaktadır. Özellikle kimyasal gübreler, pestisitler ve hayvansal atıklar, yüzeysel ve yer altı sularına taşınarak

besin elementleri, organik kirleticiler ve toksik bileşikler açısından ciddi bir kirlilik yükü oluşturmaktadır (Carpenter ve ark., 1998; FAO, 2021). Azot ve fosfor gibi besin elementlerinin aşırı kullanımı, sucul ekosistemlerde ötrofikasyon riskini artırmakta ve sudaki çözülmüş oksijen miktarını düşürerek su ekosistemlerinde biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açmaktadır (Smith ve Schindler, 2009). Ayrıca pestisit kalıntılarının sulama sularına karışması hem su canlıları hem de insan sağlığı açısından toksik etkiler yaratabilmektedir (Aktar ve ark., 2009). Hayvancılıktan kaynaklanan organik atıklar ve patojen mikroorganizmalar ise, özellikle içme suyu temininde halk sağlığını tehdit eden önemli bir kirletici unsurdur (WHO, 2017). Bu nedenle, tarımsal kaynaklı kirleticilerin kontrol altına alınması, entegre su yönetimi yaklaşımlarının ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının vazgeçilmez bir parçası olarak değerlendirilmektedir (FAO, 2021).

Sonuç

Su, canlı yaşamının sürekliliği için vazgeçilmez bir doğal kaynaktır. Ancak günümüzde hızlı nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve iklim değişikliğinin etkisiyle, hem su miktarı hem de kalitesi açısından ciddi tehditlerle karşı karşıyadır. Özellikle tarımsal üretimde suyun yoğun şekilde kullanılması, mevcut tatlı su kaynaklarının büyük bir kısmını tüketmekte ve suyun yeniden kullanılabilirliğini sınırlamaktadır. Bu durum, hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilirliğin önündeki en büyük engellerden biri hâline gelmiştir.

Küresel ölçekte su kaynaklarının yaklaşık %70'i tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Bu oranın yüksekliği, tarımsal üretimde su verimliliğinin artırılmasının ne kadar kritik olduğunu göstermektedir. Türkiye'de ise toplam kullanılabilir su potansiyelinin yaklaşık 112 milyar m³ olduğu, bunun da yalnızca %41'inin etkin biçimde değerlendirilebildiği belirlenmiştir. Sektörel

dağılımda tarım hâlâ en büyük kullanıcı konumunda olsa da, sanayi ve evsel kullanım paylarının giderek arttığı görülmektedir. Bu eğilim, ülkenin su yönetimi stratejilerini yeniden gözden geçirmesini zorunlu kılmaktadır.

Kirli sulama sularının kullanımı, kısa vadede su kıtlığına geçici çözümler sunabilir; ancak uzun vadede toprak sağlığı, bitki gelişimi ve ekosistem dengesini olumsuz etkileyerek sürdürülebilir üretim hedeflerini tehlikeye atmaktadır. Ağır metaller, pestisit kalıntıları ve organik kirleticiler, toprakta birikerek hem bitkiler hem de besin zinciri aracılığıyla insan sağlığı için potansiyel risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, sulama suyu kalitesinin sürekli izlenmesi ve kirletici yüklerin azaltılmasına yönelik teknolojik çözümler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Türkiye'nin su kaynakları bakımından su stresi yaşayan ülkeler arasında yer alması, gelecekte daha etkin ve entegre bir su yönetim yaklaşımını zorunlu kılmaktadır. Modern sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması, su kayıplarının önlenmesi, atık suların geri kazanımı ve tarımsal üretimde su verimliliğini artıracak politikaların uygulanması gerekmektedir. Ayrıca, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için yenilenebilir enerji kullanımı, toprak koruma önlemleri ve su döngüsünün korunmasına yönelik ekosistem temelli yaklaşımlar benimsenmelidir.

Sonuç olarak, suyun korunması yalnızca çevresel bir zorunluluk değil, aynı zamanda gıda güvenliği, ekonomik kalkınma ve insan sağlığının korunması açısından stratejik bir gerekliliktir. Bu doğrultuda, kirli suların sulamada kontrolsüz kullanımının önüne geçilmesi, suyun yeniden kullanımı için ileri arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir su politikalarının yerel düzeyde uygulanması, gelecek nesiller için yaşanabilir bir çevre bırakmanın temel koşuludur.

Kaynakça

Aktar, M. W., Sengupta, D., ve Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12.

Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (3rd ed.). *Springer*.

Atalık, H. (2006). Türkiye’de erozyon ve tarım topraklarının korunması. *Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayınları*.

Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., ve Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559–568.

Devlet Su İşleri (DSİ). (2023). Türkiye su kaynakları raporu ve su potansiyeli verileri. Ankara: DSİ Yayınları.

Eurostat. (2022). *Water statistics*. <https://ec.europa.eu/eurostat>

FAO. (2021). The state of the world’s land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2022). *AQUASTAT database*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Kabata-Pendias, A. (2011). Trace elements in soils and plants (4th ed.). CRC Press.

Kretschmer, N., Ribbe, L., ve Gaese, H. (2006). Wastewater reuse for agriculture. *Technology Resource Management ve Development*, 3, 37–64.

McLaughlin, M. J., Parker, D. R., ve Clarke, J. M. (2000). Metals and micronutrients—Food safety issues. *Field Crops Research*, 60(1–2), 143–163.

Metcalf ve Eddy. (2014). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., ve Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 8(3), 199–216.

Rengel, Z. (2011). Soil pH, soil health and climate change. In *Soil health and climate change*. Springer.

Sharma, R. K., ve Agrawal, M. (2005). Biological effects of heavy metals: An overview. *Journal of Environmental Biology*, 26(2), 301–313.

Smith, V. H., ve Schindler, D. W. (2009). Eutrophication science: Where do we go from here? *Trends in Ecology ve Evolution*, 24(4), 201–207.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., ve Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023). *Nüfus ve çevre istatistikleri*. Ankara: TÜİK Yayınları.

UN DESA. (2022). World population prospects 2022. United Nations Department of Economic and Social Affairs.

UNESCO. (2020). United Nations World Water Development Report 2020: Water and climate change. UNESCO.

UN Water. (2023). World Water Development Report 2023: Partnerships and cooperation for water. United Nations.

USGS. (2023). Distribution of Earth's water resources. U.S. Geological Survey.

WHO. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). World Health Organization.

Wuana, R. A., ve Okieimen, F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology*, 2011, 1–20.

BÖLÜM 11

SU ÜRÜNLERİNDE BİYOJEN AMİNLER

HASAN BASRİ ORMANCI¹

Giriş

Su ürünleri, insan beslenmesinde yüksek biyolojik değerli protein, esansiyel amino asitler ve çoklu doymamış yağ asitleri sağlayan önemli gıda kaynakları arasında yer almaktadır (Ali & ark., 2022). Bununla birlikte, yüksek su içeriği, bağ dokusunun zayıf olması, endojen enzim aktivitesinin yüksekliği ve pH değerinin nötre yakın seyretmesi gibi intrinsik özellikler nedeniyle, diğer kas dokusu gıdalarına kıyasla çok daha hızlı bozulabilmektedir (Huss, 1995; Kontominas, 2021). Bu özellikler, su ürünlerini avlanma sonrası süreçlerde mikrobiyal kontaminasyona karşı son derece hassas hâle getirmekte; avlanma, taşımacılık, işleme ve depolama aşamalarında meydana gelen yetersiz hijyen uygulamaları ve sıcaklık kontrolündeki aksaklıklar bozulmaya, kalite kaybına ve önemli ekonomik kayıplara yol açabilmektedir (Gram & Dalgaard, 2002; Amaral & ark., 2021).

Su ürünlerinde bozulmanın başlıca itici gücü mikrobiyal büyüme ve metabolik faaliyetlerdir (Huss, 1995; Gram & Dalgaard,

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gıda Teknolojisi Bölümü, Orcid: 0000-0003-3136-9196

2002). Mikrobiyal metabolizma sonucunda çeşitli uçucu ve uçucu olmayan bileşikler oluşmakta olup, bu metabolitler arasında belirli konsantrasyonların üzerinde insan vücuduna alındığında toksik etki gösterebilen biyojenik aminler de yer almaktadır (Prester, 2011; Ruiz-Capillas & Herrero, 2019).

Biyojenik aminler; amino asitlerin mikroorganizmalar veya endojen enzimler tarafından dekarboksilasyonu sonucu oluşan, düşük molekül ağırlıklı, bazik karakterde azotlu bileşiklerdir (ten Brink & ark., 1990; Shalaby, 1996). Gıdalarda biyojenik amin oluşumu genellikle hijyen koşulları, mikrobiyal flora ve depolama şartları ile yakından ilişkili olup, bu bileşikler ürünün tazelik ve kalite göstergesi olarak da değerlendirilmektedir (Silla-Santos, 1996; Ruiz-Capillas & Herrero, 2019).

Biyojenik amin oluşumu esas olarak amino asitlerin dekarboksilasyonu ile gerçekleşmekle birlikte, aldehit ve ketonların aminasyonu ile transaminasyon gibi bazı biyokimyasal reaksiyonlar da bu sürece katkı sağlayabilmektedir (Silla-Santos, 1996). Bu nedenle protein ve serbest amino asit bakımından zengin gıdalar, biyojenik amin birikimi açısından daha yüksek risk profiline sahiptir (Prester, 2011).

Biyojenik aminler, canlı organizmalarda hücre büyümesi, farklılaşması, mide pH'sının değiştirilmesinde, beyin aktivitesinde, kan basıncının düzenlenmesinde, protein ve nükleik asit sentezi gibi birçok fizyolojik süreçte rol oynamaktadır (Arulkumar, Paramithiotis & Paramasivam, 2023). Özellikle spermidin ve spermin gibi poliaminler hücresel metabolizmayı desteklerken; histamin ve tiramin gibi monoaminler nörotransmisyon, immün yanıt ve vasküler düzenleme süreçlerinde görev almaktadır (Doeun & ark., 2017). Bununla birlikte, biyojenik aminlerin gıdalar yoluyla yüksek miktarlarda alınması insanlarda ve hayvanlarda gıda zehirlenmesine ve alerjik reaksiyonlara yol açabilmektedir (Arulkumar, Paramithiotis & Paramasivam, 2023). Farklı biyojenik

aminler (triptamin, putresin, kadaverin, histamin, tiramin, spermin, spermidin) arasında histamin şişlik, döküntü, ürtiker, astım benzeri semptomlar ile gastrointestinal semptomlar gibi yaygın gıda alerjisine benzer bir dizi toksik etkiye yol açabilmesi nedeniyle en önemli toksin olarak kabul edilmektedir (Maintz & Novak, 2007). Bunun yanında histaminin neden olduğu ağızda uyuşma, baş ağrısı, baş dönmesi, çarpıntı, hızlı ve zayıf nabız (düşük kan basıncı), susuzluk ile bulantı, kusma, karın krampları ve ishal gibi daha az spesifik semptomlar da yer almaktadır (Gilbert & ark., 1980; Taylor, Stratton & Nordlee, 1989). Histamin gibi tiramin ve β -feniletılamin baş ağrısı, yüzde kızarıklık, gastrointestinal rahatsızlıklar ve kardiyovasküler semptomlarla ilişkilendirilmiştir (Maintz & Novak, 2007; EFSA, 2011). Ayrıca putresin ve kadaverin gibi diğer biyojenik aminlerin, bağırsaklarda histamin metabolizmasını baskılayarak histaminin toksik etkilerini artırabildiği bildirilmektedir (Prester, 2011). Bu durum, biyojenik aminlerin yalnızca tekil bileşikler olarak değil, birlikte değerlendirilmesi gereken bir risk grubu olduğunu göstermektedir.

Su ürünleri, avlanma sonrası hızla bozulmaya yatkın yapıları ve mikrobiyal dekarboksilaz aktivitesi için uygun substratları içermeleri nedeniyle biyojenik amin oluşumu açısından riskli gıda grupları arasında yer almaktadır (Huss, 1995; Prester, 2011). Özellikle histidin bakımından zengin olan balık türlerinde histamin oluşumu yaygın olarak rapor edilmiş olup, bu durum scombroid (histamin) zehirlenmesi açısından halk sağlığı bakımından önemli bir risk oluşturmaktadır (Visciano & ark., 2014; EFSA, 2017). Uskumrugiller haricinde ton balığı türleri (Taylor & Speckhard, 1983; Silva, Ponte & Enes Dapkevicius, 1998; Kim & ark., 2002; Koohdar & ark., 2011, 2012; Afsharmanesh & ark., 2013), sardalya (Jeyashakila & ark., 2005; Prester & ark., 2009; Houicher & ark., 2013), hamsi (Chotimarkorn, 2014), barbun (Ozyurt & ark., 2009)

ve lagos (Chong & ark., 2014) gibi scombroid olmayan balık türlerinin de bu tür salgınlara sıkça dâhil olduğu bildirilmiştir.

Biyojenik aminler, kimyasal yapılarına ve moleküllerinde bulunan amin grubu sayısına göre farklı sınıflara ayrılmaktadır (Silla-Santos, 1996; Shalaby, 1996; Doeun, Davaatseren, & Chung, 2017). Kimyasal yapılarına göre biyojenik aminler alifatik, aromatik ve heterosiklik aminler olarak sınıflandırılmakta; moleküllerinde bulunan amin grubu sayısına göre ise monoaminler, diaminler ve poliaminler şeklinde gruplandırılmaktadır (Doeun, Davaatseren, & Chung, 2017). Bu sınıflandırma, biyojenik aminlerin biyolojik fonksiyonlarının, toksik etkilerinin ve gıdalardaki davranışlarının anlaşılmasına temel oluşturmaktadır (Tablo 1).

Su ürünlerinde biyojenik amin oluşumu; hammadde kalitesi, doğal mikrobiyota, avlanma sonrası hijyen uygulamaları, işleme teknikleri ile depolama sıcaklığı ve süresi gibi çok sayıda faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Gram & Dalgaard, 2002; Ruiz-Capillas & Herrero, 2019). Bu nedenle biyojenik aminlerin kontrolü, soğuk zincirin etkin biçimde korunması, iyi hijyen uygulamalarının sağlanması ve risk temelli gıda güvenliği yönetim sistemlerinin uygulanması ile mümkün olabilmektedir (EFSA, 2011).

Tablo 1 Biyojenik aminlerin sınıflandırılması

Kimyasal Yapılarına Göre		
Alifatik	Aromatik	Heterosiklik
Putresin	Tiramin	Histamin
Kadaverin	β -feniletilamin	Triptamin
Spermin		
Spermidin		
İçerdikleri Amin Grubuna Göre		
Monoaminler	Diaminler	Poliaminler
β -feniletilamin	Histamin	Spermin
Tiramin	Putresin	Spermidin
	Kadaverin	

Biyojen Amin Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Biyojenik aminler, bitkisel kökenli gıdalarda çoğunlukla gıdanın doğal yapısında bulunan bileşikler olarak yer almakta; hayvansal kökenli gıdalarda ise genellikle üretim süreci, üretim sonrası depolama koşulları ve özellikle fermente ürünlerde mikrobiyal faaliyetler sonucunda oluşmaktadır. Bu bağlamda, yüksek protein ve serbest amino asit içeriğine sahip olan ve biyokimyasal aktiviteye elverişli tüm gıdalar, biyojenik amin oluşumu açısından potansiyel risk taşımaktadır (Stratton, Hutkins & Taylor, 1991; Słomkowska & Ambroziak, 2002; Ruiz-Capillas & Herrero, 2019).

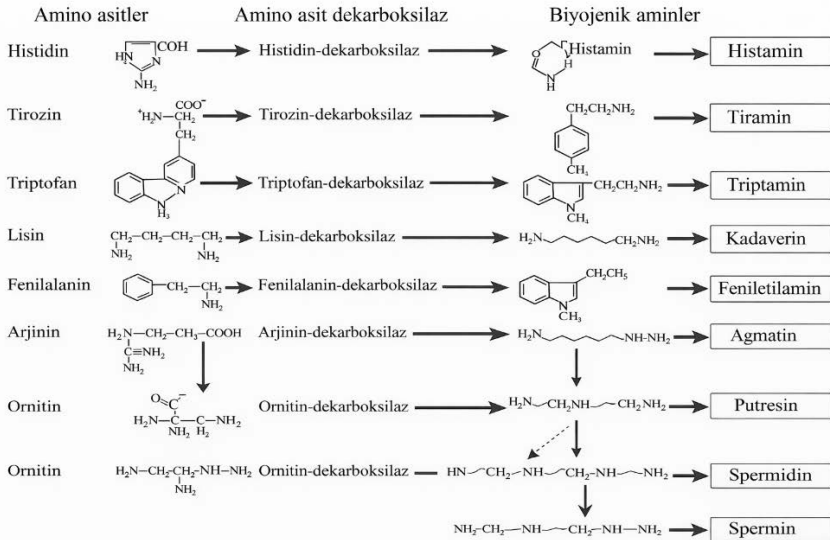
Biyojenik amin oluşumunun temel biyokimyasal altyapısını, proteinlerin proteolitik enzimler veya mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri sonucunda parçalanarak serbest amino asitlere dönüşmesi oluşturmaktadır. Serbest hâle geçen bu amino asitler, dekarboksilaz-pozitif mikroorganizmalar tarafından sentezlenen amino asit dekarboksilaz enzimlerinin etkisiyle dekarboksilasyona uğramakta; bu reaksiyon sırasında amino asitlerin yapısında bulunan α -karboksil grubu uzaklaştırılmakta ve bunun sonucunda biyojenik aminler meydana gelmektedir (ten Brink & ark., 1990; Shalaby, 1996; Doeun, Davaatseren, & Chung, 2017).

Literatürde, bir gıdada biyojenik amin oluşumunun gerçekleşebilmesi için üç temel koşulun eş zamanlı olarak sağlanması gerektiği kabul edilmektedir. Bunlar; (i) gıdanın serbest amino asitleri içermesi, (ii) gıdanın amino asit dekarboksilasyonunu gerçekleştirebilen dekarboksilaz-pozitif mikroorganizmaları barındırması ve (iii) bu mikroorganizmaların gelişimini ve dekarboksilaz enzimlerinin aktivitesini destekleyen uygun çevresel koşulların (sıcaklık, pH, tuz konsantrasyonu, su aktivitesi vb.) mevcut olmasıdır (ten Brink & ark., 1990; Santos, 1996; Shalaby, 1996; Ruiz-Capillas & Herrero, 2019). Bu koşullar sağlandığında, Şekil 1’de görüldüğü gibi gıdanın yapısında bulunan histidin, tirozin,

triptofan, lizin, fenilalanin, arjinin ve ornitin gibi amino asitler dekarboksilasyon reaksiyonları sonucunda sırasıyla histamin, tiramin, triptamin, kadaverin, β -feniletilamin, agmatin ve putresin gibi biyojenik aminlere dönüşmektedir (Halász & ark., 1994; Ruiz-Capillas & Jiménez-Colmenero, 2010, 2011; Visciano & ark., 2014).

Su ürünleri özelinde değerlendirildiğinde, balık etinin yüksek serbest amino asit içeriği, avlanma sonrası hızla artabilen mikrobiyal yük ve soğuk zincirin etkin biçimde korunamaması, biyojenik amin oluşumunu hızlandıran başlıca faktörler arasında yer almaktadır (Şekil 2). Ayrıca *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Vibrio*, *Photobacterium*, *Clostridium* ve laktik asit bakterileri gibi mikroorganizma grupları, dekarboksilaz aktivitesi bakımından su ürünlerinde biyojenik amin oluşumunda kritik rol oynamaktadır (Ruiz-Capillas & Jiménez-Colmenero, 2010, 2011).

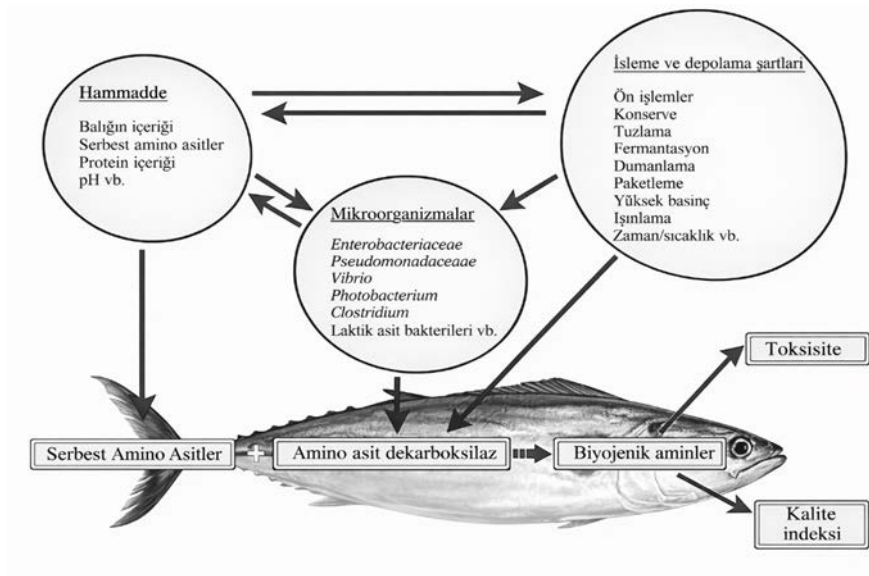
Şekil 1 Biyojen Aminlerin metabolik yolu



Kaynak: (Ruiz-Capillas ve Jimenez-Colmener, 2010, 2011)

Biyojenik aminlerin oluşumu hem endojen enzimatik aktiviteler hem de mikrobiyal dekarboksilaz faaliyetleri ile doğrudan ilişkili olduğundan, bu süreçlerin kontrol altına alınması gıdalardaki biyojenik amin miktarının sınırlandırılmasında temel strateji olarak kabul edilmektedir. Söz konusu bu strateji sıcaklık kontrolü, yüksek kaliteli hammadde kullanımı, özellikle fermente ürün üretiminde amin-negatif veya amin oksitleyen starter kültürlerin kullanımı, biyojenik amin oluşumunu geciktiren uygun koşulların belirlenmesi için mikrobiyal modelleme, ambalajlama teknikleri ve ışınlama ile mümkün olabilmektedir (Kim & ark., 2003; Emborg & Dalgaard, 2008; Bolton & ark., 2009; Mohan & ark., 2009; Naila & ark., 2010). Ayrıca üretim sırasında kullanılan katkı maddeleri, ürünün pH değeri, depolama sıcaklığı ve süresi, uygulanan ısıl işlemler; biyojenik aminlerin düzeylerini belirleyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır (Silla-Santos, 1996; Nassar & Emam, 2002; Ruiz-Capillas & Herrero, 2019).

Şekil 2. Balık etinde biyojen amin oluşumuna etki eden faktörler



Kaynak: Ruiz-Capillas ve Jimenez-Colmener, 2010, 2011

Sıcaklık ve Ortam pH'sının Biyojenik Amin Oluşumu Üzerine Etkisi

Dekarboksilaz aktivitesini ve dolayısıyla biyojenik amin oluşumunu etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biri ortam pH'sıdır. Biyojenik amin oluşumu, birçok mikroorganizma için asidik koşullarda hücre içi pH dengesinin korunmasına yönelik bir adaptasyon ve savunma mekanizması olarak değerlendirilmektedir (Maijala & ark., 1993; Teodorovic, Buncic & Smiljanic, 1994; Masson & ark., 1997; Doeun, Davaatseren & Chung, 2017). Bu bağlamda, asidik ortamlarda amino asit dekarboksilaz sistemlerinin aktivitesinin artabildiği ve bunun biyojenik amin oluşumunu teşvik edebildiği bildirilmektedir. Buna karşın Ucak ve ark. (2019), Atlantik ringa balığının vakum altında 4°C'de depolanması sırasında marinasyon ile basınç uygulamasının histamin, putresin, kadaverin ve tiramin kontrolü üzerindeki etkisini incelemiştir. %4 asetik asit ile marinasyonun %2'ye kıyasla daha etkili olduğunu saptamışlardır.

Asidik koşulların biyojenik amin üretimi üzerindeki etkisi çeşitli çalışmalarla desteklenmiştir. Maijala (1994) tarafından yapılan bir çalışmada, pH 5,0 koşullarında, amino asit ilavesiyle zenginleştirilmiş MRS besiyerinde *Lactobacillus bulgaricus*'un histamin, tiramin ve triptamin üretiminin anlamlı düzeyde arttığı belirlenmiştir. Kimata & Kawai (1953), uskumru orkinosunda histamin oluşumunun pH 6,2'de, pH 5,6 ve 6,7'ye kıyasla daha hızlı gerçekleştiğini vurgulamışlardır. Literatürde biyojenik amin oluşumu açısından optimum pH aralığının genellikle 4,0–5,5 olduğu ifade edilmektedir (Silla-Santos, 1996; Gardini & ark., 2001; Ruiz-Capillas & Herrero, 2019). Fermente edilebilir karbonhidratların, özellikle glukozun, bakteriyel gelişimi ve amino asit dekarboksilaz aktivitesini dolaylı olarak artırdığı bildirilmektedir. Bunun temel nedeni, glukoz fermentasyonu sonucu laktik asit oluşması ve ortam pH'sının düşmesidir. Biyojenik amin oluşumu açısından glukoz konsantrasyonunun %0,5–2 aralığında olması optimal kabul

edilirken, %3'ün üzerindeki konsantrasyonlarda enzim sentezinin baskılandığı ve biyojenik amin oluşumunun olumsuz etkilendiği rapor edilmiştir (Santos, 1996; Masson & ark., 1997).

Enterococcus faecalis ile gerçekleştirilen bir çalışmada, L-tirozin ve glukoz ilave edilmiş besiyerinde pH 5,0–8,0 aralığında yüksek miktarlarda tiramin üretildiği belirlenmiş; tirozin dekarboksilasyonu için optimum pH'nın yaklaşık 7,0 olduğu bildirilmiştir (Beutling, 1996). Aynı çalışmada, glukozun bakteriyel çoğalmayı ve tiramin oluşumunu artırdığı, ancak dekarboksilaz enzim aktivitesi üzerinde doğrudan bir etkisinin bulunmadığı belirtilmiştir.

Sıcaklık da bakterilerin biyojenik amin üretimini büyük ölçüde etkileyen bir diğer önemli faktördür. Biyojenik amin oluşumuna katkı sağlayan mikroorganizmaların sıcaklık toleranslarının türlere göre farklılık gösterdiği bildirilmektedir (Masson & ark., 1997; Çolak & Aksu, 2002; Visciano & ark., 2014). Örneğin *Enterobacter cloacae*'nin 20°C'de putresin üretirken 10°C'de amin üretiminin gerçekleşmediği; *Klebsiella pneumoniae*'nin ise düşük sıcaklıklarda kadaverin üretiminin azaldığı rapor edilmiştir (Halász & ark., 1994). Genel olarak biyojenik amin düzeyleri ile depolama süresi ve sıcaklığı arasında pozitif bir korelasyon bulunduğu bildirilmektedir (Santos, 1996; Prester, 2011).

Sıcaklığın gıdalarda biyojenik amin oluşumu üzerindeki etkisi çok sayıda çalışmada vurgulanmıştır (Shalaby, 1996; Gardini & ark., 2001; Ruiz-Capillas & Herrero, 2019). Ababouch & arkadaşları (1991), üç farklı *Proteus* türünde histamin oluşumunun pH 5,0'te pH 7,0'ye kıyasla ve 25°C'de, 4°C veya 35°C'ye göre daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Klausen & Lund (1986), uskumru ve ringada 10°C'deki biyojenik amin düzeylerinin 2°C'ye kıyasla yaklaşık 20 kat daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Buna karşılık Wendakoon & arkadaşları (1990), uskumrunun buzda

depolanması sırasında biyojenik amin üretiminin gerçekleşmediğini bildirmiştir. Yoshida & Nakamura (1982) ise taze balıkta histamin bulunmadığını, ancak oda sıcaklığında bekletilen balıklarda histamin düzeyinin 24 saat içinde 28,4 ppm'e, 48 saat sonunda ise 1540 ppm'e ulaştığını ortaya koymuştur.

Literatürde genel olarak, sıcaklık ne kadar düşükse biyojen amin birikim o kadar gecikmekte olduğu bildirilmektedir. (Baixas-Nogueras & ark., 2002; Krizek, Pavlicek & Vacha, 2002; Sil, Joseph & Kumar, 2008; Shi & ark., 2012). Bakar & arkadaşları (2010), Asya levreğinin kasının 4°C'de depolanması sırasında kadaverin, β -feniletilamin, histamin, spermin, spermidin ve tiramin düzeylerinin, 0°C'de depolananlara kıyasla daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. Buna karşılık, triptamin için daha yüksek düzeyler 0°C'de belirlenmiştir (Bakar & ark., 2010). Benzer şekilde, Krizek & arkadaşları (2004), sazan balığı filetolarının daha düşük depolama sıcaklığının putresin, kadaverin, histamin, tiramin ve triptamin birikimini azalttığını; ancak spermin ve spermidin birikimi üzerinde etkisi olmadığını bildirmiştir. Ayrıca Li & arkadaşları (2012), Japon balığı filetolarının 4°C'de depolanmasının, buzda depolamaya kıyasla triptamin, β -feniletilamin, putresin ve kadaverin birikimini kolaylaştırdığını; buna karşın histamin, tiramin, spermidin ve spermin birikimi üzerinde depolama koşullarının etkili olmadığını rapor etmiştir.

Tuz Konsantrasyonunun Biyojenik Amin Oluşumu Üzerine Etkisi

Taze balığın yanı sıra marine ve tuzlanmış su ürünlerinde de biyojenik amin oluşumu önemli bir gıda güvenliği sorunu olarak değerlendirilmektedir. Özellikle histamin riski taşıyan balık türleriyle üretilen bu ürünlerde ciddi bir risk bulunduğu birçok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir (Aydın, 2006; Koral, 2012; Arulkumar, Paramithiotis & Paramasivam, 2023). Tuzlanmış

balıklarda düşük kaliteli hammadde kullanımı, yetersiz işleme ve uygun olmayan depolama koşulları sonucunda yüksek düzeylerde histamin oluştuğu ve bunun histamin zehirlenmelerine yol açtığı rapor edilmiştir (Rodriguez-Jerez & ark., 1994).

Biyojenik amin oluşumunda ortamın tuz (NaCl) konsantrasyonu, mikroorganizma gelişimi ve amino asit dekarboksilaz aktivitesi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Genel olarak artan tuz konsantrasyonunun, histidin dekarboksilaz aktivitesini baskılayarak biyojenik amin oluşumunu azaltabildiği bildirilmektedir. Bu bağlamda, ortamda %5'in üzerindeki NaCl düzeylerinin histamin oluşumunu sınırlandırdığı rapor edilmiştir (Beutling, 1994; Shalaby, 1996). Ababouch & arkadaşları (1991), %8 NaCl ilavesinin üç farklı *Proteus* türünün histidin dekarboksilaz aktivitesini önemli ölçüde azalttığını bildirmiştir. Bununla birlikte, güçlü bir histamin üreticisi olan *Staphylococcus capitis*'in %10 NaCl içeren besiyerinde dahi yaklaşık 400 mg/mL düzeyinde histamin üretebildiği rapor edilmiştir (Hernandez-Herrero & ark., 1999). Bu bulgu, yüksek tuz konsantrasyonlarının tüm mikroorganizmalar için biyojenik amin oluşumunu tamamen engelleyici olmadığını, özellikle halotolerant ve halofilik bakterilerin bu koşullarda biyojenik amin üretimini sürdürebildiğini göstermektedir.

Carnobacterium divergens'in tiramin üretiminin incelendiği çalışmalarda, %10 NaCl konsantrasyonunun tiramin oluşumunu inhibe ettiği, buna karşılık potasyum nitrat varlığının tiramin oluşumu üzerinde belirgin bir etkisinin bulunmadığı bildirilmiştir (Masson & ark., 1997). Benzer şekilde Teodorovic & arkadaşları (1994), %3,5 NaCl veya %0,02 sodyum nitrit ilave edilen besiyerlerinde histamin düzeylerinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı bir farklılık göstermediğini ortaya koymuşlardır. Bu durum, tuzun biyojenik amin oluşumu üzerindeki etkisinin konsantrasyona, mikroorganizma türüne ve ortam koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Tuzlama işleminin histidin dekarboksilaz aktivitesini genel olarak inhibe ettiği kabul edilmekle birlikte, halotolerant bakteriler açısından bu etkinin sınırlı olduğu bildirilmektedir. Nitekim %12 NaCl içeren sardalya etinde halotolerant mikroorganizmalar tarafından biyogenik amin üretiminin devam ettiği gösterilmiştir (Shalaby, 1996). Buna karşılık, uskumru etinde tuz konsantrasyonundan bağımsız olarak tuzlama işleminin histamin oluşumunu büyük ölçüde baskıladığı ve histamin üretiminin ihmal edilebilir düzeylerde kaldığı bildirilmiştir (Silla-Santos, 1996). Bu farklılıklar, balık türüne özgü mikrobiyal floranın ve hammadde özelliklerinin biyogenik amin oluşumunda kritik rol oynadığını göstermektedir.

Chander & arkadaşları (1989), ortamın tuz konsantrasyonunun %0'dan %6'ya çıkarılmasıyla *Lactobacillus bulgaricus* tarafından üretilen biyogenik amin miktarının belirgin şekilde azaldığını rapor etmişlerdir. Bu inhibe edici etkinin, yüksek NaCl konsantrasyonunun hücre bölünmesini sınırlandırması ve/veya dekarboksilaz enzimlerini taşıyan hücre membranlarında yapısal hasara yol açmasıyla ilişkili olduğu ifade edilmektedir (Chander & ark., 1989).

Gardini & arkadaşları (2001) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı bir çalışmada, *Enterococcus faecalis* EF37 suşunun biyogenik amin oluşturma aktivitesi; inkübasyon sıcaklığı, NaCl konsantrasyonu ve ortam pH'sı gibi birden fazla değişkenin etkileşimi çerçevesinde değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, biyogenik amin üretiminin ortam sıcaklığından büyük ölçüde bağımsız olarak, yüksek tuz konsantrasyonlarında anlamlı biçimde azaldığını ortaya koymuşlardır. Güncel çalışmalar da bu bulguları destekleyerek, artan tuz konsantrasyonunun çoğu mikroorganizma için biyogenik amin oluşumunu sınırlandırdığını, ancak halotolerant suşların bu etkiye kısmen direnç gösterebildiğini bildirmektedir

(Ruiz-Capillas & Herrero, 2019; Arulkumar, Paramithiotis & Paramasivam, 2023).

Starter Kültür Kullanımının Biyojenik Amin Oluşumu Üzerine Etkisi

Fermente gıdaların üretiminde mikroorganizmalar temel rol oynamakta olup, özellikle laktik asit bakterileri (LAB) birçok fermente ürünün karakteristik duyuşal özelliklerinin oluşumunda görev almaktadır. Bununla birlikte, bazı LAB türlerinin ve diğer mikroorganizmaların, putresin, kadaverin, histamin ve tiramin gibi biyojenik aminlerin oluşumundan sorumlu olabildiği bildirilmektedir (ten Brink & ark., 1990; Silla-Santos, 1996). Bu durum, fermente gıdalarda mikrobiyal kompozisyonun biyojenik amin oluşumu açısından kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Fermente et ürünlerinde yapılan çalışmalar, starter kültür kullanımının, doğal mikroflora ile üretilen ürünlere kıyasla daha düşük düzeylerde biyojenik amin oluşumuna yol açtığını ortaya koymaktadır (Silla-Santos, 1996; Ruiz-Capillas & Herrero, 2019). Bu nedenle starter kültürlerin, biyojenik amin oluşumunun kontrol altına alınmasında etkili bir teknoloji olarak değerlendirildiği bildirilmektedir. Starter kültürlerin biyojenik amin oluşumunu azaltıcı etkisi; hızlı asitleşme yoluyla ortam pH'sının düşürülmesi, rekabetçi mikrobiyal baskılama ve özellikle güçlü biyojenik amin üreticisi olan *Enterobacteriaceae* üyelerinin gelişiminin inhibe edilmesiyle ilişkilendirilmektedir (Hernández-Jover & ark., 1997).

Starter kültür ilavesiyle üretilen fermente gıdalarda, histamin, tiramin ve diğer biyojenik aminlerin oluşumunun sınırlandırıldığını gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Çolak & Aksu, 2002; Visciano & ark., 2014). Güncel araştırmalar, özellikle amin-negatif veya amin-oksidaz aktivitesine sahip starter kültürlerin kullanımının, biyojenik amin birikimini önemli ölçüde azalttığını ve

ürün güvenliğini artırdığını ortaya koymaktadır (Ruiz-Capillas & Herrero, 2019; Arulkumar, Paramithiotis & Paramasivam, 2023).

Bununla birlikte, tüm starter kültürlerin biyojenik amin oluşumunu azaltıcı etki göstermediği de bilinmektedir. Bazı starter kültürlerin, biyojenik amin üretme potansiyeline sahip olduğu veya ortam koşullarına bağlı olarak dekarboksilaz aktivitesi gösterebildiği bildirilmektedir. Bu nedenle gıda endüstrisinde amin-negatif starter kültürlerin seçimi, biyojenik amin oluşumunun kontrolünde kritik bir aşama olarak değerlendirilmektedir (Eerola & ark., 1996; Doeun Davaatseren & Chung, 2017). Uygun starter kültür seçiminin yanı sıra, üretim hijyeni, sıcaklık ve pH kontrolü gibi proses parametrelerinin birlikte yönetilmesi, fermente gıdalarda biyojenik amin riskinin azaltılmasında bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

Sonuç olarak, starter kültür kullanımı fermente gıdalarda biyojenik amin oluşumunun sınırlandırılmasında etkili bir araç olmakla birlikte, bu etkinin starter kültürün türü, metabolik özellikleri ve üretim koşullarıyla yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Güncel literatür, biyojenik amin oluşumunun kontrolünde amin-negatif ve fonksiyonel starter kültürlerin kullanımının, güvenli ve kaliteli fermente ürün üretimi açısından önemli bir strateji olduğunu vurgulamaktadır (Ruiz-Capillas & Herrero, 2019).

Biyojenik Amin Üretiminden Sorumlu Mikroorganizmalar

Amino asit dekarboksilaz enzimleri tüm bakterilerde yaygın olarak bulunmamakla birlikte, belirli mikroorganizma grupları bir veya daha fazla amino asidi dekarboksile etme yeteneğine sahiptir. Literatürde *Bacillus*, *Citrobacter*, *Clostridium*, *Klebsiella*, *Escherichia*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Shigella* ve *Photobacterium* cinslerine ait bakterilerin yanı sıra, *Lactobacillus*, *Pediococcus* ve *Streptococcus* gibi laktik asit bakterilerinin de biyojenik amin oluşumundan sorumlu olabildiği bildirilmektedir

(ten Brink & ark., 1990; Shalaby, 1996; Doeun, Davaatseren & Chung, 2017). Bu mikroorganizmalar, histidin, tirozin, ornitin ve lizin gibi amino asitleri dekarboksile ederek sırasıyla histamin, tiramin, putresin ve kadaverin gibi biyojenik aminleri oluşturabilmektedir.

Su ürünlerinde biyojenik amin oluşumundan sorumlu mikroorganizmaların kompozisyonu, balık türüne, avlanma sonrası koşullara, mikrobiyal floraya ve işleme yöntemlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle skombroid zehirlenmesi ile ilişkilendirilen balık türlerinde histamin üretiminden sorumlu başlıca bakteriler arasında *Morganella morganii* (Arnold & Brown, 1978), *Klebsiella pneumoniae* (Taylor & ark., 1979), *Hafnia alvei* (Havelka, 1967), *Proteus vulgaris*, *Proteus mirabilis*, *Clostridium perfringens*, *Enterobacter aerogenes* ve *Vibrio alginolyticus* yer almaktadır (Arnold, Price & Brown, 1980; Frank & ark., 1985; Visciano & ark., 2014).

Kalite kaybına uğramış balık üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda ise dekarboksilaz aktivitesi gösteren mikroorganizmalar arasında *Acinetobacter lwoffii*, *Pseudomonas putrefaciens*, *Aeromonas hydrophila* ve *Plesiomonas shigelloides*'in öne çıktığı bildirilmektedir (Middlebrooks & ark., 1988; López-Sabater & ark., 1994). Bu bakterilerin özellikle uygun olmayan depolama sıcaklıklarında hızla çoğalarak biyojenik amin birikimine neden olduğu vurgulanmaktadır.

Fermente ve tuzlanmış balık ürünlerinde biyojenik amin üretiminden sorumlu mikroorganizmalar, yüksek tuz konsantrasyonlarına tolerans gösterebilen türlerden oluşmaktadır. Araştırmalar, fermente balık ürünlerinde histamin üreten bakterilerin başlıca *Staphylococcus* spp., *Vibrio* spp. ve *Pseudomonas* spp. olduğunu ortaya koymuştur (Lovenberg, 1973; Yatsunami & Echigo, 1993). Ayrıca *Photobacterium* spp.'nin özellikle deniz kökenli su ürünlerinde güçlü histamin üreticileri olduğu; *Morganella morganii*,

Bacillus spp. ve *Staphylococcus xylosus*'un da tuzlanmış balık ürünlerinde biyojenik amin oluşumuna katkı sağladığı bildirilmiştir (Okuzumi, Fukumoto & Fujii, 1990; Rodriguez-Jerez & ark., 1994; Rawles, Flick & Martin, 1996; Bjørnsdóttir-Butler & ark., 2020).

Güncel çalışmalar, su ürünlerinde biyojenik amin üretiminin yalnızca mikroorganizmanın varlığına değil, aynı zamanda söz konusu mikroorganizmaların dekarboksilaz gen ekspresyonu, çevresel stres koşulları (pH, sıcaklık, tuz) ve mikrobiyal rekabet gibi faktörlere bağlı olduğunu göstermektedir (Ruiz-Capillas & Herrero, 2019; Arulkumar, Paramasivam & Rameshthangam, 2023). Bu bağlamda, biyojenik amin oluşumunun kontrol altına alınabilmesi için mikrobiyal floranın iyi tanımlanması ve uygun hijyen, depolama ve işleme koşullarının sağlanması büyük önem taşımaktadır.

Bununla beraber birçok araştırmacı, biyojenik amin oluşumu ile belirli bir mikrobiyal grubun popülasyonu arasında istatistiksel olarak anlamlı korelasyonlar bildirmiştir. Örneğin, mezofilik bakteriler ile triptamin, putresin ve tiramin (Arulkumar & ark., 2019), putresin ve tiramin (Bita & ark., 2015) ve histamin (Bita & ark., 2015; Chong & ark., 2014; Frank & ark., 1985; Moini & ark., 2012; Ozogul, Ozogul & Kuley, 2008) arasında; ayrıca psikrofilik bakteriler ile triptamin, putresin, tiramin ve spermidin (Arulkumar & ark., 2019), putresin (Moini & ark., 2012; Rezaei & ark., 2007) ile tiramin ve putresin (Bita & ark., 2015) arasında pozitif korelasyonlar gözlenmiştir. Buna ek olarak, *Enterobacteriaceae* ile putresin ve kadaverin (Zhang & ark., 2015) ve histamin (Alak & ark., 2011) arasında, ayrıca psödomonadlar ile putresin ve kadaverin arasında da pozitif korelasyonlar rapor edilmiştir (Koutsoumanis, Lampropoulou & Nychas, 1999). Buna karşın, Pons-Sanchez-Cascado, Veciana-Nogues & Vidal-Carou, (2003) tarafından mikrobiyal yük ile biyojenik amin birikimi arasında herhangi bir korelasyon kurulamadığı bildirilmiştir. Gıdalarda biyojenik amin oluşumu hem amino asit dekarboksilazlarının hem de amin

oksidazlarının üretiminin çalışmalarındaki suşa bağlı bir özellik olabileceğinden tespit edilen korelasyonların istatistiksel anlamlılıklarının sınırlı olabileceği ve biyolojik bir anlam taşımayabileceği belirtilmektedir (Pons-Sanchez-Cascado, Veciana-Nogues & Vidal-Carou, 2003).

Biyojenik Aminlerin Toksikolojik Özellikleri

Biyojenik aminlerin gıdalar yoluyla aşırı miktarda alınması, çeşitli toksikolojik etkilere ve gıda kaynaklı intoksikasyonlara yol açabilmektedir. Bu intoksikasyonlar arasında en yaygın ve en iyi bilinen tablo, literatürde “scombroid balık zehirlenmesi” olarak tanımlanan histamin zehirlenmesidir. Histamin zehirlenmesi, kas dokusunda yüksek miktarda serbest histidin bulunan bazı balık türlerinin, uygun olmayan hijyen ve depolama koşullarında muhafaza edilmesi sonucunda, histidin dekarboksilasyonu yoluyla histamin oluşmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu intoksikasyon özellikle Scombridae (uskumru, palamut, kolyoz) ve Scomberesocidae familyalarına ait balık türleri ile ilişkilendirilmekte; bunun yanı sıra Clupeidae ve Engraulidae familyalarına mensup balıkların tüketimi sonrasında da bildirilmektedir. İnsanlarda toksik etkilerin ilk kez uskumru balığı tüketimi sonrası tanımlanmış olması nedeniyle bu klinik tablo tarihsel olarak “scombroid balık zehirlenmesi” adıyla anılmaktadır (Gökoğlu & Varlık, 1995; Turantaş & Öksüz, 1998; Lehane & Olley, 2000; Jeyasekaran & Jeya-Shakila, 2003).

Histamin zehirlenmesinde ortaya çıkan klinik belirtiler çoğu zaman alerjik reaksiyonlara benzer nitelik göstermektedir. En sık bildirilen semptomlar arasında yüzde ve boyunda kızarma, terleme, baş ağrısı, çarpıntı, hipotansiyon, mide bulantısı, kusma, ishal ve karın ağrıları yer almaktadır. Bazı vakalarda kaşıntı, döküntü ve solunum güçlüğü gibi daha ciddi semptomlar da gözlenebilmektedir (Stratton, Hutkins & Taylor, 1991; Lehane & Olley, 2000). İngiltere’de 1976–1986 yılları arasında histamin zehirlenmesi

şüphesiyle bildirilen vakalarda en yaygın belirtilerin kızarma, baş ağrısı, terleme ve gastrointestinal rahatsızlıklar olduğu rapor edilmiştir (Stratton, Hutkins & Taylor, 1991).

Biyojenik aminlerin toksik etkileri, yalnızca tek bir amin türüne değil; alınan aminlerin toplam miktarına, amin türleri arasındaki sinerjik etkileşimlere ve bireyin detoksifikasyon kapasitesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle putresin ve kadaverin gibi aminlerin, histaminin metabolizmasını baskılayarak toksik etkilerini artırabildiği bildirilmektedir. Bu durum, düşük histamin içeriğine sahip gıdaların dahi, diğer biyojenik aminlerin varlığında toksik etki oluşturabilmesine neden olabilmektedir (Halász & ark., 1994; Lehane & Olley, 2000).

Literatürde, gıdalarda 100 mg/kg'ın üzerindeki histamin düzeylerinin toksik etkilere yol açabileceği bildirilmektedir. Ayrıca 100–800 mg/kg düzeyindeki tiraminin veya alkollü içeceklerde 2 mg/kg'ın üzerindeki histaminin hassas bireylerde intoksikasyona neden olabildiği rapor edilmiştir (Ijomah & ark., 1991). Deneyisel hayvan çalışmalarında ise, biyojenik aminlerin akut toksisite dozlarının amin türüne göre değiştiği; putresin için yaklaşık 2000 mg/kg, spermidin ve spermin için ise yaklaşık 600 mg/kg düzeylerinde toksik etki oluşturduğu belirlenmiştir (Til & ark., 1997).

Su ürünlerinde histamin, biyojenik aminler arasında en yüksek toksikolojik öneme sahip bileşik olarak kabul edilmekte ve bu nedenle birçok ülkede yasal sınır değeri belirlenmiş tek biyojenik amin olma özelliğini taşımaktadır. Avrupa Birliği ve diğer uluslararası otoriteler, balık ve balık ürünlerinde histamin için maksimum sınır değerler belirlemiş olup, bu sınırların aşılması gıda güvenliği açısından ciddi bir risk olarak değerlendirilmektedir (Shalaby, 1999; EFSA, 2017).

Sonuç olarak biyojenik aminlerin toksikolojik etkileri, yalnızca histamin zehirlenmesi ile sınırlı olmayıp; aminlerin birlikte varlığı ve bireysel hassasiyetler dikkate alındığında daha karmaşık bir risk profili ortaya koymaktadır. Bu nedenle biyojenik aminlerin izlenmesi, su ürünlerinde kalite ve gıda güvenliği değerlendirmesinin vazgeçilmez bir bileşeni olarak kabul edilmektedir.

Kaynakça

Ababouch, L., Afilal, M. E., Benabdeljelil, H., & Busta, F. F. (1991). Quantitative Changes in bacteria, amino acids and biogenic amines in sardine (*Sardina pilchardus*) stored at ambient temperature (25–28°C) and in ice. *International Journal of Food Science & Technology*, 26(3): 297-306.

Afsharmanesh, S., Peighambari, Y., Shabanpure, B., & Hosseini, A. R. (2013). Biogenic amines production and its relationship with psychrophilic bacteria load in whole yellow fin tuna (*Thunnus albacores*) during ice storage. *Food Science and Technology*, 1, 7–11.

Alak, G., Hisar, S. A., Hisar, O., & Genccelep, H. (2011). Biogenic amines formation in Atlantic bonito (*Sarda sarda*) fillets packaged with modified atmosphere and vacuum, wrapped in chitosan and cling film at 4°C. *European Food Research and Technology*, 232, 23–28.

Ali, A., Khan, M. A., & Khan, M. N. (2022). Nutritional quality and health benefits of fish and fish products. *Journal of Food Science and Nutrition*, 8(3), 120–135.

Amaral, G. V., Silva, F. A., & Teixeira, A. A. (2021). Microbiological quality and spoilage of fish products. *Food Microbiology*, 95, 103705.

Arnold, S.H., & Brown, W.D. (1978). Histamine (?) toxicity from fish products. In: O., C.C., Ed. *Advances in Food Research*. Academic Press, 24, 113-154.

Arnold, S.H., Price, R.J., & Brown, W.D. (1980). Histamine formation by bacteria isolated from skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 46(8), 991-995.

Arulkumar, A., Paramasivam, S., Rameshthangam, P., & Paramithiotis, S. (2019). Evaluation of psychrophilic, mesophilic, histamine forming bacteria and biogenic amine content in the muscle of mud spiny lobster, *Panulirus polyphagus* (Herbst, 1793) during ice storage. *Journal of Food Safety*, 39, Article e12582.

Arulkumar, A., Paramithiotis, S., & Paramasivam, S. (2023). Biogenic amines in fresh fish and fishery products and emerging control. *Aquaculture and Fisheries*, 8(4), 431–450.

Aydın, B. (2006). *Mamul gıdalarda biyojenik aminlerin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Zonguldak, 81 s.

Baixas-Nogueras, S., Bover-Cid, S., Veciana-Nogues, T., & Vidal-Carou, M. C. (2002). Chemical and sensory changes in Mediterranean hake (*Merluccius merluccius*) under refrigeration (6-8°C) and stored in ice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6504–6510.

Bakar, J., Yassoralipour, A., Bakar, F. A., & Rahman, R. A. (2010). Biogenic amine changes in barramundi (*Lates calcarifer*) slices stored at 0°C and 4°C. *Food Chemistry*, 119, 467–470.

Beutling, D. (1996). Biogenic Amines in Nutrition. *Archiv Fur Lebensmittelhygiene*, 47(4):97-102.

Bitar, S., Malekpouri, P., Mohammadian, T., Varzi, H. N., & Kocharian, P. (2015). Changes in biogenic amines and microbial loads in the muscle of orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides* (Hamilton, 1822) during ice storage. *Journal of Food Science & Technology*, 52, 240–248.

Bjornsdottir-Butler, K., May, S., Hayes, M., Abraham, A., & Benner, R. A., Jr. (2020). Characterization of a novel enzyme from *Photobacterium phosphoreum* with histidine decarboxylase activity.

International Journal of Food Microbiology, 334, 108815.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108815>.

Bolton, G. E., Bjornsdottir, K., Nielsen, D., Luna, P. F., & Green, D. P. (2009). *Effect of high hydrostatic pressure on histamine forming bacteria in yellowfin tuna and mahi-mahi skinless portions*. USA: Institute of Food Technologists (IFT) Conference 2009. Abstract no. 006-05.

Chandler, R. E., & Mcmeekin, T. A. (1989). Modeling the growth-response of *Staphylococcus-Xylosus* to changes in temperature and glycerol concentration water activity. *Journal of Applied Bacteriology*, 66(6): 543-548.

Chong, C. Y., Abu Bakar, F., Rahman, R. A., Bakar, J., & Zaman, M. Z. (2014). Biogenic amines, amino acids and microflora changes in Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) stored at ambient (25-29°C) and ice temperature (0°C). *Journal of Food Science & Technology*, 51, 1118–1125.

Chotimarkorn, C. (2014). Quality changes of anchovy (*Stolephorus heterolobus*) under refrigerated storage of different practical industrial methods in Thailand. *Journal of Food Science & Technology*, 51, 285–293.

Çolak, H., & Aksu, H. (2002). Biyojen aminlerin varlığı ve amin oluşumunu etkileyen faktörler. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 13, 35-40.

Doeun, D., Davaatseren, M., & Chung, M. S. (2017). Biogenic amines in foods. *Food Science and Biotechnology*, 26(6), 1463–1474. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0239-3>.

Eerola, S., Maijala, R., Sagues, A. X. R., Salminen, M., & Hirvi, T. (1996). Biogenic amines in dry sausages as affected by starter culture and contaminant amine-positive *Lactobacillus*. *Journal of Food Science*, 61(6): 1243-1246.

Emborg, J., & Dalgard, P. (2008). Formation of histamine and biogenic amines in cold-smoked tuna: An investigation of psychrotolerant bacteria from samples implicated in cases of histamine fish poisoning. *Journal of Food Protection*, 69, 897–906.

European Food Safety Authority (EFSA) Panel on Biological Hazards (BIOHAZ). (2011). Scientific opinion on risk-based control of biogenic amine formation in fermented foods. *EFSA Journal*, 9(10), 2393. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2393>

European Food Safety Authority (EFSA). (2017). Assessment of incidents of histamine intoxication linked to consumption of fishery products. *EFSA Supporting Publications*, 14(5), 1301E.

Frank, H.A., Baranowski, J.D., Chongsiriwatana, M., Brust, P.A., & Premaratne, R.J. (1985). Identification and decarboxylase activities of bacteria isolated from decomposed mahi mahi (*Coryphaena hippurus*) after incubation at 0-Degrees-C and 32-Degrees-C. *International Journal of Food Microbiology*, 2(6), 331-340.

Gardini, F., Martuscelli, M., Caruso, M. C., Galgano, F., Crudele, M. A., Favati, F., Guerzoni, M. E., & Suzzi, G. (2001). Effects of pH, temperature and NaCl concentration on the growth kinetics, proteolytic activity and biogenic amine production of *Enterococcus faecalis*. *International Journal of Food Microbiology*, 64(1-2): 105- 117.

Gökoglu, N., & Varlık, C. (1995). Sardalya konservelelerinin histamin biyojen amini yönünden incelenmesi. *Gıda*, 5, 273-279.

Gram, L., & Dalgaard, P. (2002). Fish spoilage bacteria – problems and solutions. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(3), 262–266. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(02\)00309-9](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(02)00309-9).

Gilbert, R. J., Hobbs, G., Murray, C. K., Cruickshank, J. G., & Young, S. E. J. (1980). Scombrototoxic fish poisoning: Features of the first 50 incidents to be reported in Britain (1976-1979). *British Medical Journal*, 281, 70–73.

Halász, A., Baráth, Á., Simon-Sarkadi, L., & Holzapfel, W. (1994). Biogenic amines and their production by microorganisms in food. *Trends in Food Science & Technology*, 5(2), 42–49.

Havelka, B. (1967). Role of the *Hafnia* bacteria in the rise of histamine in tuna fish meat. *Cesk. Hygiene*, 12, 343-352.

Hernandez-Herrero, M. M., Roig-Sagues, A. X., Rodriguez-Jerez, J. J., & Mora-Ventura, M. T. (1999). Halotolerant and halophilic histamine-forming bacteria isolated during the ripening of salted anchovies (*Engraulis encrasicolus*). *Journal of Food Protection*, 62(5), 509-514.

Hernandez Jover, T., Izquierdo Pulido, M., Veciana Nogues, M. T., Marine Font, A., & Vidal Carou, M. C. (1997). Biogenic amine and polyamine contents in meat and meat products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6): 2098-2102.

Houicher, A., Kuley, E., Bendeddouche, B., & Ozogul, F. (2013). Histamine and tyramine production by bacteria isolated from spoiled sardine (*Sardina pichardus*). *African Journal of Biotechnology*, 12, 3288–3295.

Huss, H. H. (1995). *Quality and quality changes in fresh fish*. FAO Fisheries Technical Paper No. 348. Rome: FAO.

Ijomah, P., Clifford, M. N., Walker, R., Wright, J., Hardy, R., & Murray, C. K. (1991). The importance of endogenous histamine relative to dietary histamine in the etiology of Scombrototoxicosis. *Food Additives and Contaminants*, 8(4): 531-542.

Jeyasekaran, G., & Jeya-Shakila, R. (2003). Occurrence of Biogenic amine forming bacteria in cured fishery products of

Thoothukkudi Region of Tamil Nadu, India. *Asian Fisheries Science*, 16, 195-202.

Jeyashakila, R., Jeyasekaran, G., Aunto Princy Vyla, S., & Saravana Kumar, R. (2005). Effect of delayed processing on changes in histamine and other quality characteristics of 3 commercially canned fishes. *Journal of Food Science*, 70, M24–M29.

Kim, S. H., An, H., Wei, C. I., Visessanguan, W., Benjakul, S., Morrissey, M. T., Su, Y. C., & Pitta, T. P. (2003). Molecular detection of a histamine former, *Morganella morganii*, in albacore, mackerel, sardine, and a processing plant. *Journal of Food Science*, 68, 453–457.

Kim, S. H., Price, R. J., Morrissey, M. T., Field, K. G., Wei, C. I., & An, H. (2002). Histamine production by *Morganella morganii* in mackerel, albacore, mahi-mahi and salmon at various storage temperatures. *Journal of Food Science*, 67, 1522–1528.

Kimata, M., & Kawai, A. (1953). The freshness of fish and the amount of histamine presented in the meat. *Research Institute for Food Science*, 5: 25-54.

Kontominas, M. G. (2021). Fish spoilage and quality deterioration. *Foods*, 10(3), 673. <https://doi.org/10.3390/foods10030673>.

Koohdar, V. A., Razavilar, V., Kadivar, A., & Shaghayegh, A. (2012). Histamine producing bacteria isolated from frozen Longtail tuna (*Thunnus tonggol*). *African Journal of Microbiology Research*, 6, 751–756.

Koohdar, V. A., Razavilar, V., Motalebi, A. A., Mosakhani, F., & Valinassab, T. (2011). Isolation and identification of histamine – forming bacteria in frozen skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 10, 678–688.

Koral, S. (2012). *Türkiye’de geleneksel yöntemlerle işlenmiş balık ürünlerinde biyogenik amin miktarlarının tespiti ve oluşumuna neden olan faktörlerin incelenmesi*. (Doktora Tezi). KTU. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. 231 s.

Koutsoumanis, K., Lampropoulou, K., & Nychas, G.-J. E. (1999). Biogenic amines and sensory changes associated with the microbial flora of Mediterranean gilt-head sea bream (*Sparus aurata*) stored aerobically at 0, 8, and 15°C. *Journal of Food Protection*, 62, 398–402.

Krizek, M., Pavlicek, T., & Vacha, F. (2002). Formation of selected biogenic amines in carp meat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 1088–1093.

Krizek, M., Vacha, F., Vorlova, L., Lukasova, J., & Cupakova, S. (2004). Biogenic amines in vacuum-packed and non-vacuum-packed flesh of carp (*Cyprinus carpio*) stored at different temperatures. *Food Chemistry*, 88, 185–191.

Lehane, L., & Olley, J. (2000). Histamine fish poisoning revisited. *International Journal of Food Microbiology*, 58(1-2), 1-37.

Li, K., Bao, Y., Luo, Y., Shen, H., & Shi, C. (2012). Formation of biogenic amines in Crucian carp (*Carassius auratus*) during storage in ice and at 4°C. *Journal of Food Protection*, 75, 2228–2233.

Lopez-Sabater, E. I., Rodriguez Jerez, J. J., Roig Sagues, A. X., & Mora Ventura, M. T. (1994). Determination of histamine in fish using an enzymic method. *Food Additives and Contaminants*, 10(5), 593-602.

Lovenberg, W. (1973). Some vaso- and psychoactive substances in foods: amines, stimulants, depressants and hallucinogens. In: Coon, J.M. and Powers, J.L., Eds. *Toxicants*

Occurring Naturally in Foods. National Academy of Sciences, Washington DC, USA. 170-188.

Maijala, R. (1994). Histamine and tyramine production by a *Lactobacillus* strain subjected to external pH decrease. *Journal of Food Protection*, 57(3), 259-262.

Maijala, R. L., Eerola, S. H., Aho, M. A., & Hirn, J. A. (1993). The effect of GDL-induced pH decrease on the formation of biogenic-amines in meat. *Journal of Food Protection*, 56(2), 125-129.

Maintz, L., & Novak, N. (2007). Histamine and histamine intolerance. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(5), 1185–1196.

Masson F., Lebert A., Talon R., & Montel M. C. (1997). Effect of physico-chemical factors influencing tyramine production by *Carnobacterium divergens*, *Journal of Applied Microbiology*, 83(1), 36-42.

Middlebrooks, B. L., Toom, P. M., Douglas, W. L., Harrison, R. E., & Mcdowell, S. (1988). Effects of storage time and temperature on the microflora and amine development in spanish mackerel (*Scomberomorus maculatus*). *Journal of Food Science*, 53(4), 1024-1029.

Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., Gopal, T. K. S., Kumar, K. A., & Lalitha, K. V. (2009). Biogenic amines formation in seer fish (*Scomberomorus commerson*) steaks packed with O₂ scavenger during chilled storage. *Food Research International*, 42, 411–416.

Moini, S., Sotoodeh, A. M., Haghoo, A., Moslemi, M., Hosseini, S. V., Regenstein, J. M., Sanchez, X. F., Aflaki, F., & Yadollahi, F. (2012). Changes in biogenic amines and bacteria of tiger-toothed croaker (*Otolithes ruber*) during ice storage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 21, 147–155.

Naila, A., Flint, S., Fletcher, G., Bremer, P., & Meerdink, G. (2010). Control of biogenic amines in food – existing and emerging approaches. *Journal of Food Science*, 75, 139–150.

Nassar, A. M., & Emam, W. H. (2002). Biogenic amines in chicken meat products in relation to bacterial load, pH value and sodium chloride content. *Nahrung/Food*, 46(3), 197–199.

Okuzumi, M., Fukumoto, I., & Fujii, T. (1990). Changes in Bacterial-flora and polyamines contents during storage of horse mackerel meat. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56(8), 1307-1312.

Ozogul, F., Ozogul, Y., & Kuley, E. (2008). Nucleotide degradation and biogenic amine formation of wild white grouper (*Epinephelus aeneus*) stored in ice and at chill temperature (4°C). *Food Chemistry*, 108, 933–941.

Ozyurt, G., Kuley, S., Ozkutuk, S., & Ozogul, F. (2009). Sensory, microbiological and chemical assessment of the freshness of red mullet (*Mullus barbatus*) and gold band goatfish (*Upeneus moluccensis*) during storage in ice. *Food Chemistry*, 114, 505–510.

Pons-Sanchez-Cascado, S., Veciana-Nogues, M. T., & Vidal-Carou, M. C. (2003). Effect of delayed gutting on biogenic amine contents during ripening of European anchovies. *European Food Research and Technology*, 216, 489–493.

Prester, L. (2011). Biogenic amines in fish, fish products and shellfish: A review. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28(11), 1547–1560. <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.600728>.

Prester, L., Macan, J., Varnai, V. M., Orct, T., Vukusic, J., & Kipic, D. (2009). Endotoxin and biogenic amine levels in atlantic mackerel (*Scomber scomber*), sardine (*Sardine pilchardus*) and Mediterranean hake (*Merluccius merluccius*) stored at 22°C. *Food Additives & Contaminants*, 26, 355–356.

Rawles D. D., Flick G. J., & Martin R. E. (1996). Biogenic amines in fish and shellfish. In: Taylor, S., Ed. *Advances in Food and Nutrition Research*. Academic Press. 329-365.

Rezaei, M., Montazeri, N., Langrudi, H. E., Mokhayer, B., Parviz, M., & Nazarinia, A. (2007). The biogenic amines and bacterial changes of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored in ice. *Food Chemistry*, 103, 150–154.

Rodriguez-Jerez, J. J., Lopez-Sabater, E. I., Hernandez-Herrero, M. M., & Mora-Ventura, M. T. (1994). Histamine, putrescine and cadaverine formation in spanish semipreserved anchovies as affected by time/temperature. *Journal of Food Science*, 59(5), 993-997.

Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. M. (2019). Impact of biogenic amines on food quality and safety. *Foods*, 8(2), 62. <https://doi.org/10.3390/foods8020062>.

Ruiz-Capillas, C., & Jiménez-Colmenero, F. (2010). Biogenic amines in seafood products. In L. M. L. Nollet & F. Toldrá (Eds.), *Safety analysis of foods of animal origin* (pp. 383–404). Boca Raton, FL: CRC Press.

Ruiz-Capillas, C., & Jiménez-Colmenero, F. (2011). Biogenic amines in seafood products. In L. M. L. Nollet & F. Toldrá (Eds.), *Handbook of seafood and seafood products analysis* (pp. 437–456). Boca Raton, FL: CRC Press.

Shalaby, A. R. (1996). Significance of biogenic amines to food safety and human health. *Food Research International*, 29(7), 675–690.

Shi, C., Cui, J., Lu, H., Shen, H., & Luo, Y. (2012). Changes in biogenic amines of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets stored at different temperatures and their relation to total

volatile base nitrogen, microbiological and sensory score. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 3079–3084.

Sil, S., Joseph, J., & Kumar, K. A. (2008). Changes in biogenic amines during iced and ambient temperature storage of tilapia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 2208–2212.

Silla-Santos, M. H. (1996). Biogenic amines: Their importance in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 29(2–3), 213–231.

Silva, C. C. G., Da Ponte, D. J. B., & Enes Dapkevicius, M. L. N. (1998). Storage temperature effect on histamine formation in big eye tuna and skipjack. *Journal of Food Science*, 63, 644–647.

Słomkowska, A., & Ambroziak, W. (2002). Biogenic amine profile of the most popular Polish beers. *European Food Research and Technology*, 215, 380–383.

Stratton, J. E., Hutkins, R. W., & Taylor, S. L. (1991). Biogenic amines in cheese and other fermented foods: A review. *Journal of Food Protection*, 54(6), 460–470.

Taylor, S. L., Guthertz, L. S., Leatherwood, M., & Lieber E. R. (1979). Histamine production by *Klebsiella-Pneumoniae* and an incident of scombroid fish poisoning. *Applied and Environmental Microbiology*, 37(2), 274–278.

Taylor, S., & Speckhard, M. (1983). Isolation of histamine-producing bacteria from frozen tuna. *Marine Fisheries Review*, 45, 35–39.

Taylor, S. L., Stratton, J. E., & Nordlee, J. A. (1989). Histamine poisoning (Scombroid fish poisoning): An allergy-like intoxication. *Clinical Toxicology*, 27, 225–240.

Teodorovic, V., Buncic, S., & Smiljanic, D. (1994). A study of factors influencing histamine production in meat, *Fleischwirtschaft*, 74(2), 181-183.

ten Brink, B., Damink, C., Joosten, H. M. L. J., & Huis in't Veld, J. H. J. (1990). Occurrence and formation of biologically active amines in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 11(1), 73-84.

Til, H. P., Falke, H. E., Prinsen, M. K., & Willems, M. I. (1997). Acute and Subacute toxicity of tyramine, spermidine, spermine, putrescine and cadaverine in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 35(3-4): 337-348.

Turantaş, F., & Öksüz, A. (1998). Balık ve balık ürünlerinde biyogenik aminler ve amin üretiminde rol oynayan bakteriler. *Gıda Teknolojisi*, 3(5), 58-65.

Ucak, I., Gokoglu, N., Kiessling, M., Toepfl, S., & Galanakis, C. M. (2019). Inhibitory effects of high pressure treatment on microbial growth and biogenic amine formation in marinated herring (*Clupea harengus*) inoculated with *Morganella psychrotolerans*. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology*, 99, 50-56.

Visciano, P., Schirone, M., Tofalo, R., & Suzzi, G. (2014). Histamine poisoning and control measures in fish and fishery products. *Frontiers in Microbiology*, 5, 500. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00500>.

Wendakoon, C. N., Murata, M., & Sakaguchi, M. (1990). Comparison of nonvolatile amine formation between the dark and white muscles of mackerel during storage. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56(5), 809-818.

Yatsunami, K., & Echigo, T. (1993). Changes in the number of halotolerant histamine-forming bacteria and contents of

nonvolatile amines in sardine meat with addition of NaCl. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59(1), 123-127.

Yoshida, A., & Nakamura A. (1982). Quantitation of histamine in fishes and fishes products by high performance liquid chromatography. *Food Hygiene and Safety Science (Shokuhin Eiseigaku Zasshi)*, 23(4), 339-343.

Zhang, Y., Qin, N., Luo, Y., & Shen, H. (2015). Effects of different concentrations of salt and sugar on biogenic amines and quality changes of carp (*Cyprinus carpio*) during chilled storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 1157–1162.

BÖLÜM 12

AKUAKÜLTÜRDE YENİ TEKNOLOJİLERİN KULLANIMI

ERHAN ERDOĞAN¹
DURALİ DANABAŞ²

Giriş

Su ürünleri yetiştiriciliği, insan beslenmesi için yüksek kaliteli protein sağlayan ve uzun bir geçmişe sahip olan önemli bir üretim alanıdır. Son yıllarda tarım sektörleri arasında en hızlı büyüyen alanlardan biri hâline gelen su ürünleri yetiştiriciliğinde elde edilen üretim miktarı, özellikle 2013 yılından itibaren avcılıkla elde edilen üretimi aşmıştır (FAO, 2020).

Geçtiğimiz 50 yılda, bilimsel uygulamaların artması ve yeni teknolojilerin tanıtılması su ürünleri yetiştiriciliğinin hızlı bir şekilde gelişmesini desteklemiştir (Burnell & Allan, 2009). Türler, yemler, üretim sistemleri, hastalıklar, ürünler, iş yapıları ve pazarlama açısından su ürünleri yetiştiriciliği, tarımdaki diğer sektörlerden daha çeşitlidir (FAO, 2020). Bilimsel ve teknolojik gelişmeler su

¹ Araş. Gör. Dr., Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Orcid: 0000-0002-3013-3045

² Prof. Dr., Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Orcid: 0000-0002-8947-3749

ürünleri yetiştiriciliğinin hemen hemen her yönüne önemli ölçüde fayda sağlamıştır. Örneğin, gelişmiş üreme teknolojileri insanların su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin yaşam döngülerini kontrol altına almasını sağlamış ve bu da su ürünleri yetiştiriciliğinde tür çeşitliliğinin artmasını sağlamıştır (Weber & Lee, 2014). Mikro algler, deniz yosunları, rotiferler, karidesler ve diğer bazı kopepodlar dahil olmak üzere canlı yemlerin kuluçkahanelerde kullanımının geliştirilmesi, bazı deniz türlerinin kültüre alınmasındaki sorunları büyük oranda çözmüştür (Conceição & ark., 2010). Kantitatif genetiğin yardımıyla seçici üreme, 60'tan fazla su ürünleri türünde ticari öneme sahip özellikleri önemli ölçüde iyileştirmiştir (Gjedrem & Robinson, 2014). Cinsiyet değiştirme teknolojisi ve cinsiyet belirlemeyle ilişkili DNA çalışmaları, tek cinsiyetli tilapiaların üretimini mümkün kılmıştır. Moleküler ebeveynlik çalışmaları, toplu çaprazlamalarda aile içi seçilime imkân sağlamış ve böylece akraba evliliği riskleri azaltılmıştır (Xu & ark., 2020). QTL (kantitatif özelliklerin gen bölgeleri) haritalaması ve Markör destekli seleksiyon (MAS), tek genler ve birkaç ana gen tarafından belirlenen özelliklerin seçilmesini sağlamıştır (Houston & ark., 2008). Balık besleme üzerine yapılan birçok bilimsel çalışmada balık türünün besin gereksinimlerine bağlı olarak düzenlenen yem formüllerinin yem dönüşüm oranını (FCR) iyileştirdiği ve yem maliyetini düşürdüğü belirtilmiştir. Hastalıkların yönetiminde kullanılan teknolojiler, su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalıkların oluşumunu önemli ölçüde azaltmıştır (Kelly ve Renukdas, 2020).

Teknolojik yenilikler & ark, dünyadaki büyüyen nüfusun sürekli artan deniz ürünleri taleplerini karşılamak için su ürünleri yetiştiriciliğinde muazzam bir büyümeye katkıda bulunmuş olsa da nüfus artışına bağlı ihtiyacın karşılanabilmesi için daha fazla su ürünleri yetiştiriciliği ürünü üretmek şarttır (FAO, 2020). Su ürünleri yetiştiriciliğinin daha sürdürülebilir ve karlı bir şekilde geliştirilmesini sağlamak için giderek daha fazla yeni teknoloji

geliştirilmekte ve su ürünleri yetiştiriciliği sektörüne katılmaktadır (Abdelrahman & ark., 2017). Teknolojik gelişimler, küresel su ürünleri üretimini ve karlılığını artırmak için giderek daha fazla yeni yollar sunacaktır.

Bu teknolojiler arasında genomik seçilim (GS) (Houston & ark., 2020), genom düzenleme (GE) (Gratacap & ark., 2019), bilgi/dijital teknoloji (Hassan & Hasan, 2016), resirküle su ürünleri yetiştirme sistemleri (RAS) ve güneş enerjisi (Aich & ark., 2020), açık deniz yetiştiriciliği (offshore) (Froehlich & ark., 2017; Hodor & ark., 2020), oral aşılar (Shefat, 2018), blok zinciri ile yeni pazarlama stratejileri ve su ürünleri yetiştiriciliğinin farklı bölümlerinin nesnelerin interneti (IOT) ile entegrasyonu (Anderson & ark., 2019) ve diğerleri yer almaktadır.

Genetik İyileştirme İçin Yeni Moleküler Teknolojiler

Üreme yoluyla genetik iyileştirme, dünya su ürünleri yetiştiriciliğinin patlamasında anahtar rol oynamıştır. Geleneksel yetiştirme programları kritik bir rol oynamıştır ve küresel su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisini ileriye taşımaya devam edecektir (Gjedrem & Robinson, 2014). Mevcut yetiştirme programlarına moleküler teknolojilerin dahil edilmesi, bazı su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin genetik iyileştirilmesini önemli ölçüde hızlandırmıştır. İşaretleyici destekli seçilim (MAS), somonda IPN'ye karşı direnç (Houston & ark., 2008), Japon pisi balığında lenfosit (Fuji & ark., 2007) ve tilapya da tüm erkek balıkların üretilmesi (Chen & ark., 2019) dahil olmak üzere hastalık direncini iyileştirmek için zaten uygulanmıştır. Cinsiyet kontrolü, poliploidizasyon, jinogenez ve androjenez dahil olmak üzere diğer biyoteknolojiler, su ürünleri yetiştiriciliği verimliliğini iyileştirmede önemli bir rol oynamıştır (Zhou & Gui, 2018).

Genomik seçilim (GS) (Meuwissen & ark., 2001), moleküler ıslahın yeni bir yaklaşımıdır. GS, performansın öngörücüleri olarak

birçok belirtici kullanır ve sonuç olarak ıslah değerlerinin daha doğru tahminlerini sunar (Şekil 1). Dizileme ve biyoenformatik teknolojilerindeki sürekli ilerlemeler ve SNP (tek nükleotid polimorfizmi) genotiplemesinin maliyetindeki düşüşle birlikte, tüm genomu kapsayan SNP'leri kullanan ve/veya özelliklerle ilişkili seçilmiş SNP'leri kullanan GS, seçici ıslahı optimize etmek ve genetik iyileştirmeyi hızlandırmak için giderek daha fazla su ürünleri yetiştiriciliği türüne uygulanmaktadır (Shen & Yue, 2019). GS hakkında ayrıntılar önceki incelemelerde bulunabilir (Houston & ark., 2020).

CRISPR/Cas kullanılarak yapılan genom düzenleme (GE), düzenlenecek genler bilindiğinde (Şekil 1) su ürünleri yetiştiriciliği türlerinin genetik gelişimini hızlandırabilir (Gratacap & ark., 2019). GE, genoma uygun alellerin hızla tanıtılmasını, önemli özellikleri belirleyen lokuslarda istenen alellerin sıklığının artırılmasını, yeni aleller üretilmesini ve/veya diğer türlerden uygun alellerin tanıtılmasını sağlar (Shen & Yue, 2019). Su ürünleri yetiştiriciliği türleri, yüksek doğurganlıkları ve aynı anda birçok birey için genom düzenlemesine olanak tanıyan dış döllenme nedeniyle GE için özellikle uygundur. Okuyucular, GE ve olası zorluklara ilişkin ayrıntılı yaklaşımları yayınlanmış incelemelerde ve kitaplarda bulabilirler. Su ürünleri yetiştiriciliği türlerinde GE'deki önemli bir konu, özellikleri hızla değiştirmek için düzenlenebilen doğru genleri bulmaktır. Model organizmalarda, çiftlik hayvanlarında, insanlarda ve popüler su ürünleri yetiştiriciliği türlerinde gen fonksiyonlarının bilinmesi, düzenleme için doğru genlerin seçilmesinde yararlı bilgiler sağlayabilir.

GS ve GE'deki gelişmeler, birçok su ürünleri yetiştiriciliği türünün ekonomik açıdan önemli özelliklerinin iyileştirilmesine yardımcı olarak su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisini önemli ölçüde yeniden şekillendirmeye hazırdır. Gelecekte, GS ve GE'yi gelişmiş geleneksel yetiştirme stratejileri ve olgunlaşmış biyoteknolojilerle

birleştirmek, su ürünleri yetiştiriciliğinde genetik iyileştirmeyi önemli ölçüde hızlandıracaktır. Umuyoruz ki, tüketiciler GE'nin faydalarını ve risklerini anlayacak ve su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde genetik iyileştirme için bu ortaya çıkan teknolojileri kabul edecektir. Elbette, GE'den kaynaklanan organizmaların ticari üretim için serbest bırakılıp bırakılamayacağını değerlendirmek için düzenleyici kriterleri yürürlüğe koymak esastır.

Bilgi/Dijital Teknolojiler

Son elli yıl içerisinde su ürünleri yetiştiriciliği alanında kaydedilen hızlı ve kapsamlı ilerlemelere rağmen, sektörün uzun vadeli kârlılığının ve çevresel açıdan sürdürülebilir üretim kapasitesinin artırılabilmesi için çözüm bekleyen birçok yapısal ve teknik sorun varlığını sürdürmektedir (FAO, 2020). Aşağıda bahsedilen bilgi/dijital teknolojiler (şekil 1), su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe devrim yaratma gücüne sahip olabilir.

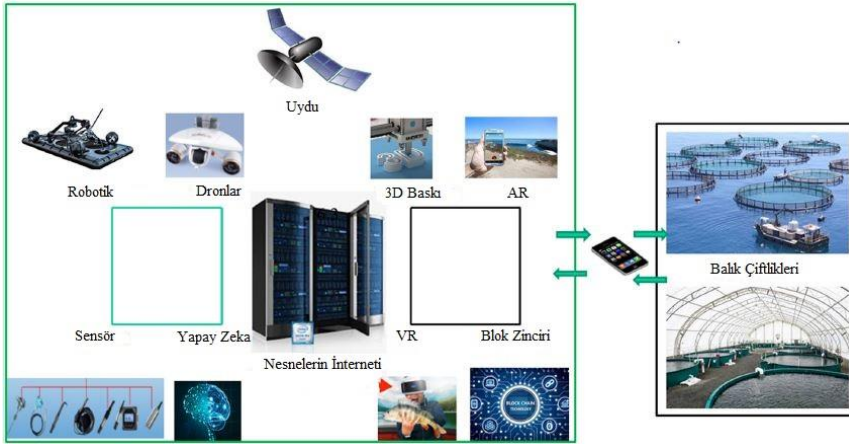
Zahmetli İşleri Robotikle Yapmak

Su ürünleri yetiştiriciliği üretimi oldukça karmaşık ve çok bileşenli bir süreçtir. Besleme, havuz ve ağların temizlenmesi, balık davranışlarının sürekli izlenmesi ve hasta bireylerin ortamdan uzaklaştırılması gibi işlemler yoğun emek gerektirmekte ve yüksek maliyet oluşturmaktadır (Lucas & ark., 2019). Bu nedenle, söz konusu görevlerin manuel olarak yürütölmesi çoğu zaman zorluk yaratmakta ve verimliliği sınırlamaktadır. Ayrıca, su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe yetiştirilen türlerin ve kullanılan kültür sistemlerinin çeşitliliği oldukça fazladır. Bu çeşitlilik, tüm türler ve sistemler için evrensel olarak uygulanabilir teknolojik çözümlerin geliştirilmesini güçleştirmekte; mevcut özelleştirilmiş sistemlerin sayısını ise sınırlı kılmaktadır (Kruusmaa & ark., 2020).

Teknolojik açıdan değerlendirildiğinde, su ürünleri yetiştiriciliğinde karşılaşılan bu karmaşık operasyonlara yönelik çeşitli robotik çözümler mevcuttur. Robotlar; besleme, havuz ve ağ

temizliği, aşılama işlemleri ve hasta balıkların tespiti ve uzaklaştırılması gibi kritik görevlerde etkin biçimde kullanılabilir (Antonucci & Costa, 2020). Bu bağlamda, robotik sistemler hem iş gücü gereksinimini azaltma hem de riskli görevlerde insan müdahalesini asgariye indirme potansiyeline sahiptir. Nitekim somon yetiştiriciliğinde ağ durumunun izlenmesi ve temizliğinde otomatik su altı robotlarının halihazırda kullanıldığı, bunun da insan operasyonlarını önemli ölçüde azalttığı bildirilmektedir (Paspalakis & ark., 2020).

Şekil 1. Su ürünleri üretimini daha da artırmak için uygulanabilir, yeni ve dönüştürücü bilgi/dijital teknolojiler. Bilgi/dijital teknolojiler arasında robotik, dronlar, sensörler, yapay zeka (AI), 3D baskı, artırılmış gerçeklik (AR), sanal gerçeklik (VR) ve blok zinciri yer almaktadır. Bu teknolojiler, uydular, nesnelerin interneti (IoT) ve cep telefonları aracılığıyla çiftliklerle bağlantılıdır.



Kaynak: https://www.researchgate.net/figure/Emerging-and-disruptive-information-digital-technologies-applicable-to-further-increase_fig2_352314228

Robotik teknolojiler ayrıca balık sağlığının izlenmesi, çiftlik balıklarının kaçışlarının tespiti ve önlenmesi gibi operasyonlarda da uygulanmaktadır (Ohrem & ark., 2020). Bu sistemlerin kötü çevresel koşullarda dahi kesintisiz çalışabilmesi, su ürünleri yetiştiriciliğinde

sürdürülebilirliği ve kârlılığı artırma potansiyeli sunmaktadır. Ek olarak, balık davranışlarının gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi, yönetim kararlarının doğruluğunu ve çiftlik operasyonlarının etkinliğini artırmaktadır (Kruusmaa & ark., 2020). Robotfish, Cermaq, Innovasea, SINTEF, SeaVax, Subblue ve Massachusetts Institute of Technology (MIT)'nin AUV laboratuvarı dahil olmak üzere birçok araştırma enstitüsü ve şirket, su ürünleri yetiştiriciliği için çeşitli tipte robotlar geliştirdi ve geliştirmeye devam ediyor. Bazı tipler test edildi ve etkili olduğu kanıtlandı. Tüm bu heyecan verici robotik ürünlere rağmen, tam otomatik su ürünleri yetiştiriciliğinin şu anda hala imkânsız olduğunu ve kısa vadede (örneğin 5-10 yıl) gerçekleştiremeyebileceğini belirtmek önemlidir. Ancak, önümüzdeki 5-10 yılın balıkların robotların yardımıyla nasıl yetiştirildiği konusunda önemli değişiklikler getireceği kesindir. Ayrıca robotik kullanılarak yapılan herhangi bir otomasyonun her türün, kültür sisteminin ve çeşitli ortamların özgüllüğünü dikkate alması gerektiği unutulmamalıdır.

Veri Toplama Amaçlı Dronlar

Yukarıda belirtilen robotik sistemlere benzer şekilde, dron teknolojileri de su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe hem su yüzeyinde hem de su altında çok çeşitli operasyonların yürütülmesine imkân tanımaktadır. Özellikle açık deniz yetiştiriciliğinde dronlar; karasal ve denizel ortamlarda kurulu balık çiftliklerinin uzaktan izlenmesi, kafeslerde meydana gelebilecek delik ve yapısal hasarların tespiti gibi kritik görevlerde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Sousa & ark., 2019). Subblue, Qifai, Apium Swarm Robotics, Blueye Pioneer ve SeaDrone gibi çeşitli araştırma kurumları ile ticari şirketler, su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarına özel dron sistemleri geliştirmekte ve üretmektedir. Bu platformlar, insan operatörlerin erişiminin zor veya riskli olduğu bölgelerden veri toplayabilmeleri nedeniyle sektöre önemli avantaj sağlamaktadır. Toplanan bu veriler, su ürünleri yetiştiriciliği

süreçlerinin verimliliğini artırmaya yönelik yeni algoritmaların geliştirilmesinde kullanılabilmekte ve teknoloji tabanlı üretim yönetimini desteklemektedir (Yoo & ark., 2020). Nitekim Saildrone tarafından yürütülen çalışmalar; çiftlik verilerinin toplanması, balık stoklarının analizi ve çevresel koşulların izlenmesi gibi görevlerin dronlar aracılığıyla başarıyla yerine getirilebildiğini göstermektedir. Bu veriler, denizel yetiştiricilik uygulamalarına doğrudan entegre edilebilecek niteliktedir. Yapay zekâ ve bulut bilişim teknolojileriyle bütünleştirilen dron sistemlerinin, su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde operasyonel maliyetleri azaltacağı ve süreç optimizasyonunu önemli ölçüde geliştireceği öngörülmektedir (Chen & ark., 2020). Ayrıca, tarım ve su ürünleri yetiştiriciliğinde dron kullanımına yönelik küresel pazarın 2025 yılına kadar 5,19 milyar ABD doları büyüklüğüne ulaşacağı tahmin edilmektedir (Meticulous Market Research Pvt. Ltd.). Bu durum, dron teknolojilerinin sektörde giderek artan stratejik önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Su Parametrelerini Ölçmek ve Beslenme ve Sağlık Durumunu İzlemek İçin Sensörler

Sensörler, çözünmüş oksijen (DO) seviyeleri, pH değerleri, tuzluluk, bulanıklık ve kirletici konsantrasyonu dahil olmak üzere su parametrelerini toplamak için kullanılabilir (Su & ark., 2020). Aslında, yukarıda belirtilen robotların ve dronların çoğu, suda gerçek zamanlı veri elde etmek için sensörler kullanır. Su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde, DO seviyelerini, su tuzluluğunu ve sıcaklığını analiz etmek için biyosensörler geliştirilmiş ve uygulanmıştır (Antonucci & Costa, 2020; Su & ark., 2020). Somon endüstrisinde, bireylerin kalp atış hızı ve metabolizması izlenebilir ve kaydedilebilir (Svendsen & ark., 2020). İnternete bağlı su altı sensörleri kullanılarak, kafeslerde, göletlerde ve nehirlerde yetiştirilen balıkların açlık durumu izlenebilir ve böylece buna göre beslenme gerçekleştirilebilir (Zhou & ark., 2019). Açlık durumuna

göre uygun besleme, yem kullanımını önemli ölçüde artırabilir ve yem israfını azaltabilir, böylece toplam üretim maliyetlerini düşürebilir. Avrupa'da deniz bilimcileri, su ürünleri yetiştiriciliği şirketleri, balık çiftçileri ve araştırma mühendislerinden oluşan bir konsorsiyum, kimyasal kirleticileri, zararlı alg patlamalarını, patojenleri ve toksinleri tespit etmek ve izlemek için otomatik ve entegre bir platform geliştirmek için çalışmaktadır (Johnston, 2018). Norveçli AKVA Group (<https://www.akvagroup.com>), sensörler ve kameralarla açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği için devasa bir kafes inşa etti. Çin, su kalitesini, balıkların açlık durumunu, ağ durumunu ve balık hareketini izlemek için birçok sensöre sahip birkaç derin deniz kafesi geliştirdi (Chu & ark., 2020).

Bulut tabanlı veri yönetimi ve mobil iletişim teknolojileriyle bütünleştirilen su altı sensörleri, balıklar için ideal yetiştirme koşullarının korunmasına olanak tanımakta ve su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde büyüme performansının ile yem dönüşüm oranlarının optimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Gelecekte, bireysel balıkların stres düzeylerini ölçebilecek ve sucul ortamdaki patojenleri gerçek zamanlı olarak tespit edebilecek gelişmiş sensörlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tür sensörlerin, canlı balıklara minimal müdahale ile yerleştirilebilecek veya doğrudan su ortamına konumlandırılabilir şekilde tasarlanması; ayrıca karada, teknelerde veya uydularda bulunan alıcı istasyonlara güçlü ve güvenilir sinyaller iletebilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, biyoteleometri ve kablosuz iletişim alanındaki teknolojik ilerlemeler bu yöndeki araştırmalar için kritik bir itici güç oluşturmaktadır. Bu bağlamda, Stanford Üniversitesi araştırmacıları tarafından insanların stres düzeylerini ve genel sağlık durumlarını izlemek amacıyla kortizol tespit eden giyilebilir cihazların geliştirilmesine yönelik çalışmalar (Parlak & ark., 2018), benzer biyosensör teknolojilerinin su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılmasına ilham verebilecek niteliktedir. Böyle bir yaklaşım,

sucul organizmaların fizyolojik durumlarının daha hassas, sürekli ve invaziv olmayan yöntemlerle takip edilmesine olanak sağlayarak sektörün sürdürülebilirliğine önemli katkı sunacaktır.

Yapay Zeka Hızlı ve Kesin Kararlar Alınmasını Sağlar

Robotlar, dronlar ve sensörler aracılığıyla hızlı ve gerçek zamanlı veri toplanabilmesine rağmen, elde edilen bu büyük veri hacminin etkin şekilde işlenerek doğru kararların alınması hâlen önemli bir zorluk oluşturmaktadır (Evensen, 2020; Jothiswaran & ark., 2020). Bu nedenle günümüzde birçok araştırma enstitüsü ve su ürünleri yetiştiriciliği teknolojisi girişimi, karar destek süreçlerini iyileştirmek amacıyla yapay zekâ (AI) uygulamalarını araştırmakta ve hayata geçirmektedir (Evensen, 2020). Sürdürülebilir balıkçılıkta yapay zekanın faydaları endüstriyel operasyonlarla sınırlı değildir; aynı zamanda yerel ve yerli toplulukları da güçlendirirler (Aksu & Altınterim, 2024). Yapay zekâ, su ürünleri yetiştiriciliğinde pek çok operasyonu daha az emek yoğun hâle getirerek üretimin kısa sürede artırılmasına katkı sunmaktadır. Yemleme, su kalitesi kontrolü, hasat ve işleme gibi süreçler AI tabanlı sistemlerle otomatikleştirilebilmekte, böylece iş gücü ihtiyacı önemli ölçüde azalmakta ve operasyonel verimlilik artmaktadır (Jothiswaran & ark., 2020). Ayrıca, yapay zekâ destekli izleme ve optimizasyon sistemleri sayesinde girdi israfı azaltılabilmekte ve toplam üretim maliyetleri %30'a varan oranlarda düşürülebilmektedir. Bu durum, AI'nın daha düşük bakım gereksinimi ve azaltılmış girdi maliyetiyle balık üretim sistemleri üzerinde kapsamlı bir kontrol sağlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, AI uygulamalarının etkili bir şekilde geliştirilebilmesi ve uygulanabilmesi için geniş, çeşitli ve yüksek kaliteli veri setlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sınırlı veri mevcudiyeti, yapay zekâ modellerinin genellenebilirliğini ve doğruluğunu kısıtlayan temel engellerden biridir. Bu nedenle balık çiftliklerinin, büyük yetiştiricilik şirketlerinin ve araştırma kurumlarının üretim ve

pazarlama süreçlerine ilişkin verilerini paylaşmaları giderek daha kritik hâle gelmektedir. Yalnızca farklı türlerin çeşitli yetiştirme koşullarını kapsayan yeterli sayıda veri setinin oluşturulması ve kamuya açık veri tabanlarının geliştirilmesiyle, araştırmacılar ve sektör paydaşları daha geniş çeşitlilikte örnek veriyi kullanarak gelişmiş algoritmalar üretebilecek; böylece su ürünleri yetiştiriciliğinde daha doğru, hızlı ve etkili kararlar alınması mümkün olacaktır.

Artırılmış Gerçeklik (AR), Üretim Verimliliğini Artırır ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği Eğitimini Geliştirir

AR, gerçek dünya ortamının bilgisayar tarafından oluşturulan algısal bilgilerle zenginleştirilmesine dayanan etkileşimli bir deneyim sunmaktadır (Jung, 2019). AR uygulamalarında dijital olarak üretilmiş nesneler, gerçek çevreye eklenerek kullanıcıların algısını iyileştirmekte; bu sayede fiziksel ortama ilişkin daha net, veriyle desteklenmiş ve işlevsel bir izlenim oluşturulmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetleri, tür özellikleri, coğrafi konum ve kullanılan kültür sistemlerine bağlı olarak oldukça değişken, öngörülemez ve emek yoğun bir yapıya sahiptir (FAO, 2020). Bu bağlamda AR teknolojisi, balık davranışlarının izlenmesi, ağılardaki delik ve hasarların tespiti, ölü balıkların belirlenmesi gibi operasyonlarda maliyetleri azaltma, zaman tasarrufu sağlama ve su altı robotları ile dron operasyonlarını kolaylaştırma potansiyeline sahiptir (Stene, 2019). AR'nin sunacağı gelişmiş görünürlük, çiftçilere üretim alanları üzerinde daha bütüncül bir kontrol imkânı sunmakta ve operasyonların daha güvenli, hızlı ve risksiz biçimde yürütülmesini sağlamaktadır. Nitekim AR, su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe üretim verimliliğini artırma, balık sağlığını ve mortalite oranlarını izleme, su parametrelerini analiz etme gibi amaçlarla halihazırda kullanılmaktadır. Son yıllarda, yerinde su kalitesi verilerinin toplanmasını ve sorgulanmasını geliştirmek üzere AR ile bulut

teknolojilerini birleştiren hibrit sistemler tasarlanmıştır (Xi & ark., 2019).

AR'nin bir diğerk önemli uygulama alanı ise eğitim ve öğretimdir. Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (NTNU), öğrencilere balık refahı, hastalık önleme, kaçak balıkların tespiti ve tehlikeli çalışma koşulları gibi konularda eğitim vermek için AR ve sanal gerçeklik (VR) tabanlı uygulamalar geliştirmiştir (Stene, 2019). Bu tür uygulamalar, yetiştiricilik sektöründe bilgi aktarımını daha etkili hâle getirmekte ve saha uygulamalarına yönelik pratik bir öğrenme ortamı sunmaktadır.

AR'nin su kalitesi yönetimi, uzaktan iş birliği, operasyonel planlama ve yönetim toplantıları gibi birçok alanda balık çiftliklerinin optimum yönetimine önemli katkılar sağlayabileceği açıktır. Ancak, bu sistemlerin maliyeti özellikle küçük ölçekli balık çiftlikleri açısından kritik bir sınırlayıcı faktör olmayı sürdürmektedir. Bu nedenle, AR'nin sektörde daha geniş bir kullanım alanı bulabilmesi için basit, erişilebilir ve uygun maliyetli yazılım çözümlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Eğitim ve Danışmanlık İçin Sanal Gerçeklik (VR)

Sanal gerçeklik (VR), sanal nesnelerin gerçek zamanlı olarak dijital bir arayüz üzerinden kullanıcıya aktarılmasıyla çevresel durumların simüle edilmesini sağlayan bir teknolojidir. VR, kullanıcıların gerçek boyutlu üç boyutlu modelleri algılamasına, incelemesine ve bağlamsal bilgileri deneyimlemesine imkân tanıyan bir dizi etkileşimli uygulamaya dayanmaktadır (Ferreira & ark., 2012).

Su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde VR'nin öğretim, eğitim ve danışmanlık gibi çeşitli potansiyel kullanım alanları bulunmaktadır. Örneğin VR teknolojisi, Norveç'te genç bireylerin su ürünleri yetiştiriciliğine olan ilgisini artırmak amacıyla eğitim süreçlerine entegre edilmiştir (Prasolova-Førland & ark., 2019).

Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (NTNU), öğrencilerin bir balık çiftliğindeki gerçek operasyonları ve çalışma koşullarını deneyimleyebilmelerine olanak tanıyan VR tabanlı bir sistem geliştirmiştir (Boe & Prasolova-Førland, 2015). Benzer şekilde Çin’de Dalian Ocean University, yüksek riskli çalışma ortamlarının, yüksek işletme maliyetlerinin ve geleneksel laboratuvar temelli öğretimin sınırlayıcı koşullarını aşmak amacıyla VR, multimedya ve insan-bilgisayar etkileşimini bir araya getiren sanal bir simülasyon platformu oluşturmuştur (Chen & Zhang, 2017). Bu tür platformlar hem öğrenciler hem de profesyoneller için güvenli, maliyet etkin ve tekrar edilebilir öğrenme fırsatları sunmaktadır.

VR’nin su ürünleri yetiştiriciliğinde yalnızca eğitim değil; aynı zamanda operasyonel danışmanlık ve karar destek süreçlerinde de kullanılması mümkündür. Özellikle VR teknolojisinin Nesnelerin İnterneti (IoT) ile bütünleştirilmesi (Gubbi & ark., 2013), gerçek zamanlı veriye dayalı üç boyutlu karar destek sistemlerinin geliştirilmesini sağlayarak VR'nin öğretim, eğitim ve danışmanlık uygulamalarını önemli ölçüde genişletecektir.

Su Ürünleri Yetiştiriciliği İçin Araçlar Üretmek Üzere 3D Baskı Teknolojileri

3D baskı teknolojisi, dijital bir dosyadan üç boyutlu katı bir nesnenin eklemeli imalat yöntemleri aracılığıyla üretilmesini mümkün kılmaktadır. Bu süreçte, nesne tamamlanıncaya kadar ardışık malzeme katmanlarının birbiri üzerine yerleştirilmesiyle nihai ürün oluşturulur (Mostafaei & ark., 2020). Dijitalleşme ve baskı teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, 3D yazıcıların daha erişilebilir ve ekonomik hale gelmesini sağlamaktadır (Awad & ark., 2020).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde 3D baskı uygulamaları hâlen erken aşama geliştirme dönemindedir. Bu teknoloji, hidroponik sistemlerin üretiminde ve biyomimetik balık robotlarının

tasarımında kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda ise sucul türlerde sperm vitrifikasyonu için yenilikçi 3D baskı yöntemleriyle üç boyutlu vitrifikasyon cihazı prototipleri geliştirilmiştir. Bu cihazlar, spermin hızlı ve düşük maliyetli biçimde korunmasını kolaylaştırmakta; özellikle küçük testislere sahip küçük sucul türlerde yürütülen araştırmalar ile saha koşullarında gerçekleştirilen düşük hacimli kriyoprezervasyon çalışmalarına uygun bir altyapı sunmaktadır. Ayrıca, sıcaklık, çözünmüş oksijen ve pH gibi temel su parametrelerini izlemek amacıyla 3D yazıcılarla üretilmiş sensör sistemleri üzerinde de çalışmalar sürmektedir (Banna & ark., 2017). Bununla birlikte, 3D baskının su ürünleri yetiştiriciliğine geniş ölçekte entegrasyonu; ekipman ve üretim maliyetleri, son işlem gereksinimleri ile sucul ortamlara uygun malzeme çeşitliliğinin sınırlı olması gibi çeşitli teknik ve ekonomik zorlukları beraberinde getirmektedir (Yeh & Chen, 2018). Bu engellerin aşılabilmesi için su ürünleri yetiştiriciliği araştırmacıları, balık yetiştiricileri, mühendisler ve yazılım geliştiricilerden oluşan disiplinler arası ekiplerin birlikte çalışarak 3D baskı teknolojisini sektörel ihtiyaçlara uyarlaması ve endüstri açısından maliyet-etkin çözümler geliştirmesi büyük önem taşımaktadır.

Güvenilir Bir İzlenebilirlik Aracı Olarak Blockchain

Blockchain teknolojisi, 2008 yılında Nakamoto tarafından Bitcoin kripto para biriminin veri yönetim mekanizması olarak tanıtılmıştır (Nakamoto, 2008). Bu teknoloji, verilerin merkezi bir otorite tarafından kontrol edilmediği, dağıtık bir yapı üzerine inşa edilmiştir; başka bir ifadeyle, veriler herhangi bir birey, şirket veya hükümet tarafından sahiplenilmez ya da tek taraflı olarak yönetilmez, aksine tüm katılımcılar arasında paylaşılan bir kayıt sistemi oluşturur. Blockchain'in temel avantajları arasında, veri bloklarından meydana gelen zincirin yapısı sayesinde yüksek düzeyde güvenlik sunması ve verilerin değiştirilmesine karşı doğal bir direnç göstermesi yer almaktadır. Bu nedenle blockchain temelli

uygulamalar; veri paylaşımı, ödeme işlemleri, para transferleri, dağıtık bulut depolama sistemleri ve dijital kimlik doğrulama gibi birçok alanda geliştirilmekte ve yaygın biçimde kullanılmaktadır (Bodkhe & ark., 2020). Su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisi de üretim süreçleri boyunca farklı firmalar ve yetiştiriciler tarafından üretilen büyük hacimli veri setlerine sahiptir. Ancak bu veriler çoğunlukla paydaşlar arasında paylaşılmamakta ve bu durum verilerin etkin kullanımını ciddi ölçüde sınırlandırmaktadır.

Blockchain teknolojisi, su ürünleri yetiştiriciliği tedarik zincirinin dijitalleşmesine olanak tanıyarak çiftlikten tüketiciye kadar uzanan süreçte tam izlenebilirlik sağlayabilir ve küresel ölçekte tüm paydaşların birbirine bağlanmasını mümkün kılabilir. Böylece endüstrinin farklı aşamalarında üretilen büyük veri kümeleri güvenli, şeffaf ve verimli bir şekilde toplanabilir, paylaşılabilir ve analiz edilebilir (Şekil 2). Bu durum, gıda izlenebilirliğine ilişkin maliyetlerin azaltılması, gıda sahteciliğinin önlenmesi, gıda israfının minimize edilmesi ve gıdaya bağlı hastalıkların kontrol altına alınması gibi kritik sorunların çözümüne önemli katkılar sunabilir (Altoukhov, 2020). Su ürünleri yetiştiriciliğinde blockchain kullanımı, işlem süreçlerinde zaman tasarrufu sağlayabilir; üreticiler, perakendeciler, tüketiciler, kamu kurumları ve sertifikasyon kuruluşları arasındaki güven ilişkilerini güçlendirebilir. Dijital izlenebilirlik, özellikle gıda güvenliğinin sağlanması açısından kritik bir aşama olup blockchain tabanlı çözümler su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe giderek daha fazla geliştirilmekte ve uygulanmaktadır (Altoukhov, 2020). Blockchain'in yarınki faydalarından yararlanmak için, bu yeni teknolojiye su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisindeki çiftçiler, işleyiciler, nakliyeciler, dağıtımıcılar ve perakendeciler için yatırım yapmak şimdi çok önemlidir. Bu maliyetler su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinin farklı bölümlerinde değişken olabilir. Su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisi için bir blok zinciri çözümünün uygulanması

temelde büyük bir yazılım geliştirme projesine benzerdir ve bir yazılım omurgasından donanım sensörlerine, işlem gücüne ve daha fazlasına kadar her şeyi gerektirir. Bunların hepsi kolayca milyonlarca dolara mal olabilir.

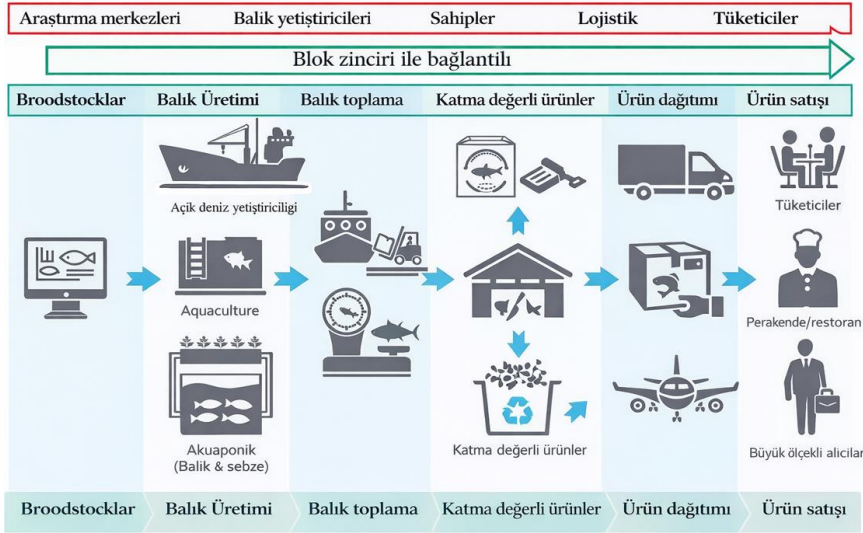
Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti (IoT), birçok sektörde dönüştürücü bir rol üstlenmektedir (Gubbi & ark., 2013). Su ürünleri yetiştiriciliği bağlamında IoT uygulamaları ise nispeten yeni bir gelişme alanı olarak ortaya çıkmaktadır (Jothiswaran & ark., 2020). IoT, su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe üretilen büyük ölçekli veri akışlarını birbirine bağlama potansiyeline sahip olup (Şekil 2), sektörün dijitalleşmesine ve yenilik kapasitesinin artmasına önemli katkılar sağlamaktadır (Kamaruidzaman & Rahmat, 2020). Çiftlikler, üretim tesisleri ve gıda işleme fabrikalarından elde edilen verilerin yanı sıra sosyal medya kaynaklı büyük veri setlerinin de giderek artan bir önem kazandığı bildirilmektedir (Dupont & ark., 2018).

IoT teknolojisinin su ürünleri yetiştiriciliğinde uygulanmasının çok sayıda avantajı bulunmaktadır. Birincisi, su ürünleri yetiştiriciliği sahalarındaki çevresel koşullar, birden fazla kafese yerleştirilen su altı kameraları ve sensörler aracılığıyla gerçek zamanlı olarak ve geniş bir mekânsal kapsama alanı ile izlenebilmektedir. İkincisi, bu sistemler balık çiftliklerinin çevresel etkilerinin sürekli ve zamanında değerlendirilmesine olanak tanıyarak daha etkin bir çevresel yönetim sağlamaktadır. Üçüncüsü, uzun vadeli veri birikimiyle birlikte IoT altyapısı makine öğrenimi yöntemleriyle entegre edilerek tahmine dayalı modellerin geliştirilmesine imkân vermektedir. Bu modeller, karar verme süreçlerini daha kesin hale getirirken olası risklere yönelik erken uyarı mekanizmalarının oluşturulmasını kolaylaştırmaktadır. Büyük veri analitiği ile desteklenen IoT çözümleri, su ürünleri yetiştiriciliği

sektöründe üretkenliği, sürdürülebilirliği, kârlılığı ve güvenliği artırarak sektör için devrim niteliğinde dönüşümler yaratma potansiyeline sahiptir. Ayrıca, IoT tabanlı uygulamalar işleme sistemleri ile tedarik zincirlerinin daha bütünleşik ve eşgüdümlü hale gelmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, özellikle açık deniz (offshore) su ürünleri yetiştiriciliği sahalarında IoT teknolojilerinin uygulanması, uzak bölgelerdeki sensörlerden elde edilen verilerin ana kara tesislerine veya küresel sistemlere güvenli ve sürekli biçimde iletilmesini gerektirdiği için halen önemli bir operasyonel zorluk olmaya devam etmektedir.

Şekil 2. Su ürünleri üretimi ve pazarlaması için Blockchain. Blockchain, sahtekarlıkla mücadele etmek, su ürünleri için uzun ve karmaşık üretim döngülerini belgelemek ve kritik tedarik zincirini takip etmek için ticari olarak kullanılabilir.

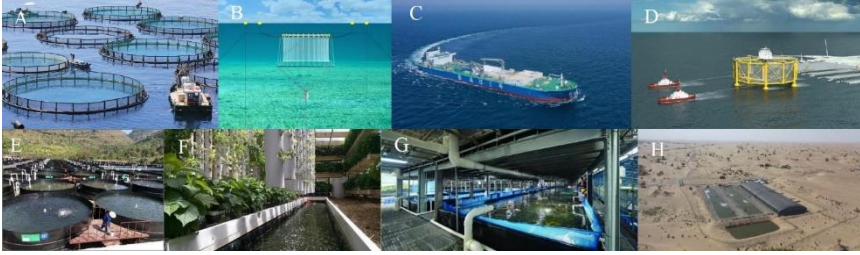


Kaynak: <https://www.mainebiz.biz/article/seafood-technology-when-net-means-more-than-catching-fish>

Açık Deniz Çiftçiliği

Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği olarak da adlandırılan açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği, deniz gıda balıklarının yetiştirilmesine yönelik yeni bir yaklaşımdır (Chu & ark, 2020) (Şekil 3). Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği, geleneksel deniz su ürünleri yetiştiriciliğinin okyanusların çevresi üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirdiğine inanılan yeterli ve istikrarlı bir deniz ürünleri tedarikini sağlamanın önemli yollarından biri olarak giderek daha fazla kabul edilmektedir. Ayrıca, açık deniz alanları, balık yetiştiriciliği için yeterli deniz alanı sağlar ve su kalitesi genellikle su ürünleri yetiştiriciliği için yeterince iyidir. Giderek daha fazla büyük su ürünleri yetiştiriciliği şirketi açık deniz su ürünleri yetiştiriciliğine başlamayı planlamaktadır (Froehlich & ark, 2017). Örneğin, Norveç'te bir şirket, 1,5 milyon balık tutabilen ve balıkların ortamını ve davranışlarını izlemek için 22.000 sensörle donatılmış dünyanın en büyük açık deniz balık kafesini (110 m genişliğinde) işletledi (Stokstad, 2020). Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği için, aşağıdaki faktörleri dikkate almak önemlidir: konum, kafes tipleri, gemi tipleri ve türler (Chu & ark., 2020). Nakliye ve balıkçılık, turizm dahil olmak üzere diğer denizcilik endüstrileriyle aynı yerde bulunmak, gelecekteki açık deniz balık çiftlikleri için mümkündür (Gentry & ark., 2017). Çin, Qingdao'da dünyanın ilk 100.000 tonluk akıllı balık çiftçiliği gemisini inşa etmeye başladı. Gemi 250 m uzunluğunda ve 45 m genişliğindedir. Tasarım hızı 10 knot'tur. Gemi, tayfunlardan, kırmızı gelgitlerden ve diğer şiddetli hava koşullarından ve felaketlerden kaçınarak dünyanın dört bir yanındaki denizlerde su ürünleri yetiştiriciliği operasyonları yürütebilmektedir. Geminin her yıl 4000 ton yüksek değerli deniz ürünü üretmesi bekleniyor (Huaxia, 2020). Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği hala emekleme aşamasında olan bir sektördür. Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliğinde, uzaktan operasyonlar ve gözetim gerçekleştirebilen AR dahil güvenilir teknolojilere ihtiyaç vardır.

Şekil 3. Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği ve karada kurulu devridaimli su ürünleri yetiştiriciliği sistemi (RAS). Kafes su ürünleri yetiştiriciliği (A), batık kafesler (B), gemi su ürünleri yetiştiriciliği (C) ve derin sularda kalıcı olarak demirlenmiş balık çiftliği (D) dahil olmak üzere birçok açık deniz su ürünleri yetiştiriciliği sistemi vardır. Ayrıca tank tabanlı (E), dikey akuaponik (F), çok katlı dikey tanklar (G) ve çöl tankları (H) gibi birçok devridaimli su ürünleri yetiştiriciliği sistemi (RAS) de bulunmaktadır.



*Kaynak: A (<https://dokuzadabirdeniz.com/?p=3929>),
B (<https://www.badinotti.com/marine/submergible-cages/oceanis2/>),
C (https://www.linkedin.com/posts/alan-cook-77366718_western-firm-bets-on-vessel-aquaculture-to-activity-7371489642992476160-QWWC),
D (<https://www.fishfarmingexpert.com/deep-sea-ocean-farm-1-offshore/worlds-first-offshore-fish-farm-on-its-way-to-norway/1338972>),
E (<https://www.fishfarmingexpert.com/alabama-nocera-united-states/taiwan-ras-supplier-plans-us-fish-farming-operation/1431835>),
F (<https://mishkat.com/services/hydroponic-aquaponic-farm-to-table-hospitality-design-for-hotels-restaurants/>),
G (<https://www.linkedin.com/pulse/aquaculture-innovation-development-pioneering-future-food-cerda-dub%C3%B3-cevde>),
H (<https://esperanto.cgtn.com/2024/09/11/ARTI1726030438519236>)*

Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliğinin deniz ürünleri güvenliği ve deniz ortamları üzerindeki etkileri ve sonuçları

hakkında yeterli araştırma olmadığı görülmektedir (Gentry & ark., 2017). Açık deniz su ürünleri yetiştiriciliğinin sosyal boyutları ve etkileri hakkındaki anlayış henüz eksiktir. Açık deniz deniz su ürünleri yetiştiriciliği kurumlarının büyük yatırımlar gerektirdiğini belirtmek gerekir. Bu nedenle, açık deniz çiftçiliğinin maliyetinin nasıl düşürüleceği, bu çabanın sürdürülebilirliğini ve karlılığını sağlamada kritik bir konudur. Ayrıca, denizde balık yetiştirmenin dünyayı beslemeyeceği yönünde bir görüşün olduğunu da belirtmek gerekir (Belton & ark., 2020). Açık deniz yüzgeçli balık yetiştiriciliği, büyümesini engelleyen ve küresel deniz ürünleri ve beslenme güvenliğine önemli ölçüde katkıda bulunmasını engelleyen ekonomik, biyofiziksel ve teknolojik zorluklarla karşı karşıya kalabilir (Belton & ark, 2020). Su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinin açık deniz su ürünleri yetiştiriciliğine girmeden önce maliyet, çevre, karşılanabilirlik ve sürdürülebilirlik dahil olmak üzere birçok faktörü göz önünde bulundurması gerekir. Elbette, yeni teknolojilerin hızla gelişmesiyle açık deniz yüzgeçli balık yetiştiriciliği umut vericidir ve denenmeye değerdir.

Resirküle Su Ürünleri Yetiştirme Sistemleri (RAS) ve Yenilenebilir Enerji

RAS, balıkların kontrollü koşullar altında yetiştirildiği tank tabanlı su ürünleri yetiştirme sistemleridir (Şekil 3) (Badiola & ark, 2018). RAS'ın başlıca avantajları arasında daha az su kullanımı, biyogüvenlik ve yüksek verim yer alır. Su ürünleri yetiştiriciliği için somon, Asya levreği ve yassı balık yetiştiriciliği için kullanılan çeşitli RAS türleri vardır (Şekil 5). Ancak, teknoloji hakkında yetersiz bilgi, yüksek enerji gereksinimi, yüksek ilk yatırım ve RAS'a girdikten sonra patojenlerin uzaklaştırılmasındaki zorluklar gibi birkaç büyük zorluk vardır. Devir daimli döngü ve atık arıtmalarını iyileştirmek ve yenilenebilir enerji kullanarak enerji maliyetini azaltmak için araştırmalar yürütülmüştür (Badiola & ark, 2018). Bazı RAS çiftlikleri güneş ve rüzgar enerjisi de dahil olmak

üzere yenilenebilir enerji kullanmaktadır. Ancak, su ürünleri yetiştiriciliğindeki mevcut güneş kollektörü sistemi yüksek ilk yatırım ve yavaş maliyet geri kazanımı sorunlarına sahiptir. Bir su ürünleri yetiştiriciliği sistemine sıcak su sağlamak için düşük maliyetli güneş kollektörü sistemleri geliştirilmiştir. Deney sonuçları, sistemin ortalama günlük kollektör verimliliğinin %49,6'ya ulaşabileceğini göstermiştir (He & ark., 2017). Ek olarak, rüzgar enerjisi gemilerdeki açık deniz RAS'larında da kullanılabilir (Zheng & ark., 2020). Yenilenebilir enerji üretimindeki ilerlemeler RAS işletme maliyetlerini düşürmektedir (Belton & ark., 2020). Ancak, RAS'ın mevcut bilgi ve teknolojileriyle, RAS çiftliklerinde yalnızca yüksek değerli ürün türlerinin kültürünün kâr sağlaması oldukça olasıdır. RAS maliyetini düşürmek için, balık çiftçileri, balık bilimcileri ve mühendislerin RAS gövdelerinin her bir bölümünü etkili bir şekilde tasarlamak için birlikte çalışmaları esastır. RAS hakkında daha fazla bilgi edinilmesi ve araştırma ve saha testleri yoluyla bileşenleri arasındaki etkileşimin anlaşılmasıyla RAS'ın, özellikle büyük şehirler ve geleneksel su ürünleri yetiştiriciliği için sınırlı su alanına sahip ülkeler için su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe devrim yaratacağı kesindir.

Sonuç

Su ürünleri yetiştiriciliği, yüksek kaliteli proteinlerin tedarik edilmesinde önemli bir rol oynamış ve 20 yılı aşkın süredir gıda üretiminde en hızlı büyüyen sektör olmuştur. Dünyadaki nüfusun sürekli artması ve insanların gelirlerinin artması nedeniyle, deniz ürünlerine olan ihtiyaç önümüzdeki on yıllarda önemli ölçüde artacaktır. Su ürünleri yetiştiriciliğinin genişlemesi, yeni ve çığır açıcı teknolojiler gerektirmektedir. Neyse ki, ortaya çıkan ve çığır açıcı birkaç teknoloji, su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinde devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Bu teknolojiler arasında robotik, bilgi/dijital teknolojiler, açık deniz çiftçiliği, RAS, balık unu ve yağlarının alternatif proteinler ve balık yağı ile değiştirilmesi ve oral

aşilar yer almaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliği sektörü, yeni teknolojileri benimsemeye en yavaş sektörlerden biri olmasına rağmen, alandaki kişiler, teknolojilerdeki son gelişmelerin sürdürülebilir ve karlı su ürünleri yetiştiriciliği için fırsat sunabileceğini fark ettiler. Tüm bu teknolojiler, su ürünleri yetiştiriciliğinin bazı kısımlarında devrim yaratabilmek için (nispeten küçük ölçekte) onaylanmıştır. Ancak, yeni ve çığır açıcı teknolojilerin mevcudiyeti ile su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisindeki gerçek uygulamaları arasında büyük boşluklar bulunmaktadır. Çeşitli teknolojilerin farklı su ürünleri yetiştirme sistemlerine entegrasyonu karmaşık bir süreçtir. Oksijen zenginleştirme tesisleri, besleme ekipmanları, farklı sensör tipleri ve su arıtma ekipmanları dahil olmak üzere farklı tip ve miktarlarda su ürünleri yetiştirme ekipmanlarının bir kombinasyonunu gerektirir. Bu tesisler benzer çalışma voltajına, iletişim arayüzlerine, iletim moduna ve çeşitli ekipmanların diğer parametrelerine ihtiyaç duyar. Bu nedenle, çeşitli ekipmanların entegrasyonu, su tesislerinin parametre tasarımı için tek tip bir standardın oluşturulmasını, bu standarda göre ekipman seçimini gerektirir. Entegre su ürünleri yetiştirme sistemindeki tesislerin düzeni, verimliliklerini en üst düzeye çıkarmak için optimize edilmelidir. Daha sonra, tüm ekipman türleri izleme ve kontrol için IoT platformuna bağlanacaktır. Tüm bu faktörler, tek bir çiftçinin veya su ürünleri yetiştirme şirketinin bu karmaşık görevi yerine getirmesini oldukça imkansız hale getirir. Bu nedenle, balık çiftçileri, balık bilimcileri, mühendisler, yazılım geliştiricileri ve ekonomistler, sektörü daha sürdürülebilir ve karlı hale getirmek için bu teknolojileri su ürünleri yetiştirme sektörünün her bir bölümüne etkili bir şekilde entegre etmek için birlikte çalışmalıdır. Devlet kurumları bu alanda çok disiplinli projeler için araştırma fonları sağlayabilirken, su ürünleri yetiştirme uzatma istasyonları, risk sermayesi ve yatırımcılar, yıkıcı teknolojileri su ürünleri yetiştirme sektörüne entegre etmek için yeni girişimleri destekleyebilir. Ortaya çıkan ve yıkıcı teknolojilerin su ürünleri

yetiştiriciliği sektörünü önemli ölçüde daha kaynak ve enerji açısından verimli hale getireceği kesindir. Bu teknolojiler ayrıca kadınlar ve gençler için fırsatlar da dahil olmak üzere işletmeler ve işler için fırsatlar yaratacaktır. Öte yandan, bazı ortaya çıkan ve yıkıcı teknolojilerin, bunları benimsemek için finansal kaynakları olmayan küçük/aile tabanlı balık çiftçileri için engeller yaratabileceğini belirtmek gerekir. Ortaya çıkan teknolojilerin su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğini baltalamak yerine iyileştirmek için kullanılmasını sağlamak için etkili bir yönetimin yerinde olduğundan emin olmak esastır (FAO, 2020).

Kaynakça

Abdelrahman, H., ElHady, M., Alcivar-Warren, A., Allen, S., Al-Tobasei, R., Bao, L., & ark. (2017). Aquaculture genomics, genetics and breeding in the United States: Current status, challenges, and priorities for future research. *BMC Genomics*, 18, 191, 2017.

Aich, N., Nama, S., Biswal, A. ve Paul, T. (2020). A review on recirculating aquaculture systems: Challenges and opportunities for sustainable aquaculture. *Innovative Farming*, 5(2020), 17–24.

Aksu, Ö., Altınterim, B., 2024. Balıkçılıkta yapay zeka uygulamaları. Ahmet AKSOY (Ed.), Hasan AKGÜL (Ed.), *Biyoloji alanında uluslararası araştırma ve değerlendirmeler içinde* (s. 215-234). Ankara: Serüven Yayınevi.

Altoukhov, A. (2020). Industrial product platforms and blockchain in aquaculture. In *IOP conference series: Earth and environmental science*. IOP Publishing, 042021.

Anderson, J. L., Asche, F.ve Garlock, T. (2019). Economics of aquaculture policy and regulation. *Annual Review of Resource Economics*, 11, 101–123, 2019.

Antonucci, F., & Costa, C. (2020). Precision aquaculture: A short review on engineering innovations. *Aquaculture International*, 28(2020), 41–57.

Awad, A., Fina, F., Goyanes, A., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2020). 3D printing: Principles and pharmaceutical applications of selective laser sintering. *International Journal of Pharmaceutics*, 586(2020), 119594.

Badiola, M., Basurko, O., Piedrahita, R., Hundley, P., & Mendiola, D. (2018). Energy use in recirculating aquaculture systems (RAS): A review. *Aquacultural Engineering*, 81, 57–70, 2018.

Banna, M., Bera, K., Sochol, R., Lin, L., Najjaran, H., Sadiq, R., et al. (2017). 3D printing-based integrated water quality sensing system. *Sensors*, 17, 1336, 2017.

Belton, B., Little, D. C., Zhang, W., Edwards, P., Skladany, M., & Thilsted, S. H. (2020). Farming fish in the sea will not nourish the world. *Nature Communications*, 11(2020), 5804.

Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., Khanpara, P., Tyagi, S., Kumar, N., et al. (2020). Blockchain for industry 4.0: A comprehensive review. *IEEE Access*, 8(2020), 79764–79800.

Boe, A., & Prasolova-Forland, E. (2015). Teaching and learning aquaculture in virtual reality with oculus rift. In *E-Learn: World conference on E-learning in corporate, government, healthcare, and higher education* (pp. 1426–1435). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).

Burnell, G., & Allan, G. (2009). *New technologies in aquaculture: Improving production efficiency, quality and environmental management*. Elsevier.

Chen, H.-Y., Cheng, S.-C., & Chang, C.-C. (2020). Semantic scene modeling for aquaculture management using an autonomous drone. In *International workshop on advanced imaging technology (IWAIT) 2020*. International Society for Optics and Photonics, 1151521.

Chen, C.-H., Li, B.-J., Gu, X.-H., Lin, H.-R., & Xia, J.-H. (2019). Maker-assisted selection of GIFT YY tilapia. *Zoological Research*, 40, 108–112, 2019.

Chen, Z.-y., & Zhang, W.-s. (2017). Construction and construction and implementation of 3d aquaculture virtual simulation experiment system. *Modern Computer*, 2017, 16, 2017.

Chu, Y., Wang, C., Park, J. C., & Lader, P. (2020). Review of cage and containment tank designs for offshore fish farming. *Aquaculture*, 519(2020), 734928.

Conceição, L. E., Yúfera, M., Makridis, P., Morais, S., & Dinis, M. T. (2010). Live feeds for early stages of fish rearing. *Aquaculture Research*, 41(2010), 613–640.

Dupont, C., Cousin, P., & Dupont, S. (2018). IoT for aquaculture 4.0 smart and easy-to-deploy real-time water monitoring with IoT,. In *2018 global internet of things summit (GIoTS)* (pp. 1–5). IEEE.

Evensen, T. (2020). *Fishy business: Closing the gap between data-driven decision-making (DDM) and aquaculture: An analysis of incumbents in the Norwegian aquaculture industry (NAI) and the use of big data for competitive advantage.*

FAO (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020*. Rome, Italy: Sustainability in action.

Ferreira, J. G., Aguilar-Manjarrez, J., Bacher, C., Black, K., Dong, S., Grant, J., et al. (2012). Progressing aquaculture through virtual technology and decision-support tools for novel management. In *Global conference on aquaculture 2010*.

Froehlich, H. E., Smith, A., Gentry, R. R., & Halpern, B. S. (2017). Offshore aquaculture: I know it when I see it. *Frontiers in Marine Science*, 4, 154, 2017.

Fuji, K., Hasegawa, O., Honda, K., Kumasaka, K., Sakamoto, T., & Okamoto, N. (2007). Marker-assisted breeding of a lymphocystis disease-resistant Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 272, 291–295, 2007.

Gentry, R. R., Lester, S. E., Kappel, C. V., White, C., Bell, T. W., Stevens, J., et al. (2017a). Offshore aquaculture: Spatial planning principles for sustainable development. *Ecology and Evolution*, 7(2017a), 733–743.

Gjedrem, T., & Robinson, N. (2014). Advances by selective breeding for aquatic species: A review. *Agricultural Sciences*, 5, 1152, 2014.

Gratacap, R. L., Wargelius, A., Edvardsen, R. B., & Houston, R. D. (2019). Potential of genome editing to improve aquaculture breeding and production. *Trends in Genetics*, 35, 672–684, 2019.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29, 1645–1660, 2013.

Hassan, S. G., & Hasan, M. (2016). Information fusion in aquaculture: A state-of the art review. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 3, 206–221, 2016.

He, X., Li, J., Zhu, S., & Li, D. (2017). The design and experiment of low-cost solar collector systemfor recirculation aquaculture. In *2017 ASABE annual international meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1700433.

Hodar, A., Vasava, R., Mahavadiya, D., & Joshi, N. (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. *Journal of Experimental Zoology India*, 23, 13–21, 2020.

Houston, R. D., Bean, T. P., Macqueen, D. J., Gundappa, M. K., Jin, Y. H., Jenkins, T. L., et al. (2020). Harnessing genomics to fast-track genetic improvement in aquaculture. *Nature Reviews Genetics*, 21(2020), 389–409.

Houston, R. D., Haley, C. S., Hamilton, A., Guy, D. R., Tinch, A. E., Taggart, J. B., et al. (2008). Major quantitative trait loci affect resistance to infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Genetics*, 178, 1109–1115, 2008.

Huaxia (2020). *Construction of smart fish farming ship starts in eastern Chinese city*. http://www.xinhuanet.com/english/2020-12/21/c_139607573.htm Qingdao.

Johnston, I. (2018). *Biosensors for real-time monitoring of biohazards and disease in aquaculture, sensors in food and agriculture in Food and Agriculture 2018*. Norwich, UK. 9.07.2018.

Jothiswaran, V., Velumani, T., & Jayaraman, R. (2020). Application of artificial intelligence in fisheries and aquaculture. *Biotica Research Today*, 2(2020), 499–502.

Jung, T. (2019). *Augmented reality and virtual reality: The power of AR and VR for business*. Incorporated, Cham, Switzerland: Springer Publishing Company.

Kamaruidzaman, N., & Rahmat, S. N. (2020). Water monitoring system embedded with internet of things (IoT) device: A review. In *IOP conference series: Earth and environmental science*. IOP Publishing, 012068.

Kelly, A. M., & Renukdas, N. N. (2020). *Disease management of aquatic animals, aquaculture health management*. Elsevier.

Kruusmaa, M., Gkliva, R., Tuhtan, J., Tuvikene, A., & Alfredsen, J. (2020). Salmon behavioural response to robots in an aquaculture sea cage. *Royal Society open science*, 7(2020), 191220.

Li, D., Wang, Z., Wu, S., Miao, Z., Du, L., & Duan, Y. (2020). *Automatic recognition methods of fish feeding behavior in aquaculture: A review*. Aquaculture, 2020.

Lucas, J. S., Southgate, P. C., & Tucker, C. S. (2019). *Aquaculture: Farming aquatic animals and plants*. John Wiley & Sons. Luo, Y. (2019). *CRISPR gene editing*. Springer.

Meuwissen, T. H. E., Hayes, B., & Goddard, M. (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics*, 157, 1819–1829, 2001.

Mostafaei, A., Elliott, A. M., Barnes, J. E., Li, F., Tan, W., Cramer, C. L., et al. (2020). Binder jet 3D printing—Process parameters, materials, properties, and challenges. *Progress in Materials Science*, 100707, 2020.

Nakamoto, S (2008), 4. *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system* (p. PDF 4). Bitcoin. <https://bitcoin.org/Bitcoin>.

Ohrem, S. J., Kelasidi, E., & Bloecher, N. (2020). Analysis of a novel autonomous underwater robot for biofouling prevention and inspection in fish farms. In *2020 28th mediterranean conference on control and automation (MED)* (pp. 1002–1008). IEEE.

Parlak, O., Keene, S. T., Marais, A., Curto, V. F., & Salleo, A. (2018). Molecularly selective nanoporous membrane-based wearable organic electrochemical device for noninvasive cortisol sensing. *Science Advances*, 4, Article eaar2904, 2018.

Paspalakis, S., Moirogiorgou, K., Papandroulakis, N., Giakos, G., & Zervakis, M. (2020). Automated fish cage net inspection using image processing techniques. *IET Image Processing*, 14(2020), 2028–2034.

Prasolova-Førland, E., Forninykh, M., & Ekelund, O. I. (2019). Empowering young job seekers with virtual reality,. In *2019 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR)* (pp. 295–302). IEEE.

Shefat, S. H. T. (2018). Vaccines for use in finfish aquaculture. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*, 2, 19, 2018.

Shen, Y., & Yue, G. (2019). Current status of research on aquaculture genetics and genomics-information from ISGA 2018. *Aquaculture and Fisheries*, 4, 43–47, 2019.

Sousa, D., Sargento, S., Pereira, A., & Luís, M. (2019). Self-adaptive team of aquatic drones with a communication network for aquaculture. In *EPIA conference on artificial intelligence* (pp. 569–580).Springer.

Stene, A. (2019). Use of augmented reality in aquaculture. *Master thesis, NTNU*.

Stokstad, E. (2020). New genetic tools will deliver improved farmed fish, oysters, and shrimp. Here's what to expect. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.abf7615>, 2020.

Su, X., Sutarlie, L., & Loh, X. J. (2020). Sensors, biosensors, and analytical technologies for aquaculture water quality. *Research: Ideas for Today's Investors*, 2020, 8272705, 2020.

Svendsen, E., Føre, M., Økland, F., Grøns, A., Hedger, R. D., Alfredsen, J. A., et al. (2020). Heart rate and swimming activity as stress indicators for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 531(2020), 735804.

Weber, G. M., & Lee, C.-S. (2014). *Current and future assisted reproductive technologies for fish species, current and future reproductive technologies and world food production*. Springer.

Xi, M., Adcock, M., & Mcculloch, J. (2019). An end-to-end augmented reality solution to support aquaculture farmers with data collection, storage and analysis. In *The 17th international conference on virtual-reality continuum and its applications in industry* (pp. 1–2).

Xu, P., David, L., Martínez, P., & Yue, G. H. (2020). Genetic dissection of important traits in aquaculture: Genome-scale tools development, trait localization and regulatory mechanism exploration. *Frontiers in Genetics*, 11(2020), 642.

Yeh, C.-C., & Chen, Y.-F. (2018). Critical success factors for adoption of 3D printing. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 209–216, 2018.

Yoo, S.-H., Ju, Y.-T., Kim, J.-S., & Kim, E.-K. (2020). Design and development of underwater drone for fish farm growth environment management. *The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*, 15(2020), 959–966.

Zheng, X., Zheng, H., Lei, Y., Li, Y., & Li, W. (2020). An offshore floating wind–solar–aquaculture system: Concept design and extreme response in survival conditions. *Energies*, 13(2020), 604.

Zhou, L., & Gui, J. F. (2018). Applications of genetic breeding biotechnologies in Chinese aquaculture. In *Aquaculture in China: Success stories and modern trends* (pp. 463–496), 2018.

Zhou, C., Xu, D., Chen, L., Zhang, S., Sun, C., Yang, X., et al. (2019). Evaluation of fish feeding intensity in aquaculture using a convolutional neural network and machine vision. *Aquaculture*, 507, 457–465, 2019.

BÖLÜM 13

BALIKLARDA LENFOİD ORGANLAR VE FONKSİYONEL DİNAMİKLERİ

MUSTAFA KARGA¹

Giriş

Son yıllarda balık yetiştiriciliği, yeni teknolojilerin uygulanması, çevresel parametrelerin daha iyi anlaşılması ve yerli yem formülasyonlarındaki ilerlemeler sayesinde önemli bir ivme kazanmıştır. Bu gelişim, özellikle balıkların immün sistem yapıları, balık-çevre ilişkileri, hastalık etiyolojisi ve balık patolojisi gibi temel araştırma alanlarını derinden etkilemektedir. Ayrıca balık bağışıklık sistemi sadece akuakültür açısından değil, aynı zamanda omurgalı immün sisteminin evrimsel tarihini anlamak için de büyük önem taşımaktadır.

Bağışıklık sistemi, konakçıyı patojenlerden koruyan hücresel ve humoral bileşenlerin bütünüdür. Teleostlar, memelilerden farklı olarak kemik iliği ve lenf düğümlerine sahip değildir; bunun yerine hematopoetik ve lenfoid fonksiyonları baş böbrek, dalak ve timus gibi organlar üstlenir. Ayrıca, suyla sürekli temas halinde olmaları

¹ Doktor Öğretim Üyesi, Kastamonu Üniversitesi İnebolu Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü Deniz ve Liman İşletmeciliği Programı, Orcid: 0000-0003-0398-3236

nedeniyle mukozal bağışıklık teleostlarda merkezi bir roldedir (Sunyer, 2013:320; Salinas, 2015:525).

Balıklar, ektotermik yapıları nedeniyle memelilerden farklı immün yanıt mekanizmalarına sahiptir (Ocak, 2006:61). Balıklarda hastalıklarla mücadelede önleyici tedavi çalışmalarında balığın immün sistemi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle balığın bağışıklık sistemi üzerinde özenle durulması gereken ana husustur (Bozkurt & Eren, 2009:13). Hastalıklara karşı korunmada görev alan biyolojik savunma süreçleri; immün sistemin organları, hücresel bileşenleri ve immünglobulin çeşitliliği üzerinden şekillenmektedir. Bu nedenle, balıkların bağışıklık kapasitesi ve immüniteye ilişkin süreçler, son yıllarda akuakültür araştırmalarında giderek daha fazla önem kazanan bir konu haline gelmiştir.

Balıklarda, memelilerde görülen lenf nodları ve kemik iliği yapıları bulunmaz; bunun yerine bağışıklık yanıtının düzenlenmesinde görev alan bir dizi özgün organ ve doku yer alır. Temel immün yapılara timüs, böbrek, dalak, karaciğer ve bağırsaklarla ilişkili lenfoid dokular dâhildir (Dörücü & Karaman, 2017:65).

Balık immünolojisi üzerine yürütülen çalışmalar, primer bağışıklık organlarının timüs, böbrek ve dalaktan oluştuğunu; sekonder bağışıklık yapılarının ise karaciğer, deri, bağırsak ve solungaç kaynaklı lenfoid dokularla temsil edildiğini ortaya koymaktadır (Ocak, 2006:61; Bozkurt & Eren, 2009:13). Ayrıca sekonder lenfoid organlardan deri, bağırsak ve solungaç mukoza ile ilişkili lenfoid organlar (MALT) olarak da tanımlanabilir.

Bağırsak, deri ve solungaçlar dahil olmak üzere mukozal dokular, patojenlerin girişine bir bariyer sağlar ve yerel bağışıklık tepkilerinden sorumlu lökosit popülasyonları içerir. Kan yoluyla taşınan maddelerin tutulması için esas olarak böbrek ve dalakta geniş bir ağ bulunur, ancak bazı türlerde kalp ve karaciğer gibi diğer

dokular da bu ağdan etkilenir. Böbrek ve dalakta, bağışıklık tepkisi oluşturabilen lenfosit ve makrofaj popülasyonları, antijen yakalama bölgelerine yakın konumlanmıştır ve genellikle melanomakrofaj birikimleriyle ilişkilidir. Teleost balıklardaki türlerin çokluğu ve çeşitliliği göz önüne alındığında, bağışıklık sisteminin morfolojisinde tür çeşitliliği beklenebilir (Press & Evensen, 1999:309).

Son yıllarda genomik, transkriptomik ve immünohistokimyasal analizlerdeki ilerlemeler, balık immünitesi üzerine daha derin bir anlayış sağlamış; özellikle mukozal bağışıklığın önemi, hematopoietik organların evrimi ve çevresel stresörlerin immün fonksiyonlar üzerindeki etkileri araştırma odağı haline gelmiştir. Bu derleme, teleost balıkların bağışıklık sistemi organlarını, bu organların işlevsel rollerini ele almaktadır.

Primer Lenfoid Organlar

- Ön böbrek

Böbrekler balıkların temel kan yapıcı organıdır. Balıklarda her bir böbrek anterior ve posterior olmak üzere iki kısımdan oluşur (Erer, 2002:1). Hem anterior hem de posterior kısmı hemopoietik özelliklere sahiptir (Ocak, 2006:61). Ön böbrek teleostların en önemli primer hematopoietik organıdır. Hematopoietik hücre kümeleri (prekürsör hemopoietik hücreler), makrofajlar, nötrofiller ve B/T hücresi prekürsörleri burada bulunur. Melano-makrofajlar, balıkların çeşitli organlarında ve kronik inflamatuvar durumlarda bulunur, ancak özellikle böbrek dokusunda fazlaca bulunmaktadır (Agius & Roberts 2003:499; Thorsen, Høyheim & Koppang 2006:327). Ön böbrek aynı zamanda endokrin (ör. adrenal-benzeri kortikosteroid sentezi) işlevleriyle stres ve immün regülasyonu sağlar; immün yanıt için hem sitokin üretimi hem de fagositik aktivite sağlar (Parra, Reyes-Lopez & Tort, 2015:1; Sun & ark., 2022:2663). Antijenik maddeler burada antijen sunan hücreler

tarafından işlenerek T- hücrelerine sunulur ve böylece spesifik immün yanıt başlatılır (Zapata & ark., 2006:126). Ön böbrek, sistemik immün yanıtların başlatılmasında ve antijen tanınmasında merkezi bir role sahiptir.

Ön böbrekte hematopoietik doku bulunur ve bu doku, yüksek omurgalıların kemik iliğiyle yapısal benzerliği nedeniyle teleostlarda kemik iliği eşdeğeri olarak kabul edilir (Zapata & Amemiya 2000:67; Press & Evensen 1999:309).

- Timus

Teleost balıklarında timus, her iki solungaç boşluğunun üst kısmında yer alan ve operkulum yönünde uzanan çift yapılı bir lenfoid organ olarak tanımlanmaktadır. (Fänge, 1986:153). Timusta çoğunlukla dış bölgede korteks, iç kısımda ise medulla olarak adlandırılan iki temel yapı ayırt edilir; ancak bu iki bölgenin sınırları türlere bağlı olarak değişkenlik gösterir ve çoğu teleost türünde belirgin bir ayrım izlenmeyebilir. Korteks, medullaya kıyasla daha yoğun timosit popülasyonu içerirken, epitel hücrelerinin sayısı daha sınırlıdır ve mevcut olduklarında karakteristik olarak uzun, ince uzantılar sergilerler. Medulla ise daha düşük hücresel yoğunluğa sahip olup epitel hücrelerinin daha belirgin olduğu bir bölgedir; bu hücreler destekleyici bir stromal ağ oluşturur. Bu yapıyı oluşturan iki temel hücre grubu retikülositler ve epitel hücreleri olarak tanımlanır; aralarındaki temel fark, retikülositlerin daha kısa hücresel uzantılara sahip olmasıdır (Press & Evensen, 1999:309).

Timositlerle epitel hücreleri arasındaki işlevsel etkileşim henüz tam olarak aydınlatılmış olmamakla birlikte, bazı araştırmalarda epitel hücrelerin timositlerin olgunlaşma süreci ve spesifik bağışıklık özelliklerinin kazanımı için büyük önem taşıdığını ileri sürmektedir (Chilmonczyk, 1992:181).

İleri yaşlardaki balıklarda timusta gerileme (involüsyon) görülmesi her tür için geçerli bir durum değildir; ancak yaşlanma süreci ve cinsel olgunluğa ulaşma, bu organın küçülmesine yol açabilir. Ayrıca stres, mevsimsel değişiklikler ve hormonal etkiler gibi çeşitli faktörlerin de timus involüsyonunu tetikleyebildiği bildirilmektedir (Ocak, 2006:61).

Timus, T hücre ontogenezi ve olgunlaşması için gerekli olan primer lenfoid organdır. Teleost timusu, fetal ve erken yaşam döneminde aktif olup, T hücre reseptör repertuarının şekillenmesi ve seçilimi süreçlerine katkıda bulunur. T-lenfositler olgunlaştıktan sonra timustan ayrılarak bağışıklık yanıtında görev almak üzere çeşitli sekonder lenfoid dokulara ve organlara taşınırlar (Bozkurt & Eren, 2009:13). Timus atrofi ve yaşa bağlı değişimler T-hücresi mediyatörlü bağışıklık kapasitesini etkileyebilir (Ashfaq & ark., 2019:1).

Gökkuşluğu alabalıkları üzerinde yapılmış olan bir çalışmada, timusun lenfoid dokular arasında MHC sınıf I proteininin gözlemlendiği ilk organ olduğu bildirilmiştir (Fischer & ark., 2005:49).

- Dalak

Dalak, midenin arka kısmında yer alır ve ince bağırsağın duvarına tutunmuş bir organ olarak bulunur (Durmaz & Albayrak, 2016:355). Teleost balıklarında dalak, fibröz bir kapsülle çevrilidir ve bu kapsülden organa doğru uzanan trabeküller parenkimaya dağılır. Dalak yapısal olarak kırmızı ve beyaz pulpalara ayrılır. Organın büyük kısmını oluşturan kırmızı pulpa, kanla dolu sinüzoidlerin yanı sıra makrofajlar ve lenfositler gibi çeşitli hücre tiplerini barındırır. Genellikle zayıf gelişim gösteren beyaz pulpa ise melanomakrofaj merkezleri ve elipsoidler olmak üzere iki alt bölüme ayrılmıştır (Ocak, 2006:61). Balıklarda dalak; eritrositlerin yıkımı, makrofajlar tarafından antijenlerin fagositozu, bağışıklık sisteminin yeniden

etkinleştirilmesi, antijen sunumu, adaptif bağışıklık yanıtının başlatılması ve kan hücrelerinin üretimi gibi çeşitli görevleri yerine getirir (Kum & Sekkin, 2011:169). B hücresi aktivasyonu, plazma hücresi üretimi ve humoral cevaplarda belirgin rol oynar. Dalak ayrıca kırmızı kan hücrelerinin yıkımı ve immün komplekslerin tutulması gibi hemopoietik dışı görevler de üstlenir. Dalaktaki fagositik popülasyonlar ve MHC-ekspresyon profili, antijen sunumu ve adaptif yanıt gelişimi için kritik önemdedir (Mokhtar & ark., 2023:93; Bjørgen & Koppang, 2022:1).

Sekonder Lenfoid Organlar

- **Bağırsak**

Teleostlarda bağırsak, antijen sunumu, immunoglobulin (Ig) üretimi (özellikle IgT ve IgM) ve tolerans/immünite dengesini sağlayan hücresel popülasyonları barındırır. Besin antijenleri ve mikrobiyota ile devamlı etkileşim nedeniyle bağırsak immünoregülasyonu balık sağlığı için hayati önemdedir (Munang'andu, Mutoloki & Evensen, 2015:1; Yu & ark., 2020:1). Bağırsaklardaki GALT (Gut-Associated Lymphoid Tissue) folliküllerinin viral immunitede görevleri vardır. Balıklarda bağırsağın arka kısmı makro moleküllerin emilimi ve sindirilmeden organlara transferi yönünden immunolojik öneme sahiptir (Durmaz & Albayrak, 2016:355). Farklı balık türlerinde yapılan çalışmalarda, bağırsak içeriği ile safra sıvısında bulunan immünoglobulinlerin, serumda yer alan immünoglobulinlerle benzer özellikler gösterdiği ve bu antikordlarda salgısal bir bileşenin bulunmadığı belirlenmiştir (Zapata & ark., 2006:126).

- **Solungaç**

Solungaç hem gaz değişimini sağlarken hem de çok yüksek patojen maruziyetine açık olduğundan kapsamlı immün hücre ve moleküler savunma barındırır. Solungaç ile ilişkili lenfoid doku (GALT) ve örtü epitelyumunda bulunan mukus, lizozim,

kompleman bileşenleri ve sekretuar Igs solungaç savunmasında önemlidir (Koppang, Kvellestad & Fischer, 2015:93; Gomez, Sunyer & Salinas, 2013:1729).

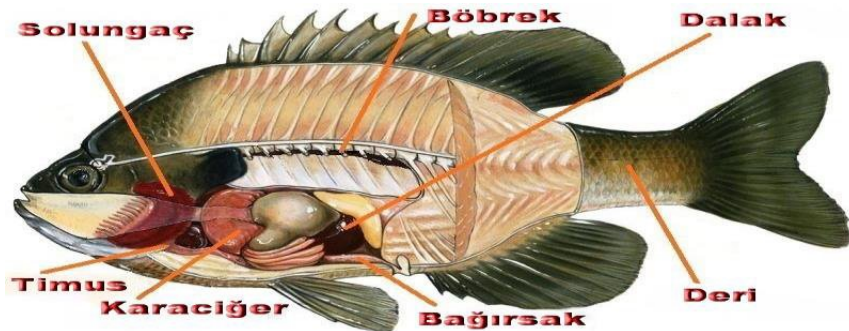
- Deri

Balık derisi (SALT) dış ortama doğrudan maruz kalan bir bariyer olup, epidermal mukus antimikrobiyal peptitler, komplement faktörleri ve Ig'ler içerir. Deri mikrobiyotası ile konak immün etkileşimleri, patojen kolonizasyonunu ve bağışıklık homeostazını belirler (Salinas, 2015:525; Firmino & ark., 2021:1).

- Karaciğer

Teleostlarda karaciğerin bağışıklık yanıtında çok fazla görevi bulunmamakla birlikte karaciğer makrofajlarının yabancı partikülleri yakalayıcı bir rolü bulunmaktadır (Ocak, 2006:61). Melanomakrofajlar, dalak ve böbreğin hematopoietik dokularında ve ayrıca karaciğerin periportal bölgelerinde bulunan pigment içeren hücrelerin belirgin bir popülasyonudur (Roberts, 1975:399; Wolke, 1992:91). Bu makrofajların en sık görülenleri melanin, hemosiderin ve lipofusin olan heterojen inklüzyonlar içerir (Agius & Agbede, 1984). Ayrıca akut faz proteinleri de üretmesiyle karaciğer (Boshra, Li & Sunyer, 2006:239) sadece metabolik bir organ değil aynı zamanda bağışıklık sisteminin bir parçası olarak tanımlanabilir.

Şekil 1. Teleostlarda Lenfoid Organlar



Sonuç

Balık bağışıklık sistemine ilişkin son yıllardaki çalışmalar, teleostların memelilere kıyasla daha esnek ve çevresel koşullara duyarlı immün yanıt mekanizmalarına sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle mukozal bağışıklığın merkezi rolü, akuakültürde sık görülen parazitik ve bakteriyel enfeksiyonlarla mücadelede kritik önem taşımaktadır.

Teleost bağışıklık sistemi, memelilerden farklı organizasyon gösterse de hem doğuştan hem de adaptif bileşenler açısından kompleks ve etkilidir. Ön böbreğin hem hematopoetik hem immün regülatör rolü, memelilerdeki kemik iliğinin işlevine paralel bir merkez sunar. Mukozal immüitenin önemi, sucul patojenlerin doğrudan temas yoluyla giriş yapması nedeniyle vurgulanmaktadır; IgT/IgZ'nın keşfi bu alandaki büyük ilerlemelerden biridir (Yu & ark., 2020:1). Aynı zamanda çevresel faktörler (sıcaklık, su kalitesi), mikrobiyota ve beslenme immün cevabı derinden etkiler. Bu, su ürünleri hastalık yönetiminde uygulamalı önlemlerin (aşı stratejileri, probiyotik uygulamalar, fito-besin katkıları, çeşitli immünostimulant kullanımları) geliştirilmesinin önemini gösterir (Firmino & ark., 2021:1; Parra, Reyes-Lopez & Tort, 2015:1).

Teleost bağışıklık organları birbirini tamamlayan bir ağ oluşturur. Ön böbrek primer hematopoetik ve immün modülatör (Agius & Roberts 2003:499; Thorsen, Høyheim & Koppang 2006:327), dalak sistemik antijen yanıtlarında merkezi (Zapata, 2024:1), timus T-hücresi ontogenezinde anahtar (Bozkurt & Eren, 2009:13; Ashfaq & ark., 2019:1), mukozal dokular ise sürekli çevresel maruziyete karşı lokal savunmayı sağlar (Yu & ark., 2020:1; Gomez, Sunyer & Salinas, 2013:1729; Salinas, 2015:525). Bu bütünlüştürmüş yapı, balıkların çok değişken çevre koşullarına adaptasyonunda kritik rol oynar. Hem temel bilimsel bilgi hem de

su ürünleri uygulamaları açısından, lenfoid organlar düzeyinde mekanizmaların daha fazla türler-arası karşılaştırmalı çalışması gereklidir.

Hematopoetik organların evrimi üzerine yapılan bazı çalışmalar (Witten & Huysseune, 2009:315), teleostlarda kemik iliği yerine ön böbreğin uzmanlaşmış bir hematopoetik merkez haline geldiğini göstermektedir. Dalak ve ön böbreğin antijen sunumu ve immün hafıza oluşumundaki fonksiyonları (Ellis, 1980:413), memeli immünolojisiyle paralellik göstermektedir. Bu durum, sucul ortamda patojen yükünün yüksek olması nedeniyle hızlı immün yanıt ihtiyacıyla ilişkilendirilebilir.

Teleost immün sisteminin adaptasyon kapasitesi, türler arası farklılıklarla daha da belirginleşmektedir. Bazı teleost familyalarında kranium, kalp, gonad gibi yapılarda haemopoietik doku yer almaktadır (Zapata, Chiba & Varas, 1996:1). Salmonidler viral enfeksiyonlara karşı güçlü interferon yanıtları sergilerken (Robertsen, 2008:351), Cyprinidae familyasında daha gelişmiş fagositik aktivite (Wintoko & ark., 2013:205) öne çıkmaktadır. Bu çeşitlilik, immün evrimin ekolojik nişle doğrudan bağlantılı olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak mevcut literatür teleost bağışıklık sistemini ve organlarını çok boyutlu bir adaptasyon alanı olarak tanımlamakta ve bu yapının hem evrimsel biyoloji hem de uygulamalı balık sağlığı açısından zengin bir araştırma alanı sunduğunu göstermektedir. Teleost balıklarının bağışıklık sistemi; timus, ön böbrek, dalak, karaciğer ve geniş mukozal yüzeyler aracılığıyla hem özgül hem de özgül olmayan savunma mekanizmalarını barındıran karmaşık bir yapıdır. Balık bağışıklığı üzerine yapılan genomik ve hücresel araştırmalar arttıkça, akuakültürde hastalık yönetimi ve türlere özgül bağışıklık stratejileri geliştirme olanakları daha da genişleyecektir.

Kaynakça

Agius, C., & Agbede, S. A. (1984). An electron microscopical study on the genesis of lipofuscin, melanin and haemosiderin in the haemopoietic tissues of fish. *Journal of fish biology*, 24(4), 471-488. Doi: 10.1111/j.1095-8649.1984.tb04818.x

Agius, C., & Roberts, R. J. (2003). Melano-macrophage centres and their role in fish pathology. *Journal of fish diseases*, 26(9), 499-509. Doi: 10.1046/j.1365-2761.2003.00485.x

Ashfaq, H., Soliman, H., Saleh, M., & El-Matbouli, M. (2019). CD4: a vital player in the teleost fish immune system. *Veterinary research*, 50(1), 1. Doi: 10.1186/s13567-018-0620-0

Björngen, H., & Koppang, E. O. (2022). Anatomy of teleost fish immune structures and organs. *Principles of Fish Immunology: From Cells and Molecules to Host Protection*, 1-30.

Boshra, H., Li, J., & Sunyer, J. O. (2006). Recent advances on the complement system of teleost fish. *Fish & shellfish immunology*, 20(2), 239-262. Doi: 10.1016/j.fsi.2005.04.004

Bozkurt, M., & Eren, Ü. (2009). Balıklarda lenfoid organlar. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 80(2), 13-18.

Chilmonczyk, S. (1992). The thymus in fish: development and possible function in the immune response. *Annual review of fish diseases*, 2, 181-200. Doi: 10.1016/0959-8030(92)90063-4

Dörücü, M., & Karaman, Z. (2017). Balıklarda bağışıklık sistemi organları ve histolojisi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(1), 65-74.

Durmaz, Y., Albayrak H. (2016). Balıklarda Viral Enfeksiyonlara Karşı İmmun Sistemin İşleyişi. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 11(3), 355-363. Doi: 10.17094/ataunivbd.282995

Ellis, A. E. (1980). Antigen-trapping in the spleen and kidney of the plaice *Pleuronectes platessa* L. *Journal of Fish Diseases*, 3(5), 413-426. Doi: 10.1111/j.1365-2761.1980.tb00425.x

Erer H (2002): *Balık Hastalıkları*. Selçuk Üniversitesi Basımevi, 2. Baskı, Konya, 198s.

Fänge, R. (1986). Lymphoid organs in sturgeons (Acipenseridae). *Veterinary immunology and immunopathology*, 12(1-4), 153-161. Doi: 10.1016/0165-2427(86)90119-4

Firmino, J. P., Galindo-Villegas, J., Reyes-López, F. E., & Gisbert, E. (2021). Phytogetic bioactive compounds shape fish mucosal immunity. *Frontiers in immunology*, 12, 695973. Doi: 10.3389/fimmu.2021.695973

Fischer, U., Dijkstra, J. M., Köllner, B., Kiryu, I., Koppang, E. O., Hordvik, I., ... & Ototake, M. (2005). The ontogeny of MHC class I expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, 18(1), 49-60. Doi: 10.1016/j.fsi.2004.05.006

Gomez, D., Sunyer, J. O., & Salinas, I. (2013). The mucosal immune system of fish: the evolution of tolerating commensals while fighting pathogens. *Fish & shellfish immunology*, 35(6), 1729-1739. Doi: 10.1016/j.fsi.2013.09.032

Koppang, E. O., Kvellestad, A., & Fischer, U. (2015). Fish mucosal immunity: gill. In *Mucosal health in aquaculture*, 93-133. Academic Press. Doi: 10.1016/B978-0-12-417186-2.00005-4

Kum, C., & Sekkin, S. (2011). The immune system drugs in fish: immune function, immunoassay, drugs. *Recent advances in fish farms*/Eds Aral F., Dogu Z, 169-216.

Mokhtar, D. M., Zacccone, G., Alesci, A., Kuciel, M., Hussein, M. T., & Sayed, R. K. (2023). Main components of fish immunity: An overview of the fish immune system. *Fishes*, 8(2), 93. Doi:

10.3390/fishes8020093

Munang'andu, H. M., Mutoloki, S., & Evensen, Ø. (2015). A review of the immunological mechanisms following mucosal vaccination of finfish. *Frontiers in immunology*, 6, 427. Doi: 10.3389/fimmu.2015.00427

Parra, D., Reyes-Lopez, F. E., & Tort, L. (2015). Mucosal immunity and B cells in teleosts: effect of vaccination and stress. *Frontiers in immunology*, 6, 354. Doi: 10.3389/fimmu.2015.00354

Press, C. M., & Evensen, Ø. (1999). The morphology of the immune system in teleost fishes. *Fish & shellfish immunology*, 9(4), 309-318. Doi: 10.1006/fsim.1998.0181

Roberts, R. J. (1975). Melanin-containing cells of teleost fish. *The pathology of fishes*, 399-428.

Robertsen, B. (2008). Expression of interferon and interferon-induced genes in salmonids in response to virus infection, interferon-inducing compounds and vaccination. *Fish & shellfish immunology*, 25(4), 351-357. Doi: 10.1016/j.fsi.2008.02.004

Salinas, I. (2015). The mucosal immune system of teleost fish. *Biology*, 4(3), 525-539. Doi: 10.3390/biology4030525

Sun, R., Wang, Q., Huang, Z., Zhan, M., Zhao, Z., Wang, B., ... & Ji, W. (2022). Comparative study on immune function of the head and trunk kidney in rainbow trout responding to IHNV infection. *Viruses*, 14(12), 2663. Doi: 10.3390/v14122663

Sunyer, J. O. (2013). Fishing for mammalian paradigms in the teleost immune system. *Nature immunology*, 14(4), 320-326. Doi: 10.1038/ni.2549

Ocak, F. (2006). Balıklarda Lenfoid organlar ve immun sistemin özellikleri. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 3(1),

61-66.

Thorsen, J., Høyheim, B., & Koppang, E. O. (2006). Isolation of the Atlantic salmon tyrosinase gene family reveals heterogenous transcripts in a leukocyte cell line. *Pigment Cell Research*, 19(4), 327-336. Doi: 10.1111/j.1600-0749.2006.00319.x

Wintoko, F., Setyawan, A., Hudaidah, S., & Ali, M. (2013). Immunogenisitas Heat Killed Vaksin Inaktif *Aeromonas salmonicida* pada Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). *E-Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Budidaya Perairan*, 2(1), 205-210.

Witten, P. E., & Huysseune, A. (2009). A comparative view on mechanisms and functions of skeletal remodelling in teleost fish, with special emphasis on osteoclasts and their function. *Biological Reviews*, 84(2), 315-346. Doi: 10.1111/j.1469-185X.2009.00077.x

Wolke, R. E. (1992). Piscine macrophage aggregates: a review. *Annual Review of Fish Diseases*, 2, 91-108. Doi: 10.1016/0959-8030(92)90058-6

Yu, Y., Wang, Q., Huang, Z., Ding, L., & Xu, Z. (2020). Immunoglobulins, mucosal immunity and vaccination in teleost fish. *Frontiers in immunology*, 11, 567941. Doi: 10.3389/fimmu.2020.567941

Zapata, A. G. (2024). The fish spleen. *Fish & Shellfish Immunology*, 144, 109280. Doi: 10.1016/j.fsi.2023.109280

Zapata, A., Diez, B., Cejalvo, T., Gutierrez-de Frias, C., & Cortés, A. (2006). Ontogeny of the immune system of fish. *Fish & shellfish immunology*, 20(2), 126-136. Doi: 10.1016/j.fsi.2004.09.005

Zapata, A., & Amemiya, C. T. (2000). Phylogeny of lower vertebrates and their immunological structures. *Origin and evolution of the vertebrate immune system*, 67-107.

Zapata AG, Chiba A, Varas A (1996). Cells and tissues of the immune system of fish. 1-62. In: G Iwama, T Nakanishi (Ed.), *The fish immune system: organism, pathogen, and environment*. Academic Press, San Diego. Doi: 10.1016/S1546-5098(08)60271-X

GEÇİCİ KAPAK

*Kapak tasarımı
devam ediyor.*