

Su Ürünlerinde

Yeni Gelişmeler Işığında Güncel Konular

Editör
Ali BİLGİLİ

BİDGE Yayınları

Su Ürünlerinde Yeni Gelişmeler Işığında Güncel Konular

Editörler: Prof. Dr. Ali BİLGİLİ

ISBN: 978-625-372-243-2

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.06.2024

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

Doğanın çeşitliliği ve su ekosistemlerinin yapısı, binlerce yıl boyunca doğal etkiler ve çevresel koşullarla şekillenmiştir. Ancak, günümüzde insanın doğaya olan etkileri, özellikle kirlilik gibi faktörler, geri dönüşü olmayan zararlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, doğal su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu kitapta akarsulardan barajlara dönüşte su ekosistemindeki popülasyon değişiklikleri ve Doğu Karadeniz Bölgesine olan etkileri değerlendirildi.

Ağır metal kirliliği, toksisitesi ve biyoakümülyasyon özelliğinden dolayı çevre için önemli bir sorundur. Krom, kadmiyum, bakır, kurşun, nikel, arsenik, cıva ve çinko gibi ağır metallerin balıklarda birikimi açıklandı.

Zoonotik etkenler, artan su ürünleri talebi ve tüketiminin bir sonucu olarak balıkçılık ve dünya genelindeki sağlık endüstrileri için önemli bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Bu kapsamda olmak üzere balıklarda görülen zoonoz bakteriyel etkenler kapsamlı şekilde sunuldu.

Gıda olarak tüketilen su ürünleri hem doğal ortamından hem de kültür (çiftlik) üretiminden elde edilirler. Elde edildiği ortam, su sıcaklığı, iklim, besin varlığının çeşitliliği, beslenme şekli gibi birçok faktöre bağlı olarak bunların besin içerikleri değişmektedir. Ancak lipid kaliteleri açısından sucul organizmalar karasal organizmalardan daha zengindirler. Bu bağlamda olmak üzere tüketilebilir su ürünlerinde besin kalite indeksi yağ asitleri kapsamlı şekilde ele alındı.

Çipura Akdeniz ülkelerinde önemli düzeyde üretilmektedir. Balık çiftliklerinde ektoparazitler balığın solungaç, deri ve yüzgeçlerine zarar veren önemli hastalık etkenleridir. Çipurada yeme katılan kaprilik asit ve sarımsağın solungaç parazitine (*Sparicotyle chrysophrii*) karşı etkinlikleri araştırıldı.

Bu kitapta yer alan konular kapsamaları itibariyle su ürünleri alanında çalışanların yararlanabileceği güncel bilgileri içeren temel bir kaynak olarak okuyucularına sunulmuştur.

Editör

Prof. Dr. Ali BİLGİLİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER	5
Akarsulardan Barajlara Dönüşte Su Ekosistemindeki Popülasyon Değişiklikleri ve Doğu Karadeniz Bölgesine Etkileri.....	6
Banu KUTLU	6
Balıklarda Biyoakümülyasyon Faktörü	28
Güllü KIRAT.....	28
Mürşide DARTAY	28
Balıklarda Görülen Zoonoz Bakteriyel Hastalıklar	54
Mücahit YÜNGÜL	54
Mustafa DÖRÜCÜ	54
Tüketilebilir Su Ürünlerinde Besin Kalite İndeksi Yağ Asitleri....	96
Nurgül ŞEN ÖZDEMİR.....	96
The Effect of Caprylic Acid and Garlic Supplemented Feed on Gill Parasite (<i>Sparicotyle chrysophrii</i>) Infection in Gilthead Sea Bream	181
Sema MİDİLLİ	181
Deniz ÇOBAN.....	181
Mehmet GÜLER	181
Melike YILDIRIM	181
Hüseyin İHTİYAROĞLU	181
Engin ARBAÇ	181

BÖLÜM I

Akarsulardan Barajlara Dönüşte Su Ekosistemindeki Popülasyon Değişiklikleri ve Doğu Karadeniz Bölgesine Etkileri

Banu KUTLU¹

Giriş

Enerji, insan ihtiyaçlarını karşılamak ve sağlıklı bir kalkınma sürecini sürdürebilmek için hayati öneme sahiptir. Bu enerji, genellikle sanayide, konutta, ulaşım da ve diğer alanlarda kullanılır. Ancak, nüfus artışı ve endüstriyel gelişmelerle birlikte ortaya çıkan büyük ölçekli enerji üretim ve dönüşüm sistemleri, ekolojik dengeyi ciddi şekilde etkilemenin yanı sıra uluslararası boyutta da etkiler yaratır. Enerji kaynakları genellikle iki ana gruba ayrılır: yenilenemeyen enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları. Yenilenemeyen enerji kaynakları arasında kömür, petrol, doğal gaz

¹ Prof. Dr. Banu KUTLU, Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Tunceli/Türkiye, Orcid: 0000-0001-6348-2754 kutlubanu@gmail.com

ve nükleer enerji bulunurken, yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise odun, bitkisel atık, kompost, jeotermal enerji, güneş enerjisi, r zg r enerjisi, hidrojen enerjisi, su, gelgit enerjileri ve dalga enerjisi bulunmaktadır. Hidroelektrik enerji, dünya elektrik üretiminin önemli bir kısmını oluşturur ve bu enerjinin yaklaşık %23'  hidroelektrik santraller tarafından üretilir. Ancak, hidroelektrik enerji üretimi için uygun coğrafi koşulların sağlanması gerekmektedir. Türkiye, pek çok hidroelektrik santralin planlandığı ya da inşa aşamasında olduğu için Avrupa'da Norveç'ten sonra en büyük ikinci yıllık hidroelektrik üretim potansiyeline sahiptir. Ülkenin enerji verimliliği yaklaşık olarak tüm Avrupa  lkelerinin %16,5'ine denk gelmektedir. Bu oran, Almanya, İsviçre, İzlanda, Avusturya, İtalya, İsveç, Polonya ve Norveç'in üretiminden daha fazladır. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamındaki hidroelektrik üretim kapasitesi, tek başına Arnavutluk, Belçika, Bulgaristan, Danimarka, Finlandiya, Almanya, Yunanistan, Macaristan, Portekiz, Romanya, Lüksemburg, İspanya, İngiltere, Hırvatistan ve İrlanda'nın toplam kapasitesinin yaklaşık %3,5'ine denk gelmektedir. Atatürk ve Karakaya hidroelektrik santralleri, işletmedeki kapasite sıralamasında dünya genelinde 23. ve 28. Avrupa'da ise 8. ve 11. sıradadır. Bu durum, GAP'ın ne kadar büyük ve önemli bir projenin parçası olduğunu göstermektedir. GAP'ta inşa edilen barajlar Türkiye'nin elektrik ihtiya ının %40'ını karşılayacak kapasiteye sahiptir. Ayrıca, Çoruh Nehri üzerinde planlanan barajlar da Türkiye'nin elektrik ihtiya ını karşılamaya yöneliktir. Türkiye'de, dünya genelinde olduğu gibi, elektrik talebinin toplam enerji talebinden daha hızlı arttığı genel bir kanıdır.

1970' li yıllarda dünya enerjisinin % 20'si elektrik şeklinde kullanılırken bugün bu oran % 30'u aştı. Bu payın 2030'lu yıllarda % 50'ye çıkması beklenmektedir. Bugün ülkemizde elektriğe dönüştürülen enerjinin oranı yaklaşık olarak % 24 civarındadır. Otuz yıl sonra bu oranın % 40'a çıkması öngörülmektedir. Bu da elektriğin 21. yüzyılda çok büyük bir rol oynayacağını gösteriyor. Enerji sektörü, üretim, iletim ve tüketim aşamalarında giderek artan çevre DO sorunlarına neden olmakta ve kamuoyunda tepkilere neden olmaktadır. Enerji sektöründe atmosfere salınan kirleticilerin ve sera gazlarının büyük bir kısmı enerjinin üretimi, tüketimi ve dönüşümü sırasında ortaya çıkmaktadır. Günümüzde dünya enerji üretiminin büyük bir kısmı fosil yakıt kullanan termik santraller, hidroelektrik ve nükleer santrallerden karşılanmaktadır. Hidroelektrik üretimi diğerlerine göre daha ucuzdur. Üretim seviyelerini ve refahı etkilemeden enerji tasarrufu, daha güçlü ve daha rekabetçi bir ekonomi ve daha az kirli bir çevre için gereklidir. Endüstriyel faaliyetler sonucunda her yıl yaklaşık 20 milyar ton karbondioksit, 100 milyon ton kükürt bileşiği, 2 milyon ton kurşun ve diğer toksik kimyasal bileşikler atmosfere karışmaktadır. Tüm bu faaliyetlerin insanlara ve çevreye büyük tehlikeler yaratabileceğini bilinmesine rağmen dünyanın bol ve ucuz enerjiye olan ihtiyacını da biliyoruz. Bu nedenle enerji politikası belirlenirken enerji ve çevresel faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir (Barrow, 1981). Türkiye'nin toplam ticari enerji üretiminin % 47 'sini oluşturan linyit en önemli enerji kaynağıdır. Toplam enerji üretiminin %28 'ini hidroelektrik, % 17'sini petrol ve %8'ini kömür oluşturmaktadır. Başta hidrolik potansiyel olmak üzere yerli kaynakların en kısa sürede kullanıma sunulması istenilmektedir. (Kibaroglu vd., 2005).

Hidroelektrik Santrallerin Ve Barajların Nehir Ekolojisi Üzerindeki Etkileri

Barajların nehir ekolojisi üzerindeki etkileri genel çerçevede büyük farklılıklar gösterse de iki geniş kategoriye ayrılır: barajların ve rezervuarların varlığından kaynaklananlar ve barajların işletilmesinden kaynaklananlar. Barajların nehirler üzerindeki etkileri şunlardır:

1. Suyun kalitesi ve fiziksel değişiklikler
2. Balıklar üzerindeki etkiler
3. Göl üzerindeki etkiler
4. Balık göçüne etkileri
5. Sosyoekonomik etkiler

Baraj inşaatı sektörünün ekonomik ve kültürel etkileri oldukça karmaşıktır. İnşaat sürecinde su altındaki arazinin şekline ve büyüklüğüne bağlı olarak iç ve dış çökmeler yaşanabilir, bu da arazi değerlerinde değişikliklere neden olabilir. Ancak, inşaat süreci yerel ekonomiyi canlandırıcı etkilere sahiptir, çünkü iş akışları artar ve altyapı ile sosyal hizmetlerin geliştirilmesi gibi ek faydalar sağlanır. Baraj gölleri, rekreasyon ve su ürünleri yetiştiriciliği için bir kaynak oluşturabilir. Ancak, yerel kaynakların ve mirasın korunmaması kültürel değerlerin kaybına neden olabilir.

Hidroelektrik santraller ve barajların iklimsel, hidrolojik, ekolojik, sosyal ve kültürel etkileri bulunmaktadır. Rezervuarlar çevreyi etkiler ve baraj göllerinin nehirlerden daha fazla yüzey alanına sahip olması buharlaşmayı artırabilir, bu da iklim etkilerine yol açar. Bu durum, bitki ve hayvan yaşamını etkileyerek

ekosistemleri değiştirebilir. Uyum sağlayabilen türler hayatta kalabilirken, diğerleri için yaşam alanları daralabilir veya kaybolabilir. Bu nedenle, baraj inşaatlarının çevresel etkileri dikkate alınmalı ve uygun önlemler alınmalıdır.

Barajın inşasından sonra mansap kısmındaki akış koşulları, özellikle yüksek değerlerin kaybolduğu durumlarda kontrol koşullarına bağlıdır. Doğal ortamlarda bu akışların miktarındaki değişiklikler ekosistemdeki canlıların geçirdiği zamanın göstergesidir. Sucul yaşam için önemli olan bu doğal akış değerleri, barajların inşa edilmesinden sonra ekolojik değerini kaybederek organizmanın hareketini engeller.

Dinamik nehir sistemleri çok karmaşıktır. Bu sistemler çözünmüş oksijen (DO) miktarı ve havzada inşa edilen yapılarla ilgili birçok farklı faktörden etkilenir. Karbonik oksijen talebi (CBOD), azotlu oksijen talebi (NBOD), fotosentez, algler ve kirletici geçiş süresi, akarsulardaki DO konsantrasyonunu etkileyen önemli faktörlerden bazılarıdır. Bir akıştaki DO konsantrasyonunun tipik bir  rneği Sag Eğrisidir. Bir modelde, oksijen gerektiren atık suyun girişi nedeniyle aşağı akıştaki DO seviyeleri azalır, Daha Aşağılara inildiğinde oksijen geri kazanılabilir ve işlemler yeniden gerçekleşebilir. Ancak bu model, yukarıda belirtilen çevresel değişkenlerden, nehir veya su havzası için planlanan inşaat projelerinden ( rn. Barajlar, hidroelektrik santraller, kanalizasyon arıtma tesisleri) güçlü bir şekilde etkilenebilir.

Örneğin atık su kilometrelerce uzanan bir şale oluşturmak için nehir suyunun aşağısına girdiğinde, algler oksijen üretmek için kanalizasyondaki zengin besinleri kullanabilir (Berkun ve Aras,

2007). Hidroelektrik santral (HES) türbinleri sudaki oksijen seviyesini azaltır. Barajda enerji üretimi için oksijen bakımından yetersiz yeraltı suyunun kullanılması, mansaptaki su kütlelerinin DO seviyelerini düşürerek etkiler. Bu durumun tersine, barajlar suyun havalandırılmasına izin vererek barajın mansabında DO'nun aşırı doygunluğuna neden olur. Yüksekten düşen suyun havadaki nitrojeni aşırı doygunluk seviyelerinde çözmesi de balıklar için ölümcüldür. Bu etkiler nehrin karmaşık dinamik yapısını etkilemekte ve değiştirmektedir. Barajlar balık göç yollarını kapatarak nehirlerin biyolojik yaşamını etkilemektedir. Balıklar havza yapılarına girip türbinlerden geçerken büyük kayıplara uğrarlar (% 25), nehirdeki balık sayısı büyük farklılıklar gösterir. Bunu önlemek için su alma yapıları metal ağ veya ızgara ile kaplanır. Bu önlemler yük kayıplarını artırır ve akış hızını önemli ölçüde azaltır. Son zamanlarda türbinlere kanat hareketliliği gibi yapısal özellikler eklenerek belirli zamanlarda (göç dönemleri) balıklara verilen zararın azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde balık göçü mevsiminde enerji santrallerinin kapatılması da kullanılmaktadır (Philip, 1991).

Çevresel etkileri çoğu zaman göz ardı edilen barajlar, yaban hayatı için önemli olan nehir vadilerini sular altında bırakarak birçok yaşam türünü tehdit ediyor. Türkiye'deki 305 doğal değer alanına inşa edilecek 561 baraj arasındaki ilişki araştırılmış ve önerilen barajın inşasının diğer tüm doğal değer alanlarını (305' ten 148' i) olumsuz etkileyeceği rapor edilmiştir. Barajlardan 66'sı doğrudan olumsuz etkilenirken, 55 alan dolaylı, 27 alan ise hem doğrudan hem de dolaylı olumsuz etkilerle karşı karşıya kaldığı belirtiliyor. Doğrudan etkilenen alanların 185 bin hektarının tamamen baraj

altında kalması bekleniyor. Baraj inşaatından olumsuz etkilenecek doğal alanlar çoğunlukla Akdeniz, Doğu Anadolu ve Marmara bölgesinde yer alıyor (Ergündoğan,2006). Dünyada kırmızı listede yer alan ve nesli tehlike altında olan mersin balığının yumurtlama göçünün Türkiye'deki baraj ve barajlar nedeniyle engellendiği belirtiliyor. Yumurtlama sırasında tatlı suya giren mersin balığı, aşırı avlanma, yumurtlama alanlarının kirlenmesi ve göç yolları üzerindeki barajların kapatılması nedeniyle nesli tükenme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Türkiye'de baraj inşaatı sırasında daha çok elektrik üretimi dikkate alınmaktadır bu durum da Mersin balığının doğal popülasyonu tükenmesine sebep olmaktadır. Türlerine bağlı olarak mersin balıkları nehir ağızlarından 200-250 kilometre içeride yumurtlar. Denizden nehirlerle giriyorlar. Örneğin Sakarya Nehri üzerine yapılan barajlar sayesinde nehir boyunca Geyve Boğazı'ndan Eskişehir'e göç iptal edilmiştir. Bu durum Yeşilırmak ve Kızılırmak'ta çok belirgindir. Yeşilırmak'tan 40 kilometre içeride bir baraj, 60 kilometre sonra bir baraj daha bulunuyor. Kızılırmak'ta göç yollarını kapatan setler de bulunmaktadır. Bu barajlar yapılırken ekonomik değeri olan mersin balıklarının yumurtlama alanlarına ulaşabilmesi için kanallar veya balık koridorlarının bırakılması gerekiyordu. Balıklar yumurtlamak için nehre giremedikleri için zamanla buraları terk etmişlerdir. Kirlilik ve aşırı avlanma da önemli faktörlerdendir. Rapora göre barajlarda kural olarak küçük balıklar için geçitler bırakılmakta, 80 ve 100 kilogramağırlığındaki kurbağa balıkları için ise daha büyük geçitler yapılması gerekmektedir. Balık türlerinin hayatta kalması için erken aşamalarındaki basit uygulamalar oldukça önemlidir. Mersin balıkları çok büyük bir balıktır ve yetişkin olanları 80-100

kilograma kadar çıkabilmektedir. Bunlara çok geniş koridorlar yapılması gerekiyor. Baraj ve barajların yokluğu ya da yetersiz önlemlerinin sadece mersin balığı değil alabalık türlerinin de yok olmasına neden olduğu bildirilmiştir. (Ekim vd., 2000). Akarsuyun akış hızı ve fiziksel-kimyasal parametreleri değiştiğinde hidrolojik bir etki meydana gelir. Barajdaki suyun bir kısmının buharlaşması, sudaki tuz ve diğer minerallerin miktarını artırır. Akarsudan göle doğru ilerledikçe su hızı, difüzyon ve oksijen emme kapasitesinin azalması nedeniyle doğal temizleme kapasitesi azalmakta ve göl ötrofikasyon sürecine girmektedir. Göl suyu kalitesindeki değişiklikler suda yaşayan organizmaların yaşamlarını da değiştirmektedir. Ekolojik etkiler, barajın fiziksel yapısının su ve karadaki göç yollarını kesmesi, yerleşim alanlarını sular altında bırakması ve bazı önemli türlerin yok olmasına neden olması durumunda ortaya çıkar. Memba tarafındaki balık geçitleri, mansap kısmındaki balık yollarına göre daha fazla soruna sahiptir. Bunun nedeni memba tarafındaki akış hızının çok küçük olması, geçitte balık bulmayı zorlaştırması ve balık geçidinde su hızının ayarlanmasının zor olmasıdır. Ekolojik etkiler, barajın fiziksel yapısının su ve karadaki göç yollarını kesmesi, yerleşim alanlarını sular altında bırakması ve bazı önemli türlerin yok olmasına neden olması durumunda ortaya çıkar. Memba tarafındaki balık geçitleri, mansap kısmındaki balık yollarına göre daha fazla soruna sahiptir. Bunun nedeni memba tarafındaki akış hızının çok küçük olması, geçitte balık bulmayı zorlaştırması ve balık geçidinde su hızının ayarlanmasının zor olmasıdır

Barajların Etkilerinin Azaltılması için Alınması Gereken Önlemler

- Biyoçeşitliliğin yüksek olduğu alanlardan uzak durulması
- Sıcak noktalardan kaçınmak
- Karadaki sıcak noktalardan kaçınmak
- Riskli bölgelerden uzak durmak
- Verimliliğin yüksek olduğu alanlardan kaçınmak
- Biyolojik çeşitliliği destekleyecek araştırmalar yapılması
- Göç yollarının kapanmasının önlenmesi
- Mevsimsel akış düzenlerinin sürdürülmesi
- Akış hızının sağlanması
- Su kalitesinin korunması
- Özel cinslerin yaşam alanlarının korunması
- Kirliliğin önlenmesi
- Barajların kümülatif etkisinin önlenmesi
- Çevresel etki değerlendirmesinde yüksek standartların sağlanması
- Eski ve yeni barajların etkisinin izlenmesi
- Mevcut barajların durumunun iyileştirilmesi
- Geliştirilmiş türbin ve kontrol sistemi
- Elektrikli ekipmanların uygunluğunun sağlanması
- Barajlarda ve sulama sistemlerinde sızıntıları önlenmesi

- Eski barajların hizmet dışı bırakılması
- Göç eden türler üzerinde araştırma yapılması
- Geçiş olaylarının sürekli izlenmesi ve takibi için ekipmanın sağlanması

Çevre Etki Değerlendirme ve Kümülatif Etki Değerlendirme Raporları

Çevresel etki değerlendirme raporu, çevre ile bina arasındaki etkileşimi açıklayan bir rapordur. Bu nedenle yapının gelecekteki işleyişi, uzun ömürlülüğü ve sağlamlığı hakkında önemli bilgiler ortaya koyarlar. Ancak çoklu bina sistemleri için her yapı için ÇED raporu yerine, tüm tesisler ve havzalar arasındaki etkileşimleri tek tek açıklayan Kümülatif Etki Değerlendirmesi (KED) raporunun hazırlanması daha güvenli bir ortam sağlayacaktır. Sonuçlar daha eksiksiz ve karardır. Bu durum Çoruh ve GAP gibi birçok baraj projesi için oldukça önemlidir. Ülkemizde ÇED raporlarının kapsamı, hazırlanma ve kontrol yöntemleri konusunda çelişkili uygulamalar bulunmaktadır. Gelişmiş ülkelerde ÇED ve fayda çalışmalarının hazırlanması çok dikkatli ve ciddidir. Kamuoyu ve tartışmalar önemli ve yönlendiricidir. Baraj inşaatından kısa bir süre sonra çökelti, çöp ve diğer atıklarla dolar, suda bulunan askıdaki maddelerin etkisiyle türbinleri kısa sürede yıpranır, barajlar nedeniyle nehirlerdeki balıklar azalır, evsel ve endüstriyel atık suların rezervuara gitmesi nedeniyle kirlenme, arazideki tuzlanma ÇED raporları ile flora ile fauna üzerindeki sosyal etkiler (göç, gelir değişiklikleri, tarihi eserler vb.) ve ekolojik etkiler belirlenerek gerekli önlemler alınabilmektedir. İyi hazırlanmış ÇED raporları, tesislerin faydalı şekilde kullanılmasını sağlar, yaşam döngülerinin

gelecekteki güvenilirliğini, istikrarını sağlar ve çevrenin ekolojik değerlerini korur. (Canter, 1999; CEQ, 1997). Dünyanın farklı yerlerinde inşa edilen barajlar ve hidroelektrik santraller, flora ile faunaya, sosyoekonomik yapıya ve iklime olan etkilerine göre ele alınmaktadır. Ancak hidroelektrik yenilenebilir olması, ucuz olması ve birincil enerji potansiyeline sahip olması nedeniyle Türkiye için önemlidir. Baraj ve hidroelektrik ile ilgili olumsuzlukların planlama aşamasında tesis tipi seçimi, ÇED raporlarının hazırlanması ve istasyonların kullanımındaki eksikliklerden kaynaklandığı görülmektedir. Bu özellikler göz önünde bulundurularak inşa edilen barajların kaçınılmaz olarak önemli bir çevresel etkisi vardır. Önemli olan olumsuz etkilerin en aza indirilmesi için gerekli hassasiyetin gösterilmesidir. Barajların mümkün olduğu kadar çevre dostu olmasını sağlamaya yönelik önlemlerin mali maliyeti çok yüksektir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu faturayı ödemek zordur. Sulama ve enerji üretimi gibi faydalarına rağmen çevresel etkileri çeşitli nedenlerle sıklıkla göz ardı edilen barajlar, birçok bitki ve hayvan türünü tehdit etmekte ve yaban hayatı için önemli olan nehir vadilerini sular altında bırakarak sosyo-ekonomik etkiler yaratmaktadır.

Türkiye'de inşa edilmesi barajlar, çok yüksek enerji üretim potansiyeli ve etkisi nedeniyle hem yerli hem de yabancı medyanın ilgisini çekti. Özellikle yabancı medyada oldukça taraflı ve hedefe yönelik yazıların yayınlandığı görülmektedir. Ağırlıklı olarak barajların sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerini, fizibiliteye dayalı ÇED ve KED çalışmalarını inceleyen bu yayınlarda hedef olmamak için baraj inşaatı çalışmalarında çok kapsamlı ve ciddi çalışmalar yapılmalı ve değerlendirilmelidir. Uygulamada, tasarım ve işletme

aşamalarında baraj ve çevre arasındaki ilişkinin göz ardı edilmediği gösterilmelidir. Bunu yapmanın zorluğu, Amerika Birleşik Devletleri gibi teknolojik açıdan gelişmiş bir ülkeyi bile sıkıntıya sokmaktadır.

Günümüzde Amerika Birleşik Devletleri'nde hidrolik gücü tehdit eden aşağıdaki faktörler, gelecekte Türkiye'de de güçlü faktörler olabilir.

- Lisans yenileme ve mevzuat zorluklarından dolayı %8 üretim kaybı

- Gerçek ve potansiyel olumsuz çevresel etki

- Fosil yakıtlardan enerji üretimine odaklanması

- Resmi ve özel araştırmaların ve yeterli geliştirme teknolojisinin eksikliği

Barajların Doğu Karadeniz Bölgesine Etkileri

1. Su Kalitesindeki Değişim: Regülatör yapımına bağlı olarak ortaya çıkan ilk çevresel etki, akarsu sisteminin durgun su ortamına dönüşmesidir. Hidroelektrik projelerinin su kalitesine etkisi projenin özelliklerine göre değişmektedir. Suyun baraj veya kontrol gölünde tutulmadığı, ancak enerji tüneli yoluyla elektrik santraline indirildiğinde enerjiye dönüştürüldüğü hidroelektrik projelerinde nehir suyunun kalitesi üzerinde önemli bir etki söz konusu değildir. Projenin bulunduğu Suyun göl bölgesinde tutulmadığı ve ancak enerji tüneli aracılığıyla santrale indirildiğinde enerjiye dönüştürüldüğü bir hidroelektrik projesidir. Ancak genel ifade nehir tipi HES projelerinin su kalitesini etkilemediği yönündedir. Gerçek projelerde tankın kullanım şekline bağlı olarak

tankta kısa süre bekletilen ve doğrudan türbin sistemine beslenen suyun olumsuz bir etkileşimi bulunmamaktadır. Burada dikkate alınmayan hususlar, kanala çok yüksek basınçta verilen su kalitesinin gaz çözünürlüğünü arttırması ve kuyruk suyundan sonra dinlenme olmadığından bunun su yaşamını doğrudan etkilemesidir. Ayrıca inşaat sırasında yerinde incelemelerde kullanılan beton katkıları ve çimentonun dereye karışması, dere yataklarındaki hafriyat çalışmalarının gelişigüzel bırakılması ve sürekli bulanıklığa neden olan çalışmalar da su kalitesine zararlı etkiler olarak değerlendirilebilir. Suyun tutulması sonucunda regülatörlerde akan bir ortamdan durgun bir su ortamına geçiş, oluşan gölün hacmi çok küçük olduğundan su kalitesinde önemli bir değişiklik olmaz. Ancak çok uzun tünellerin kullanıldığı projelerde suda çözünen gaz miktarının kontrol edilmesi ve kirli suyun hesaplanması önerilebilir. Ayrıca ÇED ve fizibilite raporlarında tanımlanan alanlarda toprak ve hafriyat çalışmaları yapılmalı ve dere tabanına darbe gelmemesi için gerekli önlemler alınmalıdır.

2. Balık stokları ve sucul ekosistem üzerine etkileri: Nehir sistemlerindeki balıklar, göç etmese bile hidroelektrik barajlarla temas halinde olabilirler çünkü hidroelektrik santrallerin inşası sırasında çeşitli sucul yaşam formları için çeşitli etkiler meydana gelir. Barajların inşa edildiği alanlara bağlı olarak, sucul ekosistemlerde farklı davranışlar ve yaşam koşulları ortaya çıkar. Hidroelektrik santrallerin inşası sırasında, akarsu yönü değiştirilebilir, sürekli bulanıklık oluşturulabilir, suya katkı maddeleri karıştırılabilir ve suyun akışını engelleyen yapılar, tünel sistemleri ve drenajlar gibi yapılardan kaynaklı değişiklikler yapılabilir. Bu durum, sucul organizmaların yaşam alanlarını ve

hareketlerini etkileyebilir. Etkileşimler nehir yatağındaki suyun enerji kullanımı için kullanılması ve canlı su olarak kalan miktarın azaltılması olarak değerlendirilebilir. Akan suya uyum sağlayan bentik hayvanlar, durgun su regülatör gölünün kapladığı alanlardan çoğunlukla yok olmaktadır. Ayrıca sürüklenen türlerin dağılımında da değişiklikler olabilir. Regülatörün inşası havzanın taban ömrünü niteliksel ve niceliksel olarak değiştirmektedir. Regülatör alanı sonrasında tünel sistemine su verildiğinden, akıntı azalarak hatta kaybolarak alt yapı değişmektedir. Gölet oluşum alanlarında çakıl ve geniş kayalık arazi yerine geniş çamur ve kil alanları oluşmaktadır. Sadece can suyunun aktığı yerlerde nehir yatağı çekilerek suyun akışıyla küçük göletler oluşur ve balıklar için beslenme ve barınma ortamı oluşmaz. Bu alanlar daha önce bulunmayan bazı türler için uygun olabilir. Mevcut ortama uyum sağlayan türler, düzenleyiciden önce ve sonra mevcut ortamda yaşamaya devam edebilir. HES projesini uygulayan derelerde, sudaki canlıların biyolojik olarak ihtiyaç duyduğu minimum su miktarının regülatörün alt kısımlarında kalmasıyla bütün sorun çözülmemektedir. Bu sayı farklı yöntemlerle hesaplansa da regülatörün alt kısmındaki toplam balık stoku sayısı ile yakından ilgilidir. Yeterli su sağlanmazsa balıklar derin ve dar yerlerde toplanır. Toplam balık popülasyonu bu küçük havuz sistemlerini destekleyemeyecek kadar büyükse toplu ölümler meydana gelebilir. Nehir yatağının özellikleri nedeniyle akışın kesilmesi sonucu sıcaklığın artması, çözünmüş oksijenin azalması, besin birikimi ve bunun sonucunda ötrofikasyon gibi olumsuz koşullar ortaya çıkar. Bu açıdan bakıldığında Doğu Karadeniz nehirleri gibi dağ derelerinde gösterge tür olarak tanımlanabilecek *Salmo trutta labrax*'ın (deniz alabalığı) hayatta kalması, sağlanan su

miktarıyla yakından ilişkilidir. Çünkü bu tür hızlı hareket eden, soğuk, oksijen açısından zengin sulara yaşayabilir. Bu faktörler dikkate alınarak su miktarının serbest bırakılması, deredeki yaşamın devamını sağlamak için yeterlidir. Elbette aynı dönemde avlanma yerlerinde balık havuzları ve su akışının az olduğu bölgelerde özellikle regülatör ile türbin arasında oluşan göletlerin aktif kullanımı için akış regülasyonu kullanılmamalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Sazan ve kefal türleri, akarsuyun içine inşa edilen engeller nedeniyle nispeten yerel bölgelerde yaşamaya devam etse de, bu etki, başta salmonidler, yılan balığı ve mersin balığı olmak üzere diğer anadrom türler için öldürücüdür. Sonuç olarak, üremek ve yiyecek bulmak için tatlı su ve deniz ortamları arasında göç etmek zorunda kalan türlerin popülasyonları hızla azalıyor. Akarsularda göçü engelleyen yapılar, ticari değerlerinin yüksek olması nedeniyle aşırı avlanma baskısı altında kalmaları ve ilk olarak çevre kirliliğine maruz kalmaları nedeniyle bu türlerin yok olması anlamına gelmektedir. Dünya çapında çok spesifik bölgelere endemik kalan bireyler ve alt türler, özel koruma programları başlatılarak koruma altına alınmaktadır.

3. Havza bazında taşıma kapasiteleri ve çevresel etkinin çıkarılması: Son zamanlarda, enerji üretiminde çevre dostu yeni konseptler geliştirilerek çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmektedir. Bu gelişmelerden biri, hidroelektrik endüstrisinde uygulanmaya başlanmıştır. Öncelikle belirli bölgelerdeki deneme uygulamalarıyla geliştirilen teknolojileri, nehir ekosistemlerini olumsuz etkilemeden mümkün olduğu kadar çok elektrik üretilebilir. Kârlılığa yönelik klasik enerji üretim yöntemleri yerine küçük

yatırımlar veya tasarım değışiklikleri ile etkili sonuçlar elde edilebilir. Balıkları koruyan, ekosistem bütünlüğünü sağlayan projelerin enerji verimli bir şekilde yürütölmesi gerekmektedir. Doğu Karadeniz bölgesindeki bazı projeler, birde fazla regölätör ve kanal hidrolik sistemi ile iki veya daha fazla HES ünitesine bağlanmaktadır. Ancak çevresel etki de rapora dâhil edilmeye çalışılmaktadır. Örneğın Çağlayan ve Kapistre dereleri, Solaklı Nehri' nin yan kolu ve Sürmene Nehri ile Baltacı, İyidere ve Uzungöl'e bağlanarak elektrik üretimi amacıyla yapılmıştır. Bu tür bir proje, benzer akışlar için uzun ortalamalara göre tasarlanan ve hesaplanan birçok projeye çelişebilmektedir. Birbiri ardına tasarlanan HES'leri başka bir santralden gelen atık suyu kanal regölätörü aracılığıyla tünele ve yatağa geri döndürebilmektedir. Trabzon ve Rize illerinde büyük nehirlerde 10 – 17 adet HES'in ardına hayata geçirildiğı projeler bulunmaktadır. Su ekosistemi açısından bakıldığında, suyun iki farklı dereye yönlendirilerek aktarılması ve taşıma kapasitesi azaltılmadan aynı dere üzerinde birden fazla projenin hayata geçirilmesi gibi dereye yapılacak müdahaleler geri dönüşü olmayan sonuçlara yol açabilmektedir. Bölge genelinde her bir nehrin havza sularına göre etki değerdendirmesi yapılmalı, milli parkların korunan alanların ve endemik türlerin korunmasına yönelik plan hazırlanmalıdır. Çok sayıda HES projesini kapsayan ve ÇED olumlu raporları ayrı ayrı değerdendirilebilecek bu tür projelerin kolektif etkilerinin bilimsel ilkelere uygun olarak objektif bir şekilde sunulması gerekmektedir. Konunun bölge üniversiteleri, araştırma enstitöleri ve sivil toplum kuruluşları ile Çevre ve Orman Bakanlığı birimlerinin katılımıyla daha kapsamlı bir şekilde değerdendirilmesine ihtiyaç vardır. Bu

bütünleşmiş değerlendirmenin kapsamlı bir “havza planlaması’na Dönüştürülmesi gerekmektedir.

4. Rehabilitasyon Projeleri Yürütülmesi

Sudaki organizmaların korunması için tüm teknik uygulamaların yanı sıra iyi bir yönetim modelinin de uygulanması gerekmektedir. Ne yazık ki ülkemizdeki hidroelektrik projelerinin hiçbirinde ve incelenen ÇED raporlarında bu konu ele alınmıyordu. Azalan akış hızlarına bakılmaksızın dere yatağındaki yaşamın sürdürülebilmesi için sürekli su akışı (ortam/canlı su), göç ve yumurtlama dönemlerinde akışın izlenmesi ve düzenlenmesi gibi uygulamalar geliştirilebilir. Akış regülatörü ile santral binası arasında akışın bypass edildiği alan sadece canlı su akışı olduğundan, bu yönetim modeli balıkların diğer canlılardan gelen av baskısına ve predetasyona maruz kalmasını da kabul eder. Hatta Rize ve Artvin termik santral projelerinden bazılarının ÇED raporlarında proje alanının kaçak avlanmayı önleyeceği ve korunan türleri koruyacağı belirtiliyordu. Burada yerinde alınacak küçük önlemlerin çok etkili sonuçlar doğuracağı söylenmektedir. Örneğin sel ve taşkınların etkileri barajlar kadar olmasa da kısmen önlenebilse de bu dönemlerin sonunda nehir yataklarında oluşan küçük göletler denizde yaşayan canlıların ve balıkların kaldığı yerler haline gelerek su dolu göletler haline gelir. Akan suyun bir süreliğine bağlantısının kesilmesi, tamamen kuruması veya oksijen bağlantısının kesilmesi nedeniyle toplu ölümlere yol açmaktadır. Bölgede uygulanan HES projelerinin sucul faunaya etkisi, bölgedeki üniversite ve araştırma kurumlarının sürekli takibi ile proje bütçesinde çok cüzi miktarlarla gerçekleştirilmektedir. Bilimsel esaslara dayanan ve bağımsız kuruluşlar tarafından yürütülen bu izleme projeleri, ciddi

yaklaşımlarla sürekli raporlar halinde kamuoyuna sunulabilir. STK'lar, çevre sorunlarıyla ilgilenen yerel halk ve önleme girişimleri üzerinde olumlu bir etkisi olacaktır. Özellikle Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'nde barajların ve düzenleyici yapıların ekosistem üzerindeki etkileri düzenli olarak raporlar şeklinde paylaşılıp ve takip edilmektedir. Bir diğer yeni yaklaşım ise “referans nehir” kavramıdır. Bir nehir ekosistemi yönetim modelinin geliştirilmesi bu kavramın kısa bir tanımıdır. Nehrin tüm sektörel kullanımları, kritik fiziksel, kimyasal süreçleri ve biyotik değişimleri takip ederek bir strateji geliştirmek amaçlanmaktadır. Bu amaçla izlemenin yeterli teknik bilgilerle, çeşitli araçlar kullanılarak ve düzenli aralıklarla yapılması gerekmektedir. Yönlendirilmiş bir sistem (örneğin başlığımızdaki gibi enerji üretimi), olası yapıya göre esnek olan çeşitli alternatif senaryolarla referans alınır ve diğer alanlardaki uygulamalardan önce bilgi elde edilir (Richter vd.,1997). Bir örnekle açıklamak gerekirse, 30 yıl önce İyidere’ de inşa edilen santralin ekosistem üzerindeki etkisi, “referans kanal” kavramı altında yeterli mühendislik bilgisi ile analiz edilmiş olsaydı, hayata geçirilecek 400’den fazla HES projesine doğru bir şekilde uygulanabilecekti. Bu bilgi, yönetim modeline dayalı kararların alınmasına yardımcı olur. Ülkemizde çevre yönetimi ve su yönetimi (su yönetimi) ile ilgili temel eksiktir.

5. Çevresel/Ekosistem Su İhtiyacı: Nehir tipi santrallerde regülatörler tarafından kontrol edilen su yataktan akmadığı için yaşamın devamı için bir miktar su tutulur. Her nehir ekosisteminin ihtiyaç duyduğu su miktarı literatürde “çevresel/ekosistem su ihtiyacı” olarak tanımlanmakta ve bu talep çeşitli yöntemler kullanılarak hesaplanabilmektedir. 1970’li yıllarda

canlı su olarak da adlandırılan çevrenin/ekosistemin su talebinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Basit yöntemlerden, gelişmiş bilimsel temellere ve yaygın kullanıma sahip daha karmaşık yöntemlere doğru bir gelişme yaşanmıştır. Su kaynaklarının korunması için verilecek su miktarının net olarak belirlenmesi yeterli değildir. Akış koşulları önemlidir. Su akışı her zaman düzenli olmalıdır. Hayat sudaki oksijene bağlı olduğundan kısa kesintiler bile geri dönüşü olmayan hasarlara neden olabilir. Akış sürekliliği konusunda bypass kanallarının devamlılığının sağlanmasının yanı sıra özellikle üreme ve göç dönemlerinde mevsimsel özelliklere göre belirli bir akış seviyesinin korunması gerekmektedir.

Ekonomik olarak değerli nehirlerin yaşam ortamlarının su ihtiyaçlarını belirlemek için yapılan çalışmalar, son yıllarda balıkların hayatta kalması için gerekli olan su miktarını belirlemekle sınırlı kalmamıştır. Bunun yerine, diğer yaşam formlarını (omurgasızlar, su kuşları vb.), ekosistem yapısını (su yolu formu, bitki örtüsü ve taşkın yatakları), besin dinamiklerini ve birincil üretimi de dikkate alan yeni yöntemler geliştirilmiştir. Akış süreklilik eğrisi, bir nehrin düşük akıştan taşkın durumuna kadar olan akış durumunu en uygun şekilde gösteren bir yöntemdir. Günlük ortalama akış verileri kullanılarak oluşturulan akış süreklilik eğrileri, belirli bir akış hızının istenilen süre boyunca ne kadar süreyle mevcut olduğunu gösteren kümülatif referans dağılımlardır. Bölgedeki akarsuların günlük ve aylık ortalama akışlarına bakıldığında, kurak ve yağışlı dönemlerin nehir yatağına göre farklılık gösterdiği görülür. Bu farklılıkta temel etken, yüksek kesimlere düşen karların yaz aylarında erimesidir. Kış aylarında,

yüksek kesimlerdeki karlar henüz erimediği için dere akışları azalırken, yaz aylarında bu akışlar artar. Ekosistemlerin korunması açısından, regülatörler tarafından nehir yataklarına bırakılan su miktarı, akış aşağısında bulunan canlı ekosistemleri etkilememesi için farklı yöntemler kullanılarak hesaplanmalı ve raporlara yansıtılmalıdır. İspanya'da 1994 yılında işletmeye alınan rezervsiz bir nehir tipi hidroelektrik santralinin, balıklar ve diğer suda yaşayan hayvanların regülatörden nehir yatağına doğru olan yukarı akışları kullanması durumunda alabalık popülasyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Balık geçişi ve can suyu kriterlerinin bilimsel olarak düzenlenmesine rağmen santralin alt kısımlarındaki stok yoğunluğu ve biyokütle %50 oranında önemli bir düşüş göstermiştir. Barajın üst kısmına göre popülasyon parametrelerindeki farklılık önemli bulunmuştur. Özellikle akış kriterlerinin değiştirildiği santralin alt kısımlarında 0 ve 1 yaşlı alabalık sayısında önemli bir azalma gözlenmiştir. Mevcut değişimler nedeniyle ergin balıkların üreme alanlarına göç edemediği gözlemlenmiştir. Cowx ve Gould (1989) aynı gözlemi Clywedog Nehri'nde de rapor etmiştir; burada alabalık yumurtlama göçünün bozulması esas olarak nehir tabanı, habitat ve akıntılardaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Kapsamlı düzenlemelere rağmen su ve akış ayarlamaları sık yapılmaktadır. Hidroelektrik santrallerde ve baraj nehir havzalarında su yönetimi oldukça önemlidir. Araştırmalar, çevresel su kullanımındaki büyük dalgalanmaların (azalışlar ve artışlar) özellikle 0+ yaş somon stokları için önemli olduğunu ortaya çıkardı. Diğer büyük balık türleri artan su hızını ve bulanıklığı bir dereceye kadar sel benzeri koşullar altında tolere edebilse de, bu durum büyük yavru ölümlerine neden olabilir. (Nicola, 1999).

Bu noktada, ıslak ortam yöntemiyle hesaplanan ekosistemin su ihtiyacının hedef türlerin su ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek önemlidir. Araştırmalar, sucul yaşamın suyun hızı ve derinliği konusunda seçici olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, kontrol parametreleri olarak su hızı ve derinliği seçilmiştir. Bu kontrolü gerçekleştirebilmek için öncelikle suyun taşıdığı akarsu ekosisteminde bulunan türlerin belirlenmesi gerekmektedir. Hedef türlerin tanımlanabilmesi için literatürden yararlanılabilir. Ancak, veri eksikliği durumunda türlerin tespiti için saha çalışmalarının yapılması gerekebilir.

SONUÇ

Suyun, tarih boyunca medeniyetlerin gelişiminde kilit bir rol oynadığı bilinmektedir. Önemli nehirler boyunca kurulan ilk uygarlıklar, suyun insanların yaşamını şekillendiren önemini kanıtlar niteliktedir. Araştırmacılar, nehir kıyılarında gelişen ekolojik kavramlar arasındaki bağlantıları anlamaya çalışarak farklı felsefi yaklaşımlar kullanmışlardır. Bilim insanları, nehirlerin ekolojik doku ile olan ilişkisini zamana ve mekana bağlı olmaksızın bütünsel bir şekilde anlamak için çalışmalarını sürdürmektedirler. Su, ekolojik denge için hayati öneme sahip olduğundan, hiçbir zaman bir meta olarak görülmemiş ve genellikle kamuya ait olmuştur. Suyun tarımsal sulama veya diğer üretim amaçları için kullanılması durumunda, içme suyu gibi temel yaşam koşullarına ayrılan miktarın dışında ayrı bir miktar kiralanır veya ödünç verilir. Doğanın çeşitliliği ve su ekosistemlerinin yapısı, binlerce yıl boyunca doğal etkiler ve çevresel koşullarla şekillenmiştir. Ancak, günümüzde insanın doğaya olan etkileri, özellikle kirlilik gibi faktörler, geri dönüşü olmayan zararlara neden olabilmektedir. Bu

nedenle, doğal su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi nehir sistemi birçok sektörün baskısı altındadır. Artan bu çevre bilinciyle birlikte, doğal çevreye zarar veren faaliyetlerin diğer faaliyetlerden ayırt edilmeden çevresel etkileri izlenmeli ve gerekli önlemler zamanında alınmalıdır. Onbinlerce yıldır doğal etkiler ve çevre koşullarıyla şekillenen doğanın çeşitliliği ve su ekosisteminin yapısı, dış etkilere ve tehditlere açıktır. Günümüzde insanın doğaya olan etkileri, özellikle de kirlilik, geri dönüşü olmayan tahribatlara neden olabiliyor. Daha önce de belirtildiği gibi nehir sistemi birçok sektörün baskısı altındadır. Artan bu çevre bilinciyle birlikte, doğal çevreye zarar veren faaliyetlerin diğer faaliyetlerden ayırt edilmeden çevresel etkileri izlenmeli ve gerekli önlemler zamanında alınmalıdır. Bölgedeki hidroelektrik santrallerinin canlı su hacimlerinin aynı kriterlere göre hesaplanması, balık geçitlerinin mansap ve memba göçü için verimli ve kullanışlı olacak şekilde tasarlanması, Alabalık ve barbus türlerinin göçünün bölgeye referans olarak benimsenmesi ve kamu kurumları ile akademik kurumların kullanım ve inşası sırasındaki değişikliklerin etkisinin bilimsel kriterlere göre izlenmesi ve halka yönelik sürekli bilgi akışının sağlanması, yatırımların bir dereceye kadar azaltılması, gerekirse her nehir için çevresel açıdan önemli görülen bir alan koruma alanı olarak belirlenerek yaşam devam ettiği sürece korunmalı, havzaya ilişkin kümülatif etki raporları hazırlanarak sonuçlarına göre planlamalar yapılmalıdır.

BÖLÜM II

Bahklarda Biyoakümülyasyon Faktörü

Güllü KIRAT¹
Mürşide DARTAY

GİRİŞ

Ağır metal kirliliğı, toksisitesi ve biyoakümülyasyon özelliğinden dolayı çevre için ciddi bir sorundur. Çevredeki ağır metal kirliliğı farklı doğal ve antropojenik kaynaklardan meydana gelebilmektedir. Ağır metallerin doğal kaynakları esas olarak, volkanik patlamalar ve metal içeren kayaların aşınmasıdır; ağır metallerin antropojenik kaynakları arasında tarımsal ve endüstriyel faaliyetler, fosil yakıt ve benzinin yanması, atık yakma tesisleri, madencilik vb. yer alır. Bu ağır metallerin harekete geçirilmesi ile metallerin su ekosistemine karışması, suyun fizikokimyasal

¹ Doç. Dr., Güllü KIRAT Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yozgat/Türkiye, Orcid: 0000-0002-1167-0574, gullu.kirat@yobu.edu.tr

özelliklerini değiştirerek suda yaşayan organizmalar için tehlikelidir. Ağır metaller, metalce zengin gıda maddelerinin tüketilmesi sırasında esas olarak solungaçlardan, deriden ve sindirim kanalından balık vücuduna girmektedir. Krom, kadmiyum, bakır, kurşun, nikel, arsenik, cıva ve çinko balıklarda ciddi toksisiteye neden olan en yaygın ağır metal kirleticilerdir.

Bu derleme çalışması, Krom, Kadmiyum, Bakır, Kurşun, Nikel, Arsenik, Cıva ve Çinko gibi ağır metallerin biyoakümülyasyonunu tartışmayı amaçlamaktadır.

Krom (Cr)

Krom, doğada bulunan en yaygın eser elementlerden biridir. Yerkabuğu ve deniz suyunda bulunur (Bakshi & Panigrahi, 2018). Bu element yerkabuğunda saf halde bulunmaz, ancak iki değerlikli (Cr^{2+}), üç değerlikli (Cr^{3+}) veya altı değerlikli (Cr^{6+}) oksidasyon formlarında bulunur. Bu farklı formlardan Cr^{3+} ve Cr^{6+} en kararlı formlardır (Velma & ark., 2009). Cr^{3+} oksidasyon durumu düşük membran nedeniyle daha az toksiktir. Cr^{6+} oksidasyon durumu güçlü oksidatif potansiyele sahip olduğundan daha toksiktir (Vincent & ark., 1995; Garai & ark., 2021).

Kromun suda yaşayan organizmalar üzerindeki toksisitesi yaş, gelişim evresi ve tür gibi çeşitli biyotik faktörlere ve pH, sıcaklık ve suyun alkalinitesi gibi abiyotik faktörlere bağlıdır. Kroma ilk maruz kalan balıklarda düzensiz yüzme, mukoza akıntısı, vücut renginde değişiklik, iştah kaybı gibi farklı davranış değişiklikleri gözlenmiştir (Nisha & ark., 2016).

Kromun biyoakümülyasyonu balıkların çeşitli dokularında farklılık göstermektedir. En yüksek krom birikimi solungaçlarda,

karaciğerde ve böbrekte bulunurken, kas dokusunda çok düşük konsantrasyonlara rastlanmaktadır (Yeşilbudak & Erdem, 2014; Garai & ark., 2021).

Kromun balıklar üzerindeki etkileri

Ağır metaller balıklarda ya çevredeki sudan ya da çevredeki besinlerin alınmasıyla birikir (Said & ark., 1992). Antropojenik faaliyetler nedeniyle doğal su bu metal tarafından kirletilmektedir. Nehir ve göllerdeki krom konsantrasyonunun 1 ila 10 ug/L arasında değiştiği ve EPA'nın insan sağlığının ve sucul yaşamın korunması için sırasıyla 50 ila 100 ug Cr/L arasında izin verilen seviyeyi önerdiği belirtilmektedir. Bazı balık türleri, anemi, eozinofili ve lenfositoz, bronşiyal ve renal lezyonlar gibi kan değerlerinde değişiklikler gözlenmesi kromun zehirli etkisine sahip olduğunu göstermektedir. Cr balığın vücudunda daha az birikirken, solungaçlarda daha yüksek birikerek solungaçlarına zarar verir (<http://www.lenntech.com/periodic/elements/cr.htm>; Afshan & ark., 2013).

Kadmiyumun balıklar üzerindeki etkileri

Kadmiyum, su ortamında ve yerkabuğunda yaygın olarak bulunan, esansiyel olmayan ve en toksik ağır metaldir (Sastri K, Gupta, 1979). Fosil yakıtların ve belediye atıklarının yakılması, çevreye kadmiyum salınımının en büyük kaynakları olarak bilinmektedir (kömür veya petrol gibi) (Nriagu & Pacyna, 1988). Kadmiyum ayrıca çinko, kurşun veya bakır eritme tesislerinden de atmosfere karışabilir (Sidoumou, 1991). Endüstriyel ve evsel atıkların atılmasıyla tatlı suya karışabilir. Gübreler genellikle bir miktar kadmiyum içerir. Sudaki organizmaların üreme hızı da ağır metallere maruz kalma nedeniyle etkilenebilir ve kirli sularda

nesillerinin kademeli olarak tükenmesine yol açabilir (Sridhara & ark., 2008; Afshan & ark., 2013)

Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum, yer kabuğunda ortalama 0.1-0.5 ppm konsantrasyonda bulunan bir eser elementtir ve genellikle çinko, bakır ve kurşun cevherleri ile birlikte bulunur. Okyanus suyunda ortalama konsantrasyon 5-110 mg/L arasındadır ve yüzey suyu ve yeraltı suyunda genellikle <1 µg/L'dir. (Faroon & ark., 2012). Kadmiyumun element formu doğada mevcut değildir. Bunun yerine, kadmiyum klorür, kadmiyum oksit, kadmiyum sülfür, kadmiyum karbonat, kadmiyum nitrat ve kadmiyum siyanür gibi bileşik formları yaygın olarak bulunur (Borgmann & ark., 2005). Kadmiyum sucul ekosistemde farklı doğal ve antropojenik kaynaklardan salınmaktadır. Kadmiyumun doğal kaynakları volkanik patlamalar ve kayaların ayrışması ile yerkabuğu ve mantodan gelmektedir. Antropojenik kaynaklar ise, fosil yakıtların yanması, gübreler, tarımsal atıklar ve su kütlesini kirleten endüstriyel kullanımı (plastik stabilizatörler, pigment, piller, elektroporlama endüstrileri) içerir (Järup, 2003; Muntau & Baudo, 1992). Cd bileşiklerinin suda çözünen bileşikleri besin zinciri yoluyla balığın vücuduna girer (Perera & ark., 2015). Balıklar, kadmiyumun suda çözünmüş serbest iyonik formunu solungaç, gastrointestinal sistem ve deri yoluyla doğrudan alırlar. (Li & ark., 2009; Garai & ark., 2021).

Kadmiyum birikimi, yavaş atılım hızı nedeniyle ciddi bir çevresel endişe kaynağıdır. Kadmiyum biyoakümüülasyonunun en yüksek seviyesi karaciğer, böbrek ve solungaçta, en düşük seviyesi ise deride bulunur. Solungaçlar kadmiyum detoksifikasyonu için en

etkili organdır (Handy, 1992). Kadmiyum, yüksek biyoakümülyasyon oranı nedeniyle suçul organizmalar için en toksik ağır metallerden biri olarak kabul edilmektedir (Garai & ark., 2021). Kadmiyumun böbreklerde biyoakümülyasyonu böbrek yetmezliğine neden olabilir (Madzingira & ark., 2020).

Bakır (Cu)

Son yıllarda, ağır metallerin biyoyararlanımları, parçalanmamaları, uzun yarılanma ömürleri, biyobirikim ve biyomagnifikasyon özelliklerinden dolayı çevresel kirlenmeyle ilgili artan bir ekolojik ve küresel halk sağlığı kaygısı bulunmaktadır (Bradl, 2005). Balıklar, deniz ortamlarında yaşayan en yaygın organizmalardır ve ağır metalleri kaslarında yoğunlaştırma yetenekleriyle bilinirler. Ek olarak balık, besin zincirindeki kirleticilerin, özellikle de ağır metallerin birikiminin önemli bir göstergesi ve aynı zamanda suçul ekosistemin biyolojik göstergesidir (Pan & Wang, 2012; Vieira & ark., 2011; Majed, 2019).

Ağır metallerin balıklar tarafından alımı öncelikle solungaçlar, besinler ve deri yoluyla gerçekleşmektedir. Alınan ağır metaller kan yolu ile taşıyıcı proteinler aracılığıyla organlara taşınmakta ve metallere bağlanarak yüksek konsantrasyonlara ulaşabilmektedir. (Sönmez & ark., 2016). Balıklardaki toksik element konsantrasyonları balığın cinsiyetine, yaşına, mevsime ve yaşadığı yere bağlıdır. Su kaynaklarının antropojenik faaliyetlerle kirlenmesi su kaybına yol açmakta ve dolayısıyla besin zincirinin dengesini bozmaktadır (Afshan & ark., 2014; Elbeshti & ark., 2018).

Kurşun (Pb)

Kurşun, PbS, PbSO₄ ve PbCO₃ gibi diğer elementlerle birlikte çevrede doğal olarak bulunan en tehlikeli ağır metallerden biri olarak kabul edilmektedir. Çevredeki kurşun konsantrasyonu, metal madenciliği, kömür, petrol ve benzinin yakılması, akü üretimi, kurşun-arsenat pestisitler, kurşun bazlı boya, pigmentler, gıda kutuları vb. gibi farklı antropojenik kaynaklar tarafından çok fazla artmaktadır (Abadin & ark., 2007). Çeşitli endüstrilerden, tarım alanlarından, kurşun tozundan ve belediye atık sularından kaynaklanan kurşun deşarjı doğrudan sucul ortama ulaşmakta ve sucul yaşam için toksisiteye neden olmaktadır (Sepe & ark., 2003). Kurşunun sudaki çözünürlüğü pH, tuzluluk, sertlik vb. faktörlere bağlıdır. Kurşunun en yüksek çözünürlüğü yumuşak ve asidik sularda görülmektedir. Kurşunun balıklar için öldürücü konsantrasyonu 10-100 mg/L'dir (Tae & ark., 2020). Kurşuna maruz kalmanın subletal konsantrasyonu balıklarda davranış değişikliğine, iktidarsızlığa ve büyüme geriliğine neden olur (Afshan & ark., 2014). Balıklarda kurşun biyoakümüülasyonu esas olarak karaciğer, dalak, böbrek ve solungaçlarda meydana gelir (Creti & ark., 2010; Garai & ark., 2021).

İnorganik kurşuna akut veya kronik maruz kalmanın kansere (Al-Busaidi & ark., 2011; Rahman & ark., 2012), nörolojik (Charlet & ark., 2012), kardiyovasküler (Bosch & ark., 2016), hematolojik (Bosch & ark., 2016; Leung & ark., 2017) ve teratojenik (McCluggage, 1991; Al-Busaidi & ark., 2011; Rahman & ark., 2012; Piper & Restrepo, 2013) etkilere neden olduğu rapor edilmiştir. Su sistemleri için potansiyel metal kirliliği kaynakları çeşitlidir ve coğrafi konuma göre değişir. Bunlar jeolojik ayrışmayı, erozyonu,

doğrudan atmosferik alımı, endüstriyel, madencilik, konut, belediye ve tarımsal atıkların nehirlerle boşaltılmasını içerir (Jabeen ve Chaudhry 2010; Authman ve diğerleri 2015). (Madzingira & ark., 2020)

Nikel (Ni)

Nikel endüstride yaygın olarak kullanılan bir su kirleticisidir (Moore, 1991). Doğal sularda Ni^{2+} baskın bir kimyasal türdür. Su ekosistemlerinde nikel çok sayıda inorganik ve organik bileşikle etkileşime girer ve farklı kimyasal kökenli maddelere adsorbe edilmiş çözünebilir tuzlar halinde oluşur (Eisler, 1998; US EPA, 1980; US EPA, 1986). Balıklara yönelik nikel toksisitesini değiştiren suyun çeşitli fiziko-kimyasal faktörleri bilinmektedir. Nikelin akut ölümcüllüğü, suyun pH'ının azalmasıyla artar ve sertlik, alkalilik ve toplam askıda katı madde miktarı arttıkça azalır (Pyle 2002; Hoang 2004; Svecevičius, 2010).

Balıklarda nikel zehirlenmesinin belirtileri yüzeye çıkma, hızlı ağız ve göz kapağı hareketleri ve ölümden önce kasılmalar ve denge kaybıdır (Khangarot & Ray 1990). Solungaç lamellerinin iyonik nikel tarafından tahrip edilmesi, havalandırma hızını azaltır ve kan hipoksisine ve ölüme neden olabilir (Ellgaard & ark., 1995). Balıklarda nikel zehirlenmesinin diğer belirtileri arasında kas ve karaciğerde glikojen konsantrasyonunun azalması ve eş zamanlı olarak kandaki laktik asit ve glikoz seviyelerinde artış (Ghazaly, 1992) gibi belirtiler yer alır (Evans & ark., 1990; Eisler, 1998.).

Arsenik (As)

Arsenik (As), doğal ve antropojenik süreçler nedeniyle su ortamında yaygın olarak bulunan metaloid bir elementtir. Önemli ve

her yerde bulunan bir çevresel kirleticidir ve insanlarda zehirlenme riski dünya çapında bir halk sağlığı sorunudur (Chowdhury & ark., 1999; Rossman, 2003). Toksisiteleri çeşitli organizmalarda gösterilmiştir ve veriler, As'ın inorganik formlarının en yüksek toksisite seviyesini sergilediğini, organo-arseniklerin ise genellikle daha az toksik olduğunu göstermektedir (Duker & ark., 2005). Balıklar genellikle çevre kirliliğinin su ekosistemleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için tercih edilen bir organizma olarak kabul edilir (Gernhofer & ark., 2001; Gaim & ark., 2015). Solungaçları, derileri ve As ile kontamine olmuş gıdaların alımı yoluyla sürekli olarak maruz kalırlar. Balıklar uzun süredir suda yaşayan çevresel kirleticilerin biyolojik olarak izlenmesi için en iyi göstergeleridir (Tisler & ZagorcKoncan 2002). Su ekosisteminde As konsantrasyonunun yüksek seviyesi, yani izin verilen sınırın üzerinde olması, balığın büyümesi, üremesi, iyon regülasyonu, smoltifikasyon, gen ekspresyonu, bağışıklık fonksiyonu, enzim aktiviteleri ve histopatolojisi gibi çeşitli fizyolojik sistemleri etkiler (Pedlar & ark., 2002a, b; Datta & ark., 2009) (Şekil 1). As ile kontamine olmuş balık tüketimi, insanlarda As'e maruz kalmayla sonuçlanabilir ve olumsuz sağlık etkilerine yol açabilir (Kar & ark., 2011; Kumari & ark., 2017).

Cıva (Hg)

Cıva hem doğal hem de antropojenik kaynaklardan çevreye salınan toksik bir ağır metaldir. Cıva tüm dünyaya dağılmıştır ve yerkabuğunda, atmosferde, okyanuslarda ve yaşam formlarında, balıklarda, bitkilerde ve hayvanlarda eser miktarda olmak üzere doğal olarak döngü halindedir (Rasmussen & ark., 2005).

Hg, civa buharı, tuzları ve organik civa şeklinde üç ayrı kimyasal formda bulunur. Dünyanın birçok yerinde sulara atılan atıklar çevre kirliliğine neden olmaktadır. Hg; mikrop öldürücü, mantar ilacı ve plastik üretiminde hala kullanılmaktadır (Sarkar, 2002; Dökmeci & Dökmeci, 2005; Sienko, 1983; Klaassen, 2009; Bakar & Baba, 2009). Düşük konsantrasyonlarda bazı ağır metaller, canlı organizmaların yaşamını sürdürebilmesi için gerekli de olsa (Kır & ark., 2007), besin zinciri ile bu canlılardan beslenen canlılara da geçerek bazı hastalıklara neden olmaktadır (Kiracı, 2014). Civa, su ortamında bulunan ağır metallerden biridir. Balıklarda biriken civa, civa tuzları, metalik civa ve mikroorganizmalar ile dimetil ve mono civa bileşikleri halinde de bulunmaktadır. Organik civa bileşikleri, gıdalar yoluyla insanlara geçmesi *Minomat Hastalığı* ile 1950 - 1960 yılları arasında Japonya'da gözlenmiştir. (Dt jıminio,1968; Kırat & Dartay, 2003a).

Çinko (Zn)

Bir eser element olarak çinko, katalitik reaksiyonlarda elektron transferi için gereklidir. Bununla birlikte, kronik olarak yüksek miktarda metal alımı, balıkların organlarında biyoakümülyasyona neden olabilir (Nussey & ark., 2000) ve bu durum balıklar için toksik hale gelebilir (Kim ve Kang, 2004). Kirlenmiş sularda yaşayan balıklar metalleri sudan, diyetten ve deriden alabilir (Rauf & ark., 2009; Javed, 2012).

Dökümhaneler, rafineriler, kurşun bazlı boyalar, boyalar, temizlik maddeleri, fotoğrafçılık, tabakhaneler, madencilik, elektrokaplama, gübreler, plastikler, atık su sistemi, pestisitler ve petrokimyasal sızıntılar kurşunun kaynaklarıdır (Çubukçu & Tüysüz, 2007; Verma & ark., 2018; Kırat & Dartay, 2003b).

Zn, balıklar için potansiyel bir toksik maddedir (Everall & ark., 1989), asit-baz ve iyonoregülasyon bozukluklarına, solungaç dokusunun bozulmasına ve hipoksiye neden olur (Hogstrand & ark., 1994). Metallerin biyoakümülyasyonu, organizma tarafından alınan miktarını, metallerin farklı dokular arasında nasıl dağıldığını ve metalin her doku tipinde ne ölçüde tutulduğunu yansıtır. Belirli bir konsantrasyondaki Zn, tatlı su hayvanlarının büyümesi için kabul edilir, ancak doğrudan veya dolaylı olarak besin zinciri yoluyla tüketen kişilerde aşırı birikimi tehlikelidir. Balık dokusundaki metal akümülyasyonu (Tablo 1), çevresel kirliliğin bir göstergesi olarak kullanılabilir (Sultana & Rao, 1998; Murugan & ark., 2008).

Table 1: *Balıkların farklı dokularında ağır metal biyoakümülyasyonu (Garai & ark., 2021).*

Ağır Metaller Organları	Balık	Balık Türleri	Referans
Krom			
Böbrek>kalp>kas>solungaç		Hydrocynusforsa hlii	Murtala & ark., 2012
Böbrek>solungaç>kas>kalp		Hydrocynusbebe occidentalis	Murtala & ark., 2012
Böbrek>solungaçlar>kalp>kas		Clariasgariepinus	Murtala & ark., 2012
Karaciğer>böbrek>solungaçlar>kas		Coregonus lavaretus	Gashkina & ark., 2020
Solungaçlar>kas>böbrek>karaciğer		Cyprinus carpio	Rajeshkum ar & ark., 2018
Karaciğer>böbrek>solungaçlar>bağ ırsak>kas		Pelteobagrusfulvi draco	Rajeshkum ar & ark., 2018

Kadmiyum		
Solungaçlar>karaciğer>kas	Pleuronectes platessa	Westernha gen & ark., 1978
Solungaçlar>bağırsak>karaciğer	Pleuronectes platessa	Pentreath., 1977
Solungaçlar>karaciğer>bağırsak	Raja clavata	Pentreath., 1977
Solungaçlar>kas>kalp>böbrek	Hydrocynusforsa hlii	Murtala & ark., 2012
Solungaçlar>kalp>kas	Hydrocynusbebe occidentalis	Murtala & ark., 2012
Böbrek>solungaç>kalp	Clariasgariepinus	Murtala & ark., 2012
Böbrek>karaciğer>solungaç>kas	Coregonus lavaretus	Gashkina & ark., 2020
Böbrek>solungaçlar>kas>bağırsak>karaciğer	Cyprinus carpio	Rajeshkumar & ark., 2018
Bağırsak>böbrek>kas>karaciğer>solungaçlar	Pelteobagrusfulvi draco	Rajeshkumar & ark., 2018
Bakır		
Böbrek>Karaciğer>solungaçlar>kas	Coregonus lavaretus	Gashkina & ark., 2020
Solungaçlar>bağırsak>böbrek>karaciğer>kas	Cyprinus carpio	Rajeshkumar & ark., 2018
Karaciğer>böbrek>kas>solungaçlar>bağırsak	Pelteobagrusfulvi draco	Rajeshkumar & ark., 2018

Kurşun		
Solungaçlar>kas>kalp>böbrek	Hydrocynusforska hlii	Murtala & ark., 2012
Solungaçlar>böbrek>kalp>kas	Hydrocynusbebe occidentalis	Murtala & ark., 2012
Solungaçlar>karaciğer>böbrek>kas	Coregonus lavaretus	Gashkina & ark., 2020
Solungaçlar>böbrek>kas>karaciğer >bağırsak	Cyprinus carpio	Rajeshkum ar & ark., 2018
Böbrek>karaciğer>solungaçlar>bağ ırsak>kas	Pelteobagrusfulvi draco	Rajeshkum ar & ark., 2018
Nikel		
Böbrek>solungaç>kas>kalp	Hydrocynusforska hlii	Murtala & ark., 2012
Solungaçlar>kalp>böbrek	Hydrocynusbebe occidentalis	Murtala & ark., 2012
Böbrek>kalp>kas>solungaç	Clariasgariepinus	Murtala & ark., 2012
Böbrek>karaciğer>solungaç>kas	Coregonus lavaretus	Gashkina & ark., 2020
Arsenik		
Karaciğer>solungaçlar>kan>kas>de ri>beyin	Clariasbatrachus	Kumar & ark., 2012
Mide>karaciğer>solungaç>kas	Oreochromis niloticus	Oliveira & ark., 2017
Cıva		

Böbrek>karaciğer>kas>solungaç	Coregonus lavaretus	Gashkina & ark., 2020
Solungaçlar>böbrek>kas>karaciğer>bağırsak	Cyprinus carpio	Rajeshkumar & ark., 2018
Kas>karaciğer>böbrek>baş	Oreochromis niloticus	Bradley & ark., 2017
Çinko		
Solungaçlar>böbrek>karaciğer>bağırsak	Pleuronectes platessa	Pentreath 1973
Karaciğer>böbrek>bağırsak>solungaç>kas	Channa punctatus	Murugan & ark., 2008

SONUÇ

Krom, kadmiyum, bakır, kurşun, nikel, arsenik, cıva ve çinko gibi ağır metaller, suda yaşayan balıkların solungaç, karaciğer, böbrek, barsak, kas, baş, beyin ve deri gibi farklı organlarında ağır metal biyoakümüülasyonu incelenmiştir. Metallerin çoğu balığın yenilebilir kısmında bulunduğundan insanlar da balık yediğinde etkilenir ve bazı sağlık sorunlarına neden olabilir. Farklı balıklardaki toksik elementlerin seviyeleri balığın cinsiyetine, yaşına, mevsimine ve yerine bağlı olarak değişir. Su yollarının antropojenik faaliyetlerle kirlenmesi, sudaki canlı kaybının ve dengesiz besin zincirinin ana nedenidir. Sucul canlı kayıplarını ortadan kaldırmak ve önlemek için çevreye daha az ağır metal kirliliği oluşturan ileri teknolojilerin kullanılmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

Abadin, H., Ashizawa, A., Stevens, Y.W., Lladós, F., Diamond, G., & Sage G., & ark., (2007). Potential for human exposure.; pp301-380.

Afshan, S., Ali S., Ameen, U.S., Farid, M., Bharwana, S.A., Hannan, F., & Ahmad, R. (2014). Effect of Different Heavy Metal Pollution on Fish. *Res. J. Chem. Env. Sci.* 2(2): 35-40.

Al-Busaidi, M., Yesudhasan, P., Al-Mughairi, S., Al-Rahbi, W.A.K., Al-Harthy, K.S., & Al-Mazrooei, N.A., (2011). Toxic metals in commercial marine fish in Oman with reference to national and international standards. *Chemosphere* 85: 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.05.057>.

Authman, M.M., Zaki, M.S., Khallaf, E.A., & Abbas, H.H. (2015). Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research and Development* 6: 1–13. <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000328>.

Bakar, C. & Baba, A. (2009). Metaller Ve İnsan Sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne Ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu, *1.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı*, 30 Ekim–1 Kasım 2009, Ürgüp Bld., Kültür Merkezi, Ürgüp/ NEVŞEHİR 162-185

Bakshi, A., & Panigrahi, A.K., (2018). A comprehensive review on chromium induced alterations in fresh water fishes. *Toxicol Rep.* 5:440- 447.

Borgmann, U., Couillard, Y., Doyle, P., & Dixon, D.G., (2005). Toxicity of sixty-three metals and metalloids to *Hyalella*

azteca at two levels of water hardness. *Environ Toxicol Chem.* 24(3):641-52.

Bosch, A.C., O'Neill, B., Sigge, G.O., Kerwath, S.E., & Hoffman, L.C., (2016). Heavy metals in marine fish and consumer health: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96: 32–48. [https:// doi.org/10.1002/jsfa.7360](https://doi.org/10.1002/jsfa.7360).

Bradley, M.A., Barst, B.D., & Basu, N., 2017. A review of mercury bioavailability in humans and fish. *Inter. J. Environ. Res. Public Health* 14, 169.

Charlet, L., Chapron, Y., Faller, P., Kirsch, R., Stone, A.T., & Baveye, P.C., (2012). Neurodegenerative diseases and exposure to the environmental metals Mn, Pb, and Hg. *Coordination Chemistry Reviews* 256: 2147–2163. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2012.05.012>

Chowdhury, T.R., Basu, G.K., Mandel, B.K., Biswass, B.K., Samanta, G., Chowdhury, U.K., Chandra, C.R., Lodh, D., Roy, S.L., Saha, K.C., Roy, S., Kabir, S., Quamruzzaman,, Q., & Chakraborti, D., (1999). Arsenic poisoning in the Ganges delta. *Nature* 401:545–546

Cretì, P., Trinchella, F., & Scudiero, R., (2010). Heavy metal bioaccumulation and metallothionein content in tissues of the sea bream *Sparus aurata* from three different fish farming systems. *Environ Monit Assess.* 165(1–4):321–329.

Çubukçu, A., & Tüysüz, N., (2007). Trace element concentrations of soils, plants and waters caused by a copper

smelting plant and other industries, Northeast Turkey. *Environmental Geology*, 52:93–108.

Datta, S., Ghosh, D., Saha, D.R., Bhattacharaya, S., & Mazumder, S., (2009). Chronic exposure to low concentration of arsenic is immunotoxic to fish: role of head kidney macrophages arsenic biomarkers of arsenic toxicity to *Clarias batrachus*. *Aquat Toxicol* 92:86–94

Dökmeci, İ. & Dökmeci, A.H., (2005). Toksikoloji Zehirlendirmede Tanı ve Tedavi, 4.Baskı, *Nobel Tıp Kitabevleri*.

Dt Jmino, K. (1968). Analysis of Organic Mercury compounds by Gas Chromato- graphy, *Kobe J. Med, Ger.* 14, 131 – 148.

Duker, A.A., Carranza, E.J.M., & Hale, M., (2005). Arsenic geochemistry and health. *Environ Int* 31(5):631–641

Eisler, R. (1998). Nickel hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, *Biological Science Report* USGS/BRD/BSR—1998-0001. 76 pp

Elbeshti, R.T., Elderwish, N.M., Abdelali, K.M., & Tastan, Y., (2018). Effects of heavy metals on fish. *Menba J. Fisheries Faculty* 4 (1), 36–47. <http://asosindex.com.tr/TBTKK/menba/506762.pdf>.

Everall, N.C., MacFarlane, N.A.A. & Sedgwick, R.W., (1989). The interactions of water hardness and pH with the acute toxicity of zinc to the brown trout, *Salmo trutta* L. *J. Fish. Biol.*, 35: 27–36

Faroon, O., Ashizawa, A., & Wright, S., et al., (2012). Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta (GA): *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (US); pp:11-15.

Gaim, K., Gebru, G., & Abba, S., (2015). The effect of arsenic on liver tissue of experimental animals (fishes and mice)—a review article. *International Journal of Scientific and Research Publications* 5(5):1–9

Garai, P., Banerjee, P., Mondal, P., & Saha, N.C., (2021.) Effect of Heavy Metals on Fishes: Toxicity and Bioaccumulation. *J Clin Toxicol.* S18:001.

Gashkina, N.A., Moiseenko, T.I., & Kudryavtseva, L.P., (2020). Fish response of metal bioaccumulation to reduced toxic load on long-term contaminated lake Imandra. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 15 Jan 2020, 191:110205.<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110205>

Gernhofer, M., Pawert, M., Scharmm, M., Müller, E., & Triebkom, R. (2001). Ultrastructural biomarkers arsenic tool to characterize the health status of fish in contaminated streams. *J Aquat Ecosys Stress Reco* 8:241–260

Handy, R.D., (1992). The assessment of episodic metal pollution. I. Uses and limitations of tissue contaminant analysis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after short waterborne exposure to cadmium or copper. *Arch Environ Contam Toxicol.* 22(1):74–81.

Hoang, T.C., Tomasso, J.R., & Klaine, S.J. (2004). Influence of water quality and age on nickel toxicity to fathead minnows (*Pimephales promelas*). *Environ. Toxicol. Chem.* 23, 86

Hogstrand, C., Wilson, R.W., Polgar, D. & Wood, C.M. (1994). Effects of zinc on the kinetics of branchial calcium uptake in freshwater rainbow trout during adaptation to waterborne zinc. *J. Exp. Biol.*, 186: 55–73.

<http://www.lenntech.com/periodic/elements/cr.htm>

Jabeen, F, & Chaudhry, AS., (2010). Environmental impacts of anthropogenic activities on the mineral uptake in *Oreochromis mossambicus* from Indus River in Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment* 166: 641–651. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1029-z>

Järup, L., (2003). Hazards of heavy metal contamination [Internet]. Vol. 68, *British Medical Bulletin. Br Med Bull.* 68:167-82.

Javed, M, (2012). Effects of zinc and lead toxicity on the growth and their bioaccumulation in fish. *Pak Vet J*, 32(3): 357-362.

Kar, S., Maity, J.P., Jean, J.S., Liu, C.C., Liu, C.W., Bundschuh, J., & Lu, H.Y. (2011). Health risks for human intake of aquacultural fish: arsenic bioaccumulation and contamination. *J Env Sci Heal A* 46(11):1266–1273

Kır, İ., Tekin-Özan, S. & Tuncay, Y. (2007). Kovada Gölü'nün su ve sedimentindeki bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi. *Ege JFAS*, 24 (1-2): 155158.

Kim, S.G., & Kang, J.C., (2004). Effect of dietary copper exposure on accumulation, growth and hematological parameters of the juvenile rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Mar Environ Res*, 58: 65-82

Kiracı, A. (2014). Azap Gölü'nün sedimentlerindeki ve sularındaki ağır metal miktarlarının belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.

Kirat, G., & Dartay, M., (2023a). Doğa ve Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar 8, Bölüm Adı: Potansiyel Bir Çevre Sorunu Olan Civa'nın Canlılar Üzerine Etkileri, *BIDGE Yayınevi*, 2023. ISBN: 978-625-6925-21-2

Kirat, G., & Dartay, M., (2023b). Bioaccumulation and Toxicity of Heavy Metals in Fish. *ISERDAR: International Science and Engineering Reviews: Development, Analysis, and Research* , 1(1), Page 20-24

Klaassen, C.D. (2009). (Çeviri: Kalkan Ş, Soner BC), Ağır Metaller ve Ağır Metal Antagonistleri(Konu:65), Brunton LL, Lazo JS, Parker KL(Editors), (Çeviri Editörü: Süzer Ö), Tedavinin Farmakolojik Temeli, *Nobel Tıp Kitapevleri*, 2009

Kumar, A., Sharma, B., & Pandey, R.S., (2012). Alterations in nitrogen metabolism in freshwater fishes, *Channa punctatus* and *Clarias batrachus*, exposed to a commercial-grade k-cyhalothrin, REEVA-5. *Intel J of Exp Path* 93(1):34-45

Kumari, B., Kumar, V., Sinha, AK., Ahsan, J., Ghosh, AK., Wang, H., & Deboeck, G., (2017). Toxicology of arsenic in fish

and aquatic systems. *Environ Chem Lett* DOI 10.1007/s10311-016-0588-9

Leung, H.M., Duzgoren-Aydin, N.S., Au, C.K., Krupanidhi, S., Fung, K.Y., Cheung, K.C., Wong, Y.K., Peng, X.L., Ye, Z.H., & Yung, K.K.L., & ark., (2017). Monitoring and assessment of heavy metal contamination in a constructed wetland in Shaoguan (Guangdong Province, China): bioaccumulation of Pb, Zn, Cu and Cd in aquatic and terrestrial components. *Environmental Science and Pollution Research International* 24: 9079–9088. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6756-4>.

Li, H., Mai, K., Ai, Q., Zhang, C., & Zhang, L. (2009). Effects of dietary squid viscera meal on growth and cadmium accumulation in tissues of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. *Front Agric China*. 3(1):78– 83.

Madzingira, O. Lifumbela, .LZ. Kandiwa, E. Kandjengo, L. & Mushonga. B., (2020). Cadmium and lead levels in three freshwater fish species from the Zambezi region, Namibia. *African Journal of Aquatic Science* 1–5

Majed, N., Alam, M.K., Real, M.I.H., & Khan, M.S., (2019). Accumulation of copper and zinc metals from water in anabrus testudineus fish species in Bangladesh. *Aquacult. Stud.* 19 (2), 91–102. doi:10.4194/2618-6381-V19_2_02

McCluggage, D., (1991). Heavy Metal Poisoning. NCS Magazine. Columbus: The Bird Hospital.

Moore, J.W., (1991). Inorganic contaminants of surface water: research and monitoring priorities. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin

Muntau, H., & Baudo, R., (1992). Sources of cadmium, its distribution and turnover in the freshwater environment. *IARC Sci Publ.* 118:133-48.

Murtala, B.A., Abdul, W.O., & Akinyemi, A.A., (2012). Bioaccumulation of heavy metals in fish (*Hydrocynus forskahlii*, *Hyperopisus bebe occidentalis* and *Clarias gariepinus*) organs in downstream Ogun coastal water, Nigeria. *Journal of Agricultural Science.* 4(11):51-59.

Murugan, SS; Karuppasamy, R; Poongodi, K & Puvaneswari, S., (2008). Bioaccumulation pattern of zinc in freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch.) after chronic exposure. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 8: 55-59 (2008)

Nisha, J.C., Raja Jeya Sekar, R., & Chandran, R., (2016). Acute effect of chromium toxicity on the behavioral response of zebra fish *Danio rerio*. *Int J Pl An Env Sc.* 6(2):6–14.

Nriagu, J.O., & Pacyna, J.M., (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature.* 333:134-139.

Nussey G., VanVuren, J.H.J., & DuPreez, H.H., (2000). Bio-accumulation of chromium, manganese, nickel and lead in the tissues of the moggel, *Labeo umbratus* (Cyprinidae), from Witbank dam, Mpumalanga. *Water SA*, 26: 269-284.

Oliveira S.N. de, Ribeiro R.P., Oliveira C.A.L. de, Alexandre Filho L., Oliveira A.M.S., Lopera-Barrero N.M., Santander V.F.A., & Santana R.A.C. (2017). Interactive effects of genotype $\times$ environment on the live weight of GIFT Nile tilapias. *Anais Acad. Bras. Ciênc.*, 89: 2931–2943.

Pan, K., & Wang, W.X. (2012). Trace metal contamination in estuarine and coastal environments in China. *Science of The Total Environment*, 421, 3-16

Pedlar, R.M., Ptashynski, M.D., Wautier, K.G., Evans, R., Baron, C.L., & Klaverkamp, J.F., (2002a). The accumulation, distribution and toxicological effects of dietary arsenic exposure in lake white (Coregonus clupeaformis) and lake trout (Salvelinus namaycush). *Comp Biochem Physiol C* 131:73–91

Pentreath, R.J., (1973). The accumulation and retention of ^{65}Zn and ^{54}Mn by the plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* Volume 12, Issue 1, Pages 1-18

Perera, P., Kodithu, P.S., Sundara, V.T., & Edirisingh, U. (2015). Bioaccumulation of Cadmium in Freshwater Fish: An Environmental Perspective. *Insight Ecol.* 4(1):1–12.

Piper, D, & Restrepo, J.F.C. (2013). Lead and cadmium: priorities for action from UNEP's perspective for addressing risks posed by these two heavy metals. *E3S Web of Conferences* 1: 30004.

Pyle, G.G., Swanson, S.M., & Lehmkuhl, D.M., (2002). The influence of water hardness, pH, and suspended solids on nickel toxicity to larval fathead minnows (*Pimephales promelas*). *Water, Air, and Soil Pollution*. 133, 215.

Rahman, M.S., Molla, A.H., Saha, N., & Rahman, A., (2012). Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. *Food Chemistry* 134: 1847–1854. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.099>

Rajeshkumar, S., & Li, X., (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology reports* (5): 288-295.

Rasmussen, R.S., Joyce Nettleton, J.N., & Morrissey, M.T., (2005). A Review of Mercury in Seafood:Special Focus on Tuna. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, Vol. 14(4).

Rauf, A., Javed, M., Ubaidullah, M., & Abdullah, S., (2009). Heavy metal levels in three major carps (Catla catla, Labeo rohita and Cirrhina mirgala) from the river Ravi, Pakistan. *Pak Vet J*, 29: 24-26

Rossman, T.G., (2003). Mechanism of arsenic carcinogenesis: an integrated approach. *Mutat Res* 533:37–65

Said, S., Aribarg, A., Virutamsen, P., Chutivongse, S., Koetsawang, S., Meherjee, P., Kumar, T., Cuadros, A., Shearman, R., & Conway, A, (1992). The influence Of varicocele on parameters Of fertility in a large group Of men presenting to infertility clinics. *Fert. Steril.* 57:1289-1293.

Sarkar, B. (2002). Heavy Metals in the Enviroment, Marcel Dekker, Inc. New York. Selinus O, Alloway B, Centeno JA, Finkelman RB, Fuge R, Lindh U, Smedley P(Editors), Essentials of

Medical Geology, Impacts of Natural Environment on Public Health, Elsevier Academic Pres, 2005.

Sastry, K., & Gupta, P., (1979). The effect of cadmium on the digestive system of the teleost fish, *Heteropneustes fossils*, *Environ. Res.* 19:221-230.

Sepe, A., Ciaralli, L., Ciprotti, M., Giordano, R., Funari, E., & Costantini, S., (2003). Determination of cadmium, chromium, lead and vanadium in six fish species from the Adriatic Sea. *Food Addit Contam.* 20(6):543– 52.

Sidoumou, Z., (1991). Qualite des eaux du littoral mauritanien: etude ´ des metaux traces chez deux mollusques bivalves ´ *Venus terrucosa et Donax rugosus*. Thesis, University of NiceSophia-Antipolis, France.

Sienko, R.A., (1983). Temel Kimya (Chemistry:Principles and Properties), (Çevirenler: Gündüz N., Gündüz T., Tüzün C., Pulat E., Üneri S., Zeren A., Özgüner S.), Savaş Yayınları, Fen Bilimleri Dizisi.

Sridhara, C.N., Kamala, C., Samuel, S., & Raj D., (2008). Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicol. Environ Saf.* 69:513-524.

Sultana, R. & Rao, D.P. (1998). Bioaccumulation pattern of zinc, copper, lead and cadmium in grey mullet, *Mugil cephalus* (L.), from harbour waters of Visakhapatnam, India. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 60: 949–955.

Svecevičius, G., (2010). Acute Toxicity of Nickel to Five Species of Freshwater Fish. *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 19, No. 2 (2010), 453-456

Tae, S.K.A., Karam, H., & Ismail, H.K., (2020). Review On Some Heavy Metals Toxicity On Freshwater Fishes. *J Appl Vet Sci.* 5(3):78–86.

Tisler, T., & Zagorc-Koncan, J., (2002). Acute and chronic toxicity of arsenic to some aquatic organisms. *Bull Environ Contam Toxicol* 69:421–429

US EPA, (1980). Ambient water quality criteria for nickel. EPA440/5-80-060. Office of Water Regulations and Standards. Washington, DC,

US EPA, (1986). Ambient water quality criteria for nickel – 1986. EPA-440/5-86-004. Office of Water Regulations and Standards. Washington, DC.

Velma, V., Vutukuru, S.S., & Tchounwou, P.B., (2009). Ecotoxicology of hexavalent chromium in freshwater fish: A critical review. *Rev Environ Health.* 24(2):129-45.

Verma, R., Vijayalakshmy, K., & Chaudhry, V., (2018). Detrimental impacts of heavy metals on animal reproduction: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6:27–30.

Vieira, C., Morais, S., Ramos, S., Delerue-Matos, C., & Oliveira, M.B.P.P. (2011). Mercury, cadmium, lead and arsenic levels in three pelagic fish species from the Atlantic Ocean: Intra- and inter-specific variability and human health risks for

consumption. *Food and Chemical Toxicology*, 49(4), 923-932.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.12.016>

Vincent, S., Ambrose, T., Kumar, L.C., & Selvanayagam, M., (1995). Biochemical response of the Indian major carp, *Catla catla* (HAM.) to chromium toxicity. *Indian J. Environ. Health*. 37:192-196.

Yeşilbudak, B., & Erdem, C., (2014). Cadmium accumulation in gill, liver, kidney and muscle tissues of common carp, *Cyprinus carpio*, and nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Bull Environ Contam Toxicol*. 92(5):546–550.

BÖLÜM III

Balıklarda Görülen Zoonoz Bakteriyel Hastalıklar

Mücahit YÜNGÜL¹
Mustafa DÖRÜCÜ²

1. Giriş

Balıklarda görülen zoonoz hastalıklar, hayvanlardan insanlara geçen hastalıklar olarak tanımlanmaktadır. Bu hastalıklar bakteriyel, viral, fungal ve paraziter etkenlerden kaynaklanmakta ve genellikle omurgalı hayvanlardan insanlara bulaşabilmektedir. Balıklarda bulunan ve psikrofilik koşullara adapte olarak üreyebilen ve yaşayabilen mikroorganizmaların, mezofilik özellik taşıyan insanlara bulaşmaları üç farklı şekilde olabilmektedir. Buna göre sucul canlılar veya bunların yan ürünlerine ait açık yaralar veya deri sıyrıklarına dokunma, çiğ veya az pişmiş balıkları tüketme ve

¹ Su Ürünleri Yüksek Mühendisi, Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ, ORCID: 0000-0003-4226-0225, mucahityungul@hotmail.com

² Prof. Dr., Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Balık Hastalıkları ABD, Elazığ, ORCID: 0000-0002-1330-4965, mdorucu@firat.edu.tr

enfekte balık dışkısı veya mukus ile bulaşmış suları içme yoluyla bulaşma gerçekleşmektedir (Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Eldin & ark., 2023).

Bu nedenle dünya nüfusundaki artış, insanların beslenme alışkanlıklarındaki demografik değişiklikler, sosyoekonomik gelişmeler, büyüyen uluslararası pazarlar, tarımsal üretim teknikleri ile gıda üretim ve işleme teknolojisindeki değişimler, gelişen ulaşım sistemleri, iklim değişiklikleri, bağışıklık durumuna bağlı olarak hastalıklara duyarlı olan kişilerin sayısında bir artışın olması, adaptasyon dönemleri ve antimikrobiyal dirençler popülasyonların yeni ekolojik bölgelere göç etmesine, hayvancılık uygulamaları kapsamında yeni hastalıkların ve dolayısıyla patojen bakteri türlerinin epidemiyolojisinde önemli değişikliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Bliven & Maurelli, 2016; Murphy & ark., 2016; Özcan & Arserim, 2020; Ziarati & ark., 2022).

Bunun yanında insanların proteine olan talebinin artması neticesinde, toplam su ürünleri üretimi artmakta ve her geçen gün su ürünleri yetiştiriciliği yoğunlaşıp gelişmektedir. Su ürünleri üretiminin artmasına paralel olarak, özellikle son yıllarda kontamine balık ürünlerini içeren gıdalar da dahil olmak üzere küresel su ürünleri tüketiminin sürekli artması, akuatik ortamların kontamine olmasına ve dolayısıyla bu zoonozlar arasında su ürünleri kaynaklı bakteriyel hastalık risklerinin artmasına neden olmaktadır (Hancı & Onuk, 2016; Novoslavskij & ark., 2016).

Söz konusu hastalıklar, dünya genelinde su ürünleri yetiştiriciliği yapılan işletmelerde ve balıkçılıkta önemli sorunlara neden olurken, özellikle insanlar için çok önemli olan halk sağlığı sorunu haline gelebilmektedir. Bu sorunlar arasında görülen zoonoz

bakteriyel hastalıklara en fazla Gram negatif bakteriler sebep olmaktadır. Dolayısıyla bakteriyel zoonozlar insanlarda önemli bir hastalık potansiyeline sebep olup, küresel düzeyde önem kazanan hastalıklar olarak kabul edilmektedir (Woolhouse & Gaunt, 2007; Bliven & Maurelli, 2016; Murphy & ark., 2016; Özcan & Arserim, 2020).

Ortaya çıkan bu zoonos hastalıkların etiyolojik etkenleri arasında balıklarda bulunan ve farklı taksonomik gruplara ait olan patojen bakteri türleri yer almaktadır. Bu patojen türler insanlarda çeşitli hastalıklara neden olmaktadır. Ayrıca bu zoonoz hastalıkların ortaya çıkışı, dünya sağlığı bakımından ciddi bir tehdit oluşturup, dünya çapında büyük zararlara neden olmaktadır. Bu nedenle hastalığın ortaya çıkmasına neden olan faktörlerin oluşumu ve yaygınlığının belirlenmesi, ortaya çıkan zoonoz hastalıklarla mücadelede önem arz etmektedir. Buna göre yapılan bu derleme çalışması ile farklı türdeki konakçılar ve bu konakçılara ait coğrafik dağılımların ve de mevsimlerin enfeksiyon yaygınlığı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla patojen bakteri türlerinin morfolojik yapıları konusunda daha iyi bilgiye sahip olunması ve daha fazla çalışmanın yapılması gerektiği amaçlanmıştır. Ayrıca enfekte balık tüketiminin riskleri konusunda toplum bilincinin artırılması gerektiği amaçlanmıştır (Ziarati & ark., 2022; Eldin & ark., 2023).

2. Bakteriyel Etkenler

Bakteriyel balık zoonozlarına en fazla Gram negatif bakteriler sebep olurken (Tablo 1), Gram pozitif bakterilerden de sadece bir kısmı (Tablo 2) insanlarda hastalık oluşturabilecek

etkenlere ve etkiye sahiptir (Nemetz & Shotts, 1993; Kubilay & Arık, 2002).

İnsanları enfekte eden bakteriyel balık zoonozları, kontamine balık dokularının ve suyun derideki yırtık ve yaralara temas etmesi sonucunda veya daha çok kontamine balık ürünlerinin gıda olarak tüketilmesi neticesinde oluşmaktadır (Austin & Austin, 2010). İnsanlarda bakteriyel balık zoonozları, çoğunlukla gastroenterit şeklinde, deri veya dokuların altında lokalize enfeksiyonlarla sonuçlandığı belirtilmiş, bazen de yüksek mortalitelere sebep olduğu bildirilmiştir (Nemetz & Shotts, 1993; Kubilay & Arık, 2002).

Bakteriyel balık zoonozlarına ait etkenler ve bu etkenlerin insanlarda oluşturduğu enfeksiyonlar Austin & Austin (2010) tarafından şu şekilde belirtilmektedir:

- *Aeromonas hydrophila* (diyare ve sepsis)
- *Campylobacter jejuni* (gastroenterit)
- *Clostridium botulinum* (botulismus)
- *Edwardsiella tarda* (diyare)
- *Erysipelothrix rhusiopathiae* (balık gülü)
- *Leptospira interrogans* (leptospiroz)
- *Mycobacterium fortuitum* (Atipik mycobacteriosis)
- *Pseudomonas aeruginosa* (yara enfeksiyonları)
- *Plesiomonas shigelloides* (gastroenterit)
- *Pseudomonas fluorescens* (yara enfeksiyonları)
- *Salmonella* spp. (besin zehirlenmesi)
- *Streptococcus inia* (Mad balık hastalığı)
- *Vibrio parahaemolyticus* (gastroenterit)
- *Vibrio vulnificus* (yara enfeksiyonları ve sepsis)

Bu etkenlerin kaynağının çoğunlukla balıkların içinde yaşadığı atık sularla kontamine olmuş sular olduğu bilinmektedir (Austin & Austin, 2010; Eldin & ark., 2023).

2.1. Gram Negatif Bakteriler

2.1.1. Aeromonadaceae

Bu aileye ait bakteri türleri hareketli veya hareketsiz, sporsuz, kapsülsüz ve aside dirençli olmayan küçük çomakçıklar halindedir. Aerobik veya fakültatif anaerobik bir özelliğe sahiptirler. Bu bakteri grubu içerisinde en fazla izole edilen türün *Aeromonas hydrophila* olduğu belirtilmiştir (Timur & Timur, 2003; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017).

Aeromonas hydrophila

Aeromonas'lar fakültatif anaerop mikroorganizmalar olup çomak şeklindedirler. Zoonotik potansiye sahip olduğu bildirilen hareketli (*Aeromonas sobria*, *A. caviae*, *A. hydrophila*, *A. schubertii* ve *A. veronii*) ve hareketsiz (*A. salmonicida*, *A. achromogenes*, *A. masoucida*) bakteriyel türler arasında en yaygın patojenin *A. hydrophila* olduğu belirtilmiştir (Noga, 2010; Boylan, 2011; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Ziarati & ark., 2022). Yapılan araştırma sonuçlarına göre *A. hydrophila*'nın gıdalarda normal tuzlulukta ve buzdolabı sıcaklığında oldukça rahat üreyebildiği ve enterotoksin ürettiği tespit edilmiştir. Bu toksinin alındığı zaman insanlarda kolera benzeri sindirim sistemi hastalığının meydana geldiği belirlenmiştir (Seidel & Kieseewalter, 1992).

A. hydrophila ile enfekte olmuş insanlarda gözlemlenen semptomlar; gastroenterit ve lokalize yara enfeksiyonlarıdır. *Aeromonas* gastroenteriti, kontamine suların içilmesi veya özellikle

akuatik kaynaklı gıdaların yenilmesi ile oluşur ve diyare görülmesi ile de karakterizedir. Bu durum akut veya kronik şekilde gelişebilmektedir. *Aeromonas*'ların sebep olduğu yara enfeksiyonları ise seyrek olarak rapor edilmiştir. Yara enfeksiyonları derin kas nekrozlarına veya septisemiye sebep olur. Buna göre *A. hydrophila*'nın insanlarda oluşturduğu enfeksiyonların klinik belirtileri arasında; solunum yolu enfeksiyonları, üriner sistem (idrar yolu) enfeksiyonları, bakteriyemi, karaciğer fonksiyon bozukluğu, gastroenterit, sepsis, septisemi, pnömoni, diyare, menenjit, göz ve kulak enfeksiyonları, endokardit, osteomyelit, artrit ve deride oluşan yaralar yer almaktadır (Kubilay & Arık, 2002; Janda & Abbott, 2010; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Odeyemi & Ahmad, 2017; Durmaz, 2019; Erer, 2019; Ziarati & ark., 2022). İngiltere'de balık üretim çiftliğinde çalışan işçilerde *A. hydrophila*'nın sebep olduğu bakteriyel septisemi de ayrıca kayıtlara geçmiştir (Kubilay & Arık, 2002). Bu nedenle balıklar, *Aeromonas*'ın insanlara bulaşmasında ve hastalık oluşturmada temel bir rol oynamaktadır (Abd-El-Malek, 2017).

2.1.2. Enterobacteriaceae

Enterobacteriaceae ailesi içerisinde yaklaşık 30 kadar cins yer alıp, bu cinslere ait türlerin çoğu yaygın olarak sucul ortamlar, akuatik canlılar ve insanlarda bulunur. Bu aileye ait mikroorganizmalar; hareketli, sporsuz, aside dirençli olmayan, aerobik veya fakültatif anaerobik, küçük çomakçıklar halindedir (Timur & Timur, 2003; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017).

Balıkların zoonotik ajanları olarak bilinen bu ailenin üyeleri arasında obligat patojen cinslerin ve türlerin yanı sıra (*Salmonella*, *Shigella*) çok sayıda fırsatçı patojen cins ve türler de (*Enterobacter*,

Citrobacter, *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Proteus*, *Yersinia*) vardır (Kubilay & Arık, 2002; Boylan, 2011; Eldin & ark., 2023).

Enterobacteriaceae üyeleri, doğal olarak insanların ve hayvanların bağırsaklarında bulunmaktadır. Balık ve balık ürünleri üzerindeki bakteri türleri ise atık sulardan veya kirli eşyalardan kontaminasyon yoluyla bulaşmaktadır. Dolayısıyla bu organizmalar; beslenme yoluyla potansiyel hastalık yapıcı bir etkiye sahip olan “index organizmalar” veya işletmelerde görülen yetersiz hijyenin anlatılması bakımından “indikatör organizmalar” olarak isimlendirilirler (Cox & Schothorst, 1988; Kubilay & Arık, 2002).

Salmonella spp.

Salmonella türleri; balıklar ve kabuklu su ürünleri başta olmak üzere çok sayıdaki deniz ürününden izole edilmiştir (Stoskopf, 1993). Enfeksiyon genel olarak kontamine gıda ve su ile bulaşmaktadır. *Salmonella*’nın neden olduğu hastalıklar insanlarda “enterik ateş” ve “gastroenterit” olmak üzere iki sendrom halinde kendini kategorize edebilmektedir. *Salmonella* ile enfekte olan balıkların tüketimi insanlarda gastroenterit, karın krampları, ateş ve bakteriyemi gibi septomlara neden olur. *Salmonella* enfeksiyonu ayrıca insanlarda sepsis, karın ağrısı, kas ağrısı, ateş, diyare ve kusma gibi klinik komplikasyonlara da neden olmaktadır (Butt, Aldridge & Sanders, 2004; Korun, 2009; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Ziarati & ark., 2022).

Plesiomonas shigelloides

Plesiomonas cinsine ait türlerden olan *P. shigelloides*; hareketli ve oksidaz pozitif bir bakteri olup, uzun çomak şeklindeki

mikroorganizmalardandır (Stock, 2004). Bu mikroorganizmalar tatlı sularda bulunmasına rağmen, deniz ortamında da bulunup, farklı balık türlerinde septisemiye neden olurlar. Ayrıca *P. shigelloides*'in tropikal tatlısu balıklarının intestinal florasından da izole edildiği belirtilmektedir (Nemetz & Shotts, 1993; Korun, 2009).

Yüksek mortalite oranı ile seyreden menenjitis ve sepsis gibi yaygın görülen ekstraintestinal septomlara ve dolayısıyla insanlarda da hastalıklara neden olan önemli bir patojendir (Stock, 2004). *P. shigelloides* ile enfekte olan insanlarda görülen septomların büyük çoğunluğunun çiğ ya da az pişmiş balık ve kabuklu su ürünleri gibi kontamine deniz ürünlerinin alımından veya içilebilir sulardan kaynaklandığı düşünülmektedir (Janda & Abbott, 1999). Bu etkenin insanlarda gastroenterit, ateş, kusma, karın ağrısı ve diyare'ye neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca menenjit gibi bağırsak dışı enfeksiyonlara da rastlandığı bildirilmiştir (Korun, 2009; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Durmaz, 2019; Erer, 2019).

Citrobacter freundii

Citrobacter fakültatif anaerobik, Gram negatif bir koliform bakteri cinsi olup, bu cinse ait en önemli türün ise *Citrobacter freundii* olduğu belirtilmiştir. Balıklarda görülen bu mikroorganizmanın çocuklarda mide rahatsızlığına sebep olduğu görülmüştür (Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Erer, 2019).

Klebsiella spp.

Klebsiella cinsine ait olan türler birçok insanın bağırsağında yaygın olarak bulunan, hareketsiz, sporsuz ve genellikle kapsüllü, çomak şeklinde olan Gram negatif bakteriler olarak bilinir. Sucul ortamlarda bulunan *Klebsiella* türleri (*K. planticola*, *K. oxytoca*, *K.*

terrigena) ile enfekte olan balıkların elle teması sonucunda, insanlarda septisemi olgusuna rastlandığı belirtilmiştir. Ayrıca bu türlerin insanlarda oluşturduğu enfeksiyonların klinik belirtileri arasında bakteriyemi ve cystitis'in de yer aldığı bildirilmiştir (Stoskopf, 1993; Erer, 2019).

İran'da *Escherichia coli*, *Klebsiella* ve *Salmonella* gibi mikroorganizmaların balıklardaki varlığının tespit edilmesi, aynı zamanda bunların insanlara da bulaştığını ve insanlarda enfeksiyonlara yol açtığını göstermektedir. Bu mikroorganizmalar ile enfekte olan balıkların ellenmesi sonucunda insanlarda yaygın olarak görülen semptomların, iltahaplanmaya neden olan açık yara enfeksiyonları şeklinde olduğu belirtilmektedir. Öte yandan bu aileye ait bazı bakteri türlerinin gıda aracılığı ile insanlara bulaştığı enfeksiyonlar da (*Salmonella typhimurium*) vardır (Smith, 2011; Bonyadian & ark., 2014; Oliviera, Oliviera & Pelli, 2017).

Proteus spp.

Proteus 'lar, Gram negatif bakterilerin bir cinsi olup, çubuk şeklinde, aerobik ve hareketli mikroorganizmalardır. Sucul ortamlardan (özellikle akvaryum ortamları) izole edilen *Proteus* türleri (*P. morgani*, *P. inconstans*, *P. vulgaris*, *P. mirabilis*), çocuk diyareleri ve yara enfeksiyonlarına neden olmaktadır (Erer, 2019).

Yersinia spp.

Yersinia son zamanlarda artan oranda, özellikle gıdalarla bulaşan hastalık etkeni olarak göze çarpmaktadır. Deniz ürünlerinde (balık, istiridye ve midyeler) bu cinse ait üyelerden olan *Yersinia enterocolitica* türü tespit edilmiştir. Ancak bu bakteri türünün sağlıklı insanlarda pek hastalık yapıcı etkiye sahip olmadığı, fırsatçı

patojen olduğu, yüksek miktarlarda vücuda girdiğinde etkili olduğu belirtilmektedir. Bu cinse ait bir diğ er tür olan *Yersinia ruckeri* ise salmonidlerde enterik kızıl ağı z hastalığı na sebep olan bir etken olup, insanlarda enfeksiyon oluşt urduğu çok nadir olarak rapor edilmiştir (Nemetz & Shotts, 1993; Kubilay & Arık, 2002).

2.1.3. Hafniaceae

Hafniaceae, hareketli, anaerobik, Gram negatif, ç ubuk şeklindeki bakterilerden oluşt an bir ailedir. Bu ailenin ü yeleri 3 farklı bakteri cinsinden (*Hafnia*, *Edwardsiella* ve *Obesumbacterium*) oluşt maktadır (Kerie, Nuru & Abayneh, 2019; Ziarati & ark., 2022; Eldin & ark., 2023).

Hafnia alvei

Hafnia cinsine ait olan bu mikroorganizma; Gram negatif, fakültatif anaerobik bir bakteri türü olup, Hafniaceae ailesi içerisinde yer almaktadır. Bu bakteri türü patojenik olmayan bir mikroorganizma olarak düşünülmesine rağmen; bu türün balıklar, insanlar ve karasal hayvanlarda hastalığ a sebep oldukları bildirilmiştir (Stoskopf, 1993; Korun, 2009).

Edwardsiella spp.

Bu cins içerisinde yer alan türler genellikle hareketli, Gram negatif ve fakültatif anaerobik mikroorganizmalardır. *Edwardsiella* cinsi içerisinde *E. tarda*, *E. hoshinae*, *E. ictaluri*, *E. piscicida* ve *E. anguillarum* gibi balıklar, kuş lar, sürünge nler ve de insanlardan izole edilmiş türler bulunmaktadır. *E. hoshinae* dışındaki diğ er türler balıklarda patojendir. Bu bakteri türlerinden *E. tarda* ise insanlarda enfeksiyon hastalıklarının ana nedeni olarak kabul edilmektedir

(Gauthier, 2015; Kerie, Nuru & Abayneh, 2019; Ziarati & ark., 2022; Eldin & ark., 2023).

Edwardsiella'lar suda yaşayan hayvanlar için patojen olup, özellikle balıklarda "Edwardsiellosis" adı verilen sistemik balık hastalığına neden olurlar. *Edwardsiella*'lar su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe ciddi ekonomik sorunlara yol açmış olup, bu durum yüksek ortam sıcaklıklıkları ve yüksek organik madde konsantrasyonlarında balıklar üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptir (Bujan, Toranzo & Magarinos, 2018; Davies & ark., 2018; Ziarati & ark., 2022).

Edwardsiellosis'in insanlara bulaşması; kirli sularda yüzerek, balıklarla temas ederek, çiğ balık tüketerek ve bağışıklık sistemi yoluyla gerçekleşir. Ayrıca bakterilerin kan hücrelerine tutunup, hemolize neden olmaları ve salgı sistemlerinin kullanılması yoluyla da bulaşma gerçekleşebilmektedir (Ziarati & ark., 2022).

Bu bakteriler içerisinde *Edwardsiella tarda* insanlarda hastalığa neden olmaktadır. Aynı zamanda yayın balıklarında da hastalık etkeni olan bu tür kuşlar, kurbağalar, diğer balık türlerinin bağırsak mikrobiyotasında bulunmaktadır (Nemetz & Shotts, 1993). Enfekte balıklar ve kontamine sular enfeksiyon kaynağıdır. *Edwardsiella tarda* ile enfekte olan insanlarda görülen hastalıkların klinik tablosu arasında; akut gastroenterit, ürogenital sistem enfeksiyonları, bakteriyemi, karaciğer absesi, menenjit, peritonit, miyonekroz, osteomyelit, sepsis, bakteriyemi, ekstraintestinal edwardsiellosis, yumuşak doku ve yara enfeksiyonları yer almaktadır. Ayrıca *E. tarda*'nın fırsatçı bir patojen olarak, nadiren septisemiler ve bronko pnömonilere de sebep olduğu bildirilmiştir. Bu bakteri türünün tropikal akvaryum balıklarından olan melek

balığından (*Pterophyllum scalare*) küçük bir çocuğa bulaşarak da diyareye sebep olduğu belirtilmiştir. Bu cins içerisinde ayrıca *Edwarsiella ictaluri*'nin de insanlarda benzer klinik belirtilere yol açtığı (menenjit, karaciğer apsesi, bakteriyemi, sepsisemi) belirtilmiştir (Austin & Austin, 2010; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Durmaz, 2019; Kerie, Nuru & Abayneh, 2019).

2.1.4. Leptospiraceae

Leptospira sp.

Leptospira'lar 0.1 x 6-20 µm boyutlarında, sıkı spiralli, uçları çengel şeklinde olup kıvrık görünümlü, endoflagellaları yardımcı ile oldukça hareketli olan oksidaz pozitif, zorunlu aerobik, sporsuz ve kapsülsüz Gram negatif bakterilerdir (Soyal, 2013).

Leptospira balık ve diğer akuatik türlerden insanlara geçebilmekte ve insanlarda "Leptospiroz" denilen hastalığa sebep olmaktadır. Bir epidemiyolojik araştırmada İngiltere'deki balık çiftliklerinde leptospirozun gelişme riskinin arttığı bildirilmiştir (Nemetz & Shotts, 1993). Yine 1980-1981 yıllarında İngiltere'deki balık çiftliklerinde çalışan işçilerde leptospirozun (*Leptospira icterohaemorrhagiae*) görüldüğü bildirilmektedir. Bundan önceki yıllarda bir diğer vaka ise yine İngiltere'de 1968 yılında rapor edilmiştir. Ayrıca yapılan bir araştırmada 82 balık çiftliğinde çalışan 200'den fazla işçinin alınan kan örneklerinden yalnızca üçünde *Icterohaemorrhagiae* serogrubu antikorunun varlığı tespit edilmiştir (Nemetz & Shotts, 1993; Kubilay & Arık, 2002; Austin & Austin, 2010).

Leptospiroz'lar; Anikterik Leptospiroz (asemptomatik) ve İkterik Leptospiroz (sempomatik) olmak üzere iki ayrı form halinde görülebilir (Soyal, 2013).

Bu formların ilkinde asemptomatik belirti olarak; aniden üşüme, titreme, halsizlik, ateş, şiddetli baş ağrısı, kas ağrıları, influenza, bulantı ve kusma görülür. Ayrıca konjunktivada hiperemi, hepatomegali, sarılık ve döküntü olabilir. Akut dönemde ise kan ve beyin omurilik sıvısı ve dokulardan leptospira izole edilebilir (Soyal, 2013).

Leptospiroz'ların ölümcül seyredebilen ikinci formu ise daha çok *Leptospiroz interrogans* serovar icterohaemorrhagiae enfeksiyonlarında tanımlanmıştır. Ancak diğer serovarlarda “Weil sendromu”na neden olabildiği gibi Leptospira'nın diğer serotiplerinde de görülebilmektedirler. İkterik Leptospiroz'da hastalık esas olarak böbrek ve karaciğer fonksiyon bozuklukları, bilinç bozukluğu ve kanama ile karakterizedir. Akut dönemde ise böbrek yetmezliği, dolaşım yetmezliği, karaciğer hasarı, kalpte ritm bozuklukları, ateş ve hemorajik pnömoni gelişebilir. Ayrıca konjunktival kızarıklık ve baş ağrısı gibi klinik belirtiler de görülmektedir. Öldürücü komplikasyon olarak; kalp yetmezliği ve hemorajik miyokardit gelişebilir (Soyal, 2013).

2.1.5. Pseudomonadaceae

Pseudomonas spp.

Pseudomonas'lar Pseudomonaceae ailesinin bir üyesi olup, toprak ve sularda yaygın olarak bulunan hareketli, aerobik ve fakültatif anaerobik ve çomak şeklindeki Gram negatif mikroorganizmalardır. Bu mikroorganizmaya ait türlerden bir kısmı

pigment üretirken bir kısmı da toksin üretmektedir (Bergan, 1981; Gauthier, 2015; Arda, Seçer & SarıeYYüpoğlu, 2017).

Balıklarda hastalık yapan *Pseudomonas* türlerinden *P. fluorescens*; su ortamında, sağlıklı balıkların sindirim florasında ve doğal mikrobiyotasında fırsatçı bir patojen olarak bilinip, tatlısu ve deniz balıklarında septisemik hastalığa sebep olur (Ziarati & ark., 2022).

P. fluorescens'in insanlarda da kistik fibrozis vakalarından izole edildiğine dair veriler bulunmaktadır (Scales & ark., 2015). Balıkların viseral dokularından izole edilen *P. aeruginosa* ise insanlarda pnömoni etkeni olarak iyi bilinmektedir (Leung, Huang & Pancorbo, 1992). *P. putida*'nın da; insanlarda bakteriyemi ve yara enfeksiyonları ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Erer, 2019).

2.1.6. Vibrionaceae

Vibrio spp.

Vibrio türleri deniz ortamında çok yaygın olarak bulunup, deniz balıklarının önemli bakteriyel patojenlerindendir (Roberts, Palmeiro & Weber, 2009). *Vibrionaceae* ailesinde yer alan *Vibrio* türleri fakültatif anaerobik, genellikle hareketli, düz veya hafif kıvrık çomakcıklar şeklinde olan Gram negatif mikroorganizmalardır (Arda, Seçer & SarıeYYüpoğlu, 2017). *Vibrio* türleri acı ve tatlı sularda da yaygın bir dağılım gösterip, aynı zamanda kabuklu deniz ürünlerinde ve balıkların solungaç, deri ve intestinal kanalında gözlenmektedirler (Novoslavskij & ark., 2016). Bu cinse ait türlerin oluşturduğu enfeksiyonlar; deri lezyonları ve kontamine balıkların yenmesi yoluyla meydana gelmektedir. Bunlardan dokuz *vibrio* türü özellikle Uzakdoğu ve Japonya'daki insanlarda çok sık olarak

gastroenterite neden olmaktadır (Seidel & Kiesewalter, 1992; Kubilay & Arık, 2002).

İnsanlarda enfeksiyonlara neden olan en önemli türlerin *Vibrio vulnificus*, *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae* (Nemetz & Shotts, 1993; Austin, 2010), *V. damsela* (Haenen, Evans & Berthe, 2013), *V. alginolyticus*, *V. hollisae*, *V. metschnikovii* olduğu bildirilmiştir (Boylan, 2011)'dir. Bu bakteri türleri içerisinde balıklardan insanlara bulaşan en yaygın olan *Vibrio* türlerinin *V. vulnificus*, *V. cholerae* ve *V. parahaemolyticus* olduğu da ayrıca belirtilmiştir (Seidel & Kiesewalter, 1992; Lowry & Smith, 2007; Boylan, 2011).

Vibrio vulnificus'un oluşturduğu enfeksiyonlar iki klinik belirti halinde tanımlanmıştır. Bu belirtilerin ilki septisemi ve çiğ isticiridye tüketimi ile ilişkilidir. Hastalığın belirtileri arasında ateş, hafıza kaybı, ekimotik hemorajiler ve ekstremitelerde ağrılar yer almaktadır. *V. vulnificus*'un oluşturduğu ikinci klinik belirti ise yara enfeksiyonları şeklindedir. Hastalık selülit, ödem, hemoraji ve ekstensif doku nekrozu ile karakterizedir (Nemetz & Shotts, 1993). İnsanlar da *V. vulnificus* enfeksiyonu genellikle balık, kabuklu deniz ürünleri tüketimi ve deniz suyu kontaminasyonu ile ilişkilendirilmektedir. Ancak enfeksiyon, açık yaralarla temastan da kaynaklanabilir (Boylan, 2011). Bu enfeksiyonların yaklaşık %25'inin açık yaranın bakterileri içeren deniz suyuna doğrudan maruz kalmasından kaynaklandığı bildirilmektedir (Seidel & Kiesewalter, 1992; Nemetz & Shotts, 1993; Bross & ark., 2007). Genellikle sağlıklı insanların *V. vulnificus* ile enfekte olamayacağı, ancak önceden mevcut olan karaciğer hastalığı, alkolizm ve

başıklık sistemi ile ilgili zayıflıkların bu hastalığa zemin hazırladığı belirtilmiştir (Babu, 2000).

Vibrio cholerae suşlarının bazıları kolera toksini (enterotoksin) salgılar. Bu enterotoksinler kolera hastalığında sıvı ve iyon kaybına neden olmaktadır. Yine bu türe ait bazı suşlar çinko ve kalsiyuma bağlı bir proteaz olan musinaz salgılar. Bu proteazlar fibronektin, laktoferrin ve kolera toksininin kendisinde dahil olmak üzere çeşitli proteinleri bozmaktadır. Kolera çok ağır bir şekilde diyare, kusma ve ileri derecede sıvı kayıplarına neden olurken, ölümlerle sonuçlanabilen klinik tablolar da oluşturmaktadır. Bu hastalık insanlarda çok hızlı bir şekilde ölümlerin gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla sağlıklı bir insanda kolera belirtileri başladığında, derhal tedaviye başlanmalıdır. Aksi takdirde birkaç saat içerisinde hipotansiyon gelişmesi sonucunda ölümlerin gerçekleşebileceği belirtilmiştir (Durmaz, 2019).

Vibrio parahaemolyticus, gıda kaynaklı bir zoonoz türü olup, insanlarda kontamine gıdaların özellikle istiridye gibi yumuşakçaların ağız yoluyla alınması veya mutfakta balıkla temas sonucunda bulaşır (Drake, De Paola & Jaykus, 2007). Bu etkenin insanlarda oluşturduğu enfeksiyonun klinik belirtileri arasında; gastroenteritis, karın ağrısı, baş ağrısı, bulantı, kusma, diyare, ateş ve karaciğer yağlanması bulunmaktadır (Babu, 2000; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017). Bu bakteri türü insanlarda sepsis ve yara enfeksiyonlarından izole edilmiştir (Gauthier, 2015).

Ayrıca *Vibrio hollisae*'nin de insanlarda benzer şekilde klinik vakalara yol açtığı belirtilmiştir. Özellikle kontamine yayın balıklarının tüketilmesi sonucu oluşan sepsis olgusu ABD'de rapor edilmiştir (Nemetz & Shotts, 1993).

2.1.7. Campylobacteraceae

Campylobacter spp.

Campylobacter genellikle spiral ve s harfi şeklinde olup hareketli ve oksidaz pozitif olan, mikroaerofilik, Gram negatif, sporsuz, ince ve uzun yapıdaki bir bakteri cinsidir (Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017). *Campylobacter*, birçok hayvanın sindirim sisteminde yaygın olarak bulunabilen karakteristik bir zoonotik bakteridir. İnsanların yediği balık ürünleri yerine arıtılmamış su içilmesi, gıdayı hazırlayan kişinin elleri ve çalışma yüzeyi insanlarda Campylobacteriyozun ana kaynağını oluşturmaktadır. *C. jejuni* ve *C. coli* bu cinsin en önemli enteropatojenleri olup, insanlarda en çok hastalık yapan türlerdir. Bakteriyel motilite ile bağırsak hücre yapışması ve istilasını kullanarak, hücre içi sinyali değiştirip hücre ölümünü uyararak ve de konakçının bağışıklık sisteminden kaçıp büyümeleri ve hayatta kalmaları için demir alarak Campylobacteriosis'e neden olan bakteriler “enterit” olarak ortaya çıkar (Epps & ark., 2013; Facciola & ark., 2017; Eldin & ark., 2023).

2.1.8. Francisellaceae

Francisella tularensis

Francisella tularensis; kokoid tarzında ve küçük çomakçıklar şeklinde görülen, hareketsiz, aerobik, Gram negatif, sporsuz ve ince kapsüllü bir bakteri türüdür. Bu tür sulu ortamlarda yaşamını sürdürüp, özellikle memeli hayvanlar ve balıklar için patojen olup, insanlarda tularemiye neden olmaktadır. Tularemi, kuzey yarım küre ülkelerine özgü zoonotik bir hastalıktır. Bu hastalık ülkemizde küçük epidemiler şeklinde veya sporadik bulgular şeklinde kendini göstermektedir (Gedikoğlu, 2012).

Tablo 1. Farklı aile gruplarına ait Gram negatif bakteriyel balık zoonozları

Aile	Patojen Türler
Aeromonadaceae	<i>Aeromonas hydrophila</i> <i>A. veroni</i> <i>A. sobria</i> <i>A. salmonicida</i> <i>A. caviae</i> <i>A. achromogenes</i> <i>A. schubertii</i> <i>A. masoucida</i>
Enterobacteriaceae	<i>Salmonella spp.</i> <i>K. terrigena</i> <i>Plesiomonas shigelloides</i> <i>Proteus vulgaris</i> <i>Citrobacter freundii</i> <i>P. inconstans</i> <i>Escherichia coli</i> <i>P. mirabilis</i> <i>Klebsiella oxytoca</i> <i>Yersinia ruckeri</i> <i>K. planticola</i> <i>Y. enterocolitica</i>
Hafniaceae	<i>Hafnia alvei</i> <i>E. hoshinae</i> <i>Edwardsiella ictaluri</i> <i>E. piscicida</i> <i>E. tarda</i> <i>E. anguillarum</i>
Leptospiraceae	<i>Leptospira interrogans</i>
Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>P. putida</i> <i>P. aeruginosa</i>
Vibrionaceae	<i>Vibrio vulnificus</i> <i>V. damsela</i> <i>V. cholerae</i> <i>V. alginolyticus</i> <i>V. parahaemolyticus</i> <i>V. metschnikovii</i> <i>V. hollisae</i>
Campylobacteraceae	<i>Campylobacter jejuni</i> <i>C. coli</i>
Francisellaceae	<i>Francisella tularensis</i>

Buna göre *F. tularensis*'in insanlarda oluşturduğu enfeksiyonların klinik belirtileri arasında; anoreksia, baş ağrısı, halsizlik, gastroenterit ve vücudun birçok yerinde ülserlerin oluşması yer almaktadır (Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017).

Gram negatif bakteriler içerisinde yer alan farklı aile grupları ve bu gruplara ait bakteriyel bazı balık zoonozları Tablo 1’de verilmiştir (Hancı & Onuk, 2016; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Erer, 2019; Özcan & Arserim, 2020; Ziarati & ark., 2022; Eldin & ark., 2023).

2.2. Gram Pozitif Bakteriler

2.2.1. Streptococcaceae

Streptococcus spp.

Streptokoklar; fakültatif anaerobik, hareketsiz, sporsuz, kapsülsüz ve yuvarlak şekilli Gram pozitif mikroorganizmalardır (Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017). Bu mikroorganizmalar insanlar ve hayvanlarda lokal ve genel olarak birçok hastalığın nedeni olan ve mukoz membranlarda normal olarak yaşayabilen bakteriler olarak bilinmektedir (Durmaz, 2019). *Streptococcus* cinsine ait türler arasında balık zoonozları olarak; *S. agalactiae*, *S. difficile*, *S. diffcilis*, *S. dysgalactiae*, *S. iniae* ve *S. shiloi* bildirilmiştir (Pradeep & ark., 2016).

Bu cinse ait türler hayvanlar, bitkiler ve de insanlar için farklı bir öneme sahip olup, geniş bir yayılım alanına sahiptirler. Patojen olarak görülebilen bu türler ayrıca saprofit ve simbiyotik yaşama özelliklerine de sahiptirler. Bu farklı davranış özellikleri cins, tür ve serotipe bağlı olarak değiştiği gibi bakteri miktarı ve konağın bağışıklığı ile de ilgili olabilmektedir (Seidel & Kiesewalter, 1992; Kubilay & Arık, 2002; Eldin & ark., 2023).

Streptococcus cinsinin üyeleri güney Amerika ve Japonya’da tatlısu ve deniz balıklarında hastalıklara sebep olmaktadır. Bunlar, nonhemolitik Lancefield grup B bakterileri tarafından oluşturulan

yegane salgınlardır. Salgınlar bazen enterokok olarak isimlendirilen Lancifield grup D mikroorganizmaları ile de ilişkilidir. Bu mikroorganizmaların her ikisi de “piyojenik streptokok” olarak isimlendirilir ve insanlarda hastalıklara sebep olabilirler (Erer, 2019). Çoğu balık izolatlarında Lancefield grup B ve D serotipleri tespit edilmiştir. Bu serotiplerin balıklardan insanlara geçişinin olmadığı bildirilmiş olmasına rağmen, hasta balıklara temas halinde ve kontamine balık ürünlerinin yenmesi ile insanlarda enfeksiyona neden olabilecekleri belirtilmiştir (Seidel & Kieseewalter, 1992; Nemetz & Shotts, 1993).

Bu cinse ait türlerden *Streptococcus iniae*’nin; 1995-1996 yıllarında Kanada’nın Toronto bölgesindeki Asya orjinli kadınlarda hastalığa sebep olduğu bildirilmiştir (Lau & ark., 2003; Koh, Kurup & Chen, 2004). Bu patojen türü balıklarda nörolojik semptomlara neden olduğu için “Mad fish disease” olarak bilinir. Genel inanışa göre klinik olarak hastalıklı tilapia balıklarının kadınlar tarafından alınması ve takiben enfekte balıkların pişirilmeye hazırlanması sırasında balıkla temas ile oluşmaktadır (Austin & Austin, 2010; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017).

S. iniae kaynaklı zoonotik enfeksiyonlar Güneydoğu Asya, Kanada ve Hon Kong’da da öncelikli olarak balık işleme esnasında ve canlı balıklarla temas ile ilişkilendirilerek rapor edilmiştir (Lau ark., 2003; Koh, Kurup & Chen, 2004).

Streptococcus türleri ile enfekte olan insanlarda görülen semptomlar; selülit, endokardit, menenjit, ciddi sistemik enfeksiyonlar, inflamasyonlu ülserler, sepsis, artrit ve lenfadenit şeklindedir (Haenen, Evans & Berthe, 2013).

Lactococcus garvieae

L. garvieae; fakültatif anaerobik, hareketsiz, sporsuz ve yuvarlak şekilli Gram pozitif mikroorganizmalardır. Bu mikroorganizma türü özellikle tatlisu ortamlarında yetiştiriciliği yapılan salmonid balık türleri ile denizlerde yetiştiriciliği yapılan balık türlerinde yıkımlayıcı bir etkiye sahip olup, bir tür streptococcosis enfeksiyonu olarak tanımlanmaktadır (Vendrell & ark., 2006; Velayati & ark., 2015). Son yıllarda ise endokardit, kolesistit ve diskospondilitis'e neden olan bir insan patojeni olarak karşımıza çıkmaktadır (Gauthier, 2015). İnsanlarda görülen enfeksiyonlar ile akuakülterde görülen salgınlar arasındaki ilişki her ne kadar açık bir şekilde ortaya konulamasa da *L. garvieae* kaynaklı insan enfeksiyonlarının çiğ veya az pişmiş deniz ürünlerinin tüketilmesi sonucunda oluştuğu belirtilmektedir (Hancı & Onuk, 2016; Özcan & Arserim, 2020).

2.2.2. Staphylococcaceae

Staphylococcus aureus

Stafilokoklar; genellikle fakültatif anaerobik olup, Gram pozitif, hareketsiz, sporsuz ve yuvarlak şekilli mikroorganizmalardır. Bu bakteri cinsine ait bazı suşlar patojen özelliği gösterip, bilinen en önemli türün *Staphylococcus aureus* olduğu belirtilmiştir. Bazı *S. aureus* suşlar enterotoksin üretip, halk sağlığı sorunlarına yol açmaktadır. Isıya dayanıklı olan bu enterotoksinler vücuda gıda maddeleri ile veya kontamine sularla alınıp, insanlarda gıda zehirlenmelerine ve gastrointestinal bozukluklara sebep olurlar (Kubilay & Arık, 2002; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017).

2.2.3. Clostridiaceae

Clostridium spp.

Clostridium; Gram pozitif, zorunlu anaerob, çoğu hareketli, endospor üreten çubuk şeklinde bakterilerden oluşan bir bakteri cinsidir. *Clostridium* türleri, insanlarda ciddi enfeksiyonlarına sebep olmaktadır. Özellikle *C.botulinum* ve *C. perfringens* kontamine balıkların tüketilmesi sonucunda hastalık oluşturan en önemli iki etken olarak karşımıza çıkmaktadır (Seidel & Kiesewalter, 1992; Bean & ark., 1997).

İnsanlarda çok sık görülen ve tehlikeli bir hastalık olan “Botulismus”, *Clostridium botulinum* bakterilerini taşıyan tatlısu ve deniz balıklarının intestinal sistemlerinde kommensal organizma olarak bulunmaktadır. Botulizm etkeni olan bakteri türünün toprakta daha fazla bulunması, toprak tabanlı balık havuzlarındaki balıkların midelerinde bakteri sporlarının yerleşmesine neden olmaktadır (Gauthier, 2015). Hijyenik olmayan ortam şartlarında balıkların kesimi ve iç organların temizlenmesi sırasında bu sporlar ete geçebilmekte ve hastalığın oluşumuna sebep olmaktadırlar. *C. botulinum*, içinde bulunduğu besin maddelerine ekzotoksinlerini salarak nörolojik semptomların ön planda olduğu bir besin zehirlenmesine neden olur. Bilinen en kuvvetli toksin *C. botulinum* toksinidir (Durmaz, 2019).

Antijenik özelliklerine göre botulinum suşları serolojik olarak altı farklı nörotoksin üretmektedir (Butt, Aldridge & Sanders, 2004). Buna göre insanlardaki salgınlarda en fazla karşılaşılan toksin tipleri tip A, B, E ve F olurken; tip C ve D ise hayvanlardaki botulizm ile ilişkilendirilmektedir (Collins & East, 1998; Hancı & Onuk, 2016; Özcan & Arserim, 2020).

Balıklarda ve diğer deniz ürünlerinde özellikle dumanlanmış, tuzlanmış ve konserve balıklarda vb. (Huss & Peterson, 1980) tip E'ye bolca rastlanmaktadır ve oluşturduğu hastalığa “balık botulismus”u denilmektedir (Kubilay & Arık, 2002).

Balık tüketimi ile ilgili olarak insanlarda görülen birçok enfeksiyon vakasından ise tip E toksininin sorumlu olduğu belirtilmektedir (Gauthier, 2015; Durmaz, 2019). Buna göre *C. botulinum* neurotoksin tip E'nin neden olduğu enfeksiyon tablosu Amerika, İngiltere ve Danimarka'da yetiştiriciliği yapılan salmonid balıklarda bildirilmiştir (Cann & Taylor, 1982; Eklund & ark., 1984; Erer, 2019). Bununla birlikte Güneydoğu Amerika'daki kanal yayın balıklarında (*Ictalurus punctatus*) gözlemlenen bir hastalık vakası viseral toksikozis olarak rapor edilmiştir (Khoo & ark., 2011; Hancı & Onuk, 2016; Özcan & Arserim, 2020).

C. botulinum insanlarda botulismus'a (gıda zehirlenmesine) yol açmaktadır. Hastalıktan etkilenen insanlarda ölüm genelde solunum paralizi sebebiyle olmaktadır. *C. botulinum* ile enfekte olan balıkların insanlar tarafından yenmesi ile insanlarda hastalık kendisini kusma, diyare, baş dönmesi, disfaji, şişkinlik, konstipasyon, bulanık görme ve kas güçsüzlüğü ile gösterir (Korun, 2009; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017).

C. perfringens ise beş değişik toksin tipine (tip A, B, C, D, E) sahip olup, bunlar yalnızca ürettikleri toksinlerin farklılıkları ve hastalık sırasında gösterdikleri semptomlarla ayırt edilebilir. Bu bakteri türünün A ve nadiren C tipi insanlarda ölümle sonuçlanabilen toksikozislere, gastroenteritlere, diyare ve karın ağrılarına neden olabilmektedir (Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Rasetti-Escargueil, Lemichez & Popoff, 2019; Ziarati & ark., 2022).

2.2.4. Erysipelotrichaceae

Erysipelothrix rhusiopathiae

Erysipelothrix cinsine ait türler arasında balık zoonozları olarak *E. rhusiopathiae*, *E. tonsillarum* ve *E. inopinata* türleri bulunmaktadır. Bu cinsin en önemli üyesi, hayvanlarda ve de insanlarda hastalığa neden olan ve cildi, bağ dokuyu ve kılcıl damar duvarını hedef alan *E. rhusiopathiae*'dir. *E. rhusiopathiae*; Gram pozitif, fakültatif aerobik, hareketsiz, sporsuz ve küçük çomakçıklar şeklinde görülen bir bakteri türüdür (Weinstein & ark., 1997; Walton & ark., 2014; Gauthier, 2015; Özcan & Arserim, 2020).

E. rhusiopathiae'nın sebep olduğu hastalık hayvanlarda "erysipelas" olarak bilinirken, insanlarda ise "erysipeloid" olarak adlandırılmaktadır (Gauthier, 2015; Nielsen & ark., 2018). Erysipeloid aynı zamanda Rosenbach's hastalığı, Baker-Rosenbach hastalığı ve pseudoerysipelas olarak da adlandırılmaktadır (Walton & ark., 2014; Erer, 2019).

Bu hastalık, özellikle balıkçılara ve balık işleme fabrikalarındaki işçilere zarar verebilen bir meslek hastalığıdır. Dolayısıyla işleme fabrikalarında çalışan işçilerin, profesyonel aşçılar ile veterinerlerin diğer meslek grubundaki insanlara göre daha fazla risk altında oldukları belirtilmiştir (Babu, 2000).

E. rhusiopathiae farklı balık türlerinden, sefalopodlardan ve kabuklu su ürünlerinden izole edilmiştir (Göksoy, Kirkan & Kaya, 2006). Balıkçılar enfeksiyon riskini taşımakla birlikte, deniz ortamında en çok görülen enfeksiyonların istakoz ya da balıkların yüzgeç ışınları, kemikleri, dişleri ya da pulları tarafından balıkçıların

vücut derilerinin çizilmesi sonucunda oluştuğu bildirilmiştir (Fidalgo, Wang & Riley, 2000; Hancı & Onuk, 2016).

E. rhusiopathiae'nın insanlarda oluşturduğu enfeksiyonlar üç klinik belirti halinde tanımlanmıştır (Stoskopf, 1993; Kubilay ve Arık, 2002; Özcan & Arserim, 2020). Bu belirtilerin ilki “erizipeloid” olarak isimlendirilen lokalize deri enfeksiyonlarıdır. Hastalığın belirtileri kızarıklık, şişlik, ağrı, duyarlılık ve hissizlik şeklinde görünüp, deri apsesi ve selülit ile de karakterizedir. İkinci klinik belirti ise el veya parmaklara yerleşerek enfeksiyon oluşturmaları şeklindedir. Bu enfeksiyon şekli el veya parmaklarda kaşıntı ve yanmaya sebep olurken, irinsiz ve menekşe rengine lezyonlar, eritem ve ödemlerin oluşmasına da sebep olur (Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017). Üçüncü ve son klinik belirti ise septisemi'dir. Ayrıca hasta insanlarda karaciğer apsesi, peritonit, menenjit, pnömoni, osteomyelit, endokardit ve anemi gibi hastalıkların da görülebileceği belirtilmiştir (Nemetz & Shotts, 1993; Weinstein & ark., 1997; Walton & ark., 2014; Ziarati & ark., 2022).

2.2.5. Listeriaceae

Listeria spp.

Listeria'lar kapsülsüz, sporsuz, hareketli, pleomorfik, toprakta yaşayabilen çomak şekilli Gram pozitif bakterilerdir. *Listeria* cinsi altı tür (*L. monocytogenes*, *L. innocua*, *L. seeligeri*, *L. ivanovii*, *L. welshimeri* ve *L. grayi*) içerir, ancak bu türlerden sadece *Listeria monocytogenes* ve de nadir olarak rastlanan *Listeria ivanovii* insanlar için patojen olup, insanlarda “listeriosis” hastalığının oluşmasına neden olurlar. Bu bakteri türleri toprakta, bitkilerde, hayvanlarda ve atık sularla kontamine olmuş sularda bulunup, çoğu zaman gıda aracılığı ile insanlara geçerek hastalık oluştururlar. Bu

nedenle yaşlılar, hamile kadınlar, kronik hastalık durumu olan kişiler ve bağışıklık sistemi baskılanmış durumda olan kişiler, listeriosis hastalığı açısından yüksek riskli gruplar olarak kabul edilmektedir (Lassen & ark., 2016).

L. monocytogenes ve *L. ivanovii* hayvanların ve balıkların da büyük bir kısmını enfekte edebilme kapasitesine sahiptir. *L. monocytogenes*, balıkların dış yüzeyinde, mukozada, bağırsaklarda, midelerde ve kontamine balıkların solungaçlarında bulunabilen yüzey suyunun yerli florasıdır. Bu nedenle balık derisi ve dışkı içeriği hastalığın oluşmasında enfeksiyon kaynağı olarak bilinir (Jami & ark., 2014). Ayrıca Kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinde *L. monocytogenes* ile kontamine olmuş çiğ veya tütülenmiş balıklar ve kabuklu deniz ürünlerinin toplu tüketimleri sonucunda da enfeksiyonun olduğu bildirilmiştir (Ziarati & ark., 2022).

L. monocytogenes ile enfekte olmuş hamilelerde erken doğum veya ölü doğum meydana gelebilmektedir (Seidel & Kiesewalter, 1992). Bunun yanı sıra, 4-21 günlük inkübasyon periyodundan sonra enfekte olmuş insanlarda, sepsisemi, menenjit, gastroenterit, granulomatoz, pnömoni, endokardit ve hidrosefali gibi tehlikeli hastalıklar da görülebilmektedir (Korun, 2009; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Ziarati & ark., 2022).

2.2.6. Nocardiaceae

Nocardia spp.

Nocardia etkenleri Gram pozitif, zayıf asidorezistans bir özellikte aerobik, sporsuz, kapsülsüz veya küçük çomakçıklar şeklinde görülen mikroorganizmalardır (Austin, 2010). Doğada yaygın olarak bulunan *Nocardia* türleri, bağışıklık sistemi

baskılanmış insanlarda pulmoner, kutanöz, merkezi sinir sistemi ve sistemik nokardiyoz gibi çeşitli enfeksiyonlar ile granülomlara neden olabilmektedir (Lederman & Crum, 2004; Üner, Hasçelik & Müştak, 2016). İnsanlarda enfeksiyona neden oldukları saptanan türlerden *N. asteroides* ve *N. kampfachi*'nin, hem insanlarda hem de balıklardaki tüberkuloid lezyonlardan çok az sayıda izole edildikleri bildirilmiştir (Kubilay & Arık, 2002; Erer, 2019).

Nokardiozis etkeni olan bu türlerin toprakta yaygın olarak bulunması, toprak tabanlı balık havuzlarındaki balıklarda derideki yaralar yoluyla lezyonlar oluşturduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla bu bakteri türlerinin fırsatçı bir patojen olarak deride oluşan yaralar yoluyla balıklarda olduğu gibi insanlarda da lezyonlar oluşturduğu düşünülmektedir (Erer, 2019).

2.2.7. Mycobacteriaceae

Mycobacterium spp.

Bu aileye ait bakteriler hareketsiz, sporsuz, kapsülsüz ve aside dirençli, aerobik ve pleomorfik basiller halindeki Gram pozitif türlerdir (Delghandi, El-Matbouli & Menanteau-Ledouble, 2020).

Mycobacterium enfeksiyonları, balıklar tarafından bulaşan en yaygın bakteriyel enfeksiyonlar arasında yer almaktadır (Prearo & ark., 2004; Souza, 2009; Boylan, 2011; Gauthier, 2015). Bu enfeksiyonlar su ürünleri yetiştiriciliğindeki üretim tanklarında ve akvaryum ünitelerinde çalışan kişileri daha çok etkilemektedir. Bu nedenle enfeksiyonun insanlara bulaşmasında enfekte su ürünleri ve suyla temas en önemli faktörleri oluşturmaktadır (Novotny & ark., 2004; Chomel, 2015; Ziarati & ark., 2022).

Mycobacterium türleri arasında balık zoonozları olarak *M. avium*, *M. avescens*, *M. chelonae*, *M. fortuitum*, *M. gordonae*, *M. marinum*, *M. ulcerans*, *M. septicum* ve *M. peregrinum* türleri tanımlanmıştır. Buna göre bu türler arasında en yaygın olan dört türden *M. marinum*, *M. fortuitum*, *M. gordonae* ve *M. chelonae*'nin salgının ortaya çıkmasında önemli bir rol üstlendikleri belirtilmiştir (Phillips Savage & ark., 2022).

Tablo 2. Farklı aile gruplarına ait Gram pozitif bakteriyel balık zoonozları

Aile	Patojen Türler
Streptococcaceae	<i>Lactococcus garvieae</i> <i>Streptococcus iniae</i> <i>S. difficile</i> <i>S. difficilis</i>
Staphylococcaceae	<i>Staphylococcus aureus</i>
Clostridiaceae	<i>Clostridium botulinum</i> <i>C. perfringens</i>
Erysipelotrichaceae	<i>Erysipelothrix inopatina</i> <i>E. rhusiopathiae</i> <i>E. tonsillarum</i>
Listeriaceae	<i>Listeria monocytogenes</i> <i>L. ivanovii</i>
Nocardiaceae	<i>Nocardia asteroides</i> <i>N. kimpachi</i>
Mycobacteriaceae	<i>Mycobacterium avium</i> <i>M. avescens</i> <i>M. chelonae</i> <i>M. fortuitum</i> <i>M. gordonae</i> <i>M. marinum</i> <i>M. ulcerans</i> <i>M. septicum</i> <i>M. peregrinum</i>

Mycobacterium türlerinin insanlarda neden olduğu hastalıklar; genellikle ciltte granülomatöz lezyonlar ile ciddi nekrotik lezyonlara, tendon ve kemik gibi derin doku

enfeksiyonlarına (tenosinovit, bursit, arthritis, osteomyelit) yol açar. Özellikle yüzme havuzlarında, akvaryum cam yüzeylerinde ve akvaryum balıklarında çok fazla sayıda bulunan bu bakteriler insanlara derideki yaralardan bulaşıp, insanlarda granülomatoz enfeksiyonları oluştururlar (Van Ingen, 2013). Bu enfeksiyonlar genellikle organizmaya maruz kaldıktan yaklaşık olarak 6-8 hafta sonra ortaya çıkmakta ve lenf nodüllerine kadar yayılabilmektedirler (Bilgehan, 1995; Delghandi, El-Matbouli & Menanteau-Ledouble, 2020; Özcan & Arserim, 2020; Ziarati & ark., 2022).

Gram pozitif bakteriler içerisinde yer alan farklı aile grupları ve bu gruplara ait bakteriyel bazı balık zoonozları Tablo 2’de verilmiştir (Hancı & Onuk, 2016; Arda, Seçer & Sarıeyyüpoğlu, 2017; Erer, 2019; Özcan & Arserim, 2020; Ziarati & ark., 2022; Eldin & ark., 2023).

3. Sonuç

Zoonotik etkenler, artan su ürünleri talebi ve tüketiminin bir sonucu olarak balıkçılık ve dünya genelindeki sağlık endüstrileri için ciddi bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Günümüzde balıklardan bulaşan patojenlerin biyoçeşitliliği, ekolojisi, oluşumu ve dağılımı ile ilgili olarak yeterli bilgi bulunmamaktadır. Buna göre bu derleme çalışmasının yapılmasında, zoonotik etkenlerin varlığı ve yaygınlığı konusundaki bilgi eksikliği etkili olmuştur. Çeşitli konakçılar ile coğrafi dağılım ve mevsimselliğin enfeksiyon prevalansı üzerindeki etkileri hakkında daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Hastalıkların doğal ortamlarda ortaya çıkışının yanında gıda sektörü, biyogüvenlik ve tıbbi uygulamalar konusundaki farkındalığımızı artırmak için patojenlerin morfolojisinin daha iyi anlaşılması da gerekmektedir. Zoonoz hastalıkları, özellikle de balık kaynaklı olan zoonoz hastalıkları tespit etmek için inovatif moleküler tanı yöntemlerinin

oluşturulması gerekmektedir. Böylece deniz, tatlısu ve akvaryum balığı türlerinde zoonotik enfeksiyonların izlenmesi daha kolay ve ekonomik bir hale gelecektir. Balıkların düşük maliyetli önemli bir gıda kaynağı olması bakımından, bazı olası zoonotik enfeksiyonların varlığı nedeniyle insanların balık hastalıklarına yakalanması daha kolay hale gelmektedir. Bu nedenle koruma ve kontrol önlemlerinin insanlara öğretilmesi halk sağığı açısından önem arz etmektedir.

Kaynakça

Abd-El-Malek, A.M. (2017). Incidence and virulence characteristics of *Aeromonas* spp. in fish. *Veterinary World*, 10 (1), 34-37. Doi: 10.14202/vetworld.2017.34-37

Arda, M., Seçer, S. & Sarıeyyüpoğlu, M. (2017). Balık hastalıkları (3. Baskı). Ankara: Medisan Yayın Serisi: 86.

Austin B. & Austin D.A. (2010). Bacterial fish pathogens: Disease of farmed and wild fish. Netherlands: Springer.

Austin, B. (2010). Vibrios as causal agents of zoonoses. *Veterinary Microbiology*, 140, 310-317. Doi: 10.1016/j.vetmic.2009.03.015

Babu, S.P. (2000). Ichthyozoonoses, reviews fish disease and infections transmissible to man, including some unfamiliar and recently recognized fish-borne maladies. *Fish Farmer*, 14, 14.

Bean, N.H., Goulding, J.S., Daniels, M.T. & Angulo, F.J. (1997). Surveillance for foodborne disease outbreaks-United States, 1988-1992. *Journal of Food Protection*, 60 (10), 1265-1286. Doi: 10.4315/0362-028X-60.10.1265

Bergan, T. (1981). Human- and Animal-Pathogenic Members of the Genus *Pseudomonas*. In M.P. Starr, H. Stolp, H.G. Trüper, A. Balows and H.G. Schlegel (Editors), *The Prokaryotes: A Handbook on Habitats, Isolation and Identification of Bacteria* (pp. 666-700). Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH.

Bilgehan, H. (1995). Klinik mikrobiyolojide tanı. İzmir: Barış Yayınları.

Bliven, K.A. & Maurelli, A.T. (2016). Evolution of bacterial pathogens within the human host. *Microbiology Spectrum*, 4(1). Doi:10.1128/microbiolspec.VMBF-0017

Bonyadian, M., Fardizad, H., Akbarian, A. & Karimi Ghahfarokh, F. (2014). Pool water and Rainbow trout contamination to some enteric bacteria in Chaharmahal va Bakhtiari province. *International Journal of Virtual Reality* 10 (3), 94-99.

Boylan, S. (2011). Zoonoses associated with fish. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice* 14, 427-438.

Bross, M.H., Soch, K., Morales, R. & Mitchell, R.B. (2007). *Vibrio vulnificus*: diagnosis and treatment. *American Family Physician* 76 (4), 539-544.

Bujan, N., Toranzo, A. & Magarinos, B. (2018). *Edwardsiella piscicida*: a significant bacterial pathogen of cultured fish. *DAO Diseases of Aquatic Organisms*, 131 (1), 59-71. Doi: 10.3354/dao03281

Butt, K.E., Aldridge, C. & Sanders, V. (2004). Infections related to the ingestion of seafood, Part I: Viral and bacterial infections. *Lancet Infectious Diseases*, 4 (4), 201-212. Doi:10.1016/S1473-3099(04)00969-7

Cann, D.C. & Taylor, L.Y. (1982). An outbreak of botulism in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, farmed in Britain. *Journal of Fish Diseases*, 5 (5), 393-399. Doi: 10.1111/j.1365-2761.1982.tb00495.x

Chomel, B. (2015). Diseases Transmitted by Less Common House Pets. *Microbiology Spectrum* 3 (6). Doi: 10.1128/microbiolspec.IOL5-0012-2015

Collins, M.D. & East, A.K. (1998). Phylogeny and taxonomy of the foodborne pathogen *Clostridium botulinum* and its neurotoxins. *Journal of Applied Microbiology*, 84 (1), 5-17. Doi: 10.1046/j.1365-2672.1997.00313.x

Cox, L.J., Keller, N. & Schothorst, M.V. (1988). The use and misuse of quantitative determination of Enterobacteriaceae in food microbiology. *Journal of Applied Bacteriology*, 65 (17), 237-249. Doi: 10.1111/j.1365-2672.1988.tb04654.x

Davies, Y.M., Oliveira, M.G.X., Cunha, M.P.V., Franco, L.S., Santos, L.S.P., Moreno, L.Z., de Moura Gomes, V.T., Sato, M.I.Z., Nardi, M.S. & Moreno, A.M. (2018). *Edwardsiella tarda* outbreak affecting fishes and aquatic birds in Brazil. *Veterinary Quarterly*, 38 (1), 99-105. Doi: 10.1080/01652176.2018.1540070

Delghandi, M.R., El-Matbouli, M. & Menanteau-Ledouble, S. (2020). Mycobacteriosis and infections with nontuberculous Mycobacteria in aquatic organisms: a review. *Microorganisms*, 8 (9), 1368. Doi: 10.3390/microorganisms8091368.

Drake, S.L., De Paola, A. & Jaykus, L.A. (2007). An overview of *Vibrio vulnificus* and *Vibrio parahaemolyticus*. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 6, 120-144. Doi: 10.1111/j.1541-4337.2007.00022.x

Durmaz, Y. (2019). *Su ürünleri ile insanlara bulaşan astalıklar*. (Erişim Tarihi: 05.01.2024 <https://vetkontrol.tarimorman.gov.tr/samsun/Belgeler/Makaleler/SU%20%C3%9CR%C3%9CNL>

ER%C4%B0%20%C4%B0LE%20%C4%B0NSANALARA%20B
ULA%C5%9EAN%20ETKENLER.pdf)

Eklund, M.W., Poysky, F.T., Peterson, M.E., Peck, L.W. & Brunson, W.D. (1984). Type E botulism in salmonids and conditions contributing to outbreaks. *Aquaculture*, 41 (4), 293-309. Doi: 10.1016/0044-8486(84)90198-4

Eldin, A.I.A.Z., Salman, M.B., Eldin, D.A.S. & Eissa, N. (2023). An overview on: Bacterial fish zoonoses. *Journal of Current Veterinary Research*, 5 (2), 196-215. Doi: 10.21608/JCVR.2023.320449

Epps, S.V., Harvey, R.B., Hume, M.E., Phillips, T.D., Anderson, R.C. & Nisbet, D.J. (2013). Foodborne *Campylobacter*: Infections, metabolism, pathogenesis and reservoirs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10 (12), 6292-6304. Doi: 10.3390/ijerph10126292

Erer, H. (2019). Balık hastalıkları (3. Baskı). Konya: Güler Ofset.

Facciola, A., Riso, R., Avventuroso, E., Visalli, G., Delia, S.A. & Lagana, P. (2017). *Campylobacter*: from microbiology to prevention. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, 58 (2), E79-E92.

Fidalgo, S.G., Wang, Q. & Rilley, T.V. (2000). Comparison of methods for detection of *Erysipelothrix* spp. and their distribution in some Australasian seafoods. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (5), 2066-2070. Doi: 10.1128/aem.66.5.2066-2070.2000

Gauthier, D.T. (2015). Bacterial zoonoses of fishes: A review and appraisal of evidence for linkages between fish and human infections. *The Veterinary Journal*, 203 (1), 27-35. Doi: 10.1016/j.tvjl.2014.10.028

Gedikoğlu, S. (2012). *Francisella tularensis* bakteriyolojik özellikleri ve tanı yöntemleri. (Erişim Tarihi: 26.01.2024 <https://www.klimik.org.tr/wp-content/uploads/2012/02/1282011114519-Mikrobiyolojik-ozellikler-ve-tani-Prof-Dr-Suna-Gedikoglu.pdf>)

Göksoy, E., Kirkan, S. & Kaya, O. (2006). Comparison of polymerase chain reaction and conventional methods for the diagnosis of *Listeria monocytogenes* in stuffed mussels. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 30 (2), 229-34.

Haenen, O.L.M., Evans, J.J. & Berthe, F. (2013). Bacterial infections from aquatic species: Potential for and prevention of contact zoonoses. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 32 (2), 497-507. Doi: 10.20506/rst.32.2.2245

Hancı, İ. & Onuk, E.E. (2016). Balıkların başlıca bakteriyel zoonozları. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 27 (2), 123-130. Doi: 10.35864/evmd.515967

Huss H.H. & Peterson E.R. (1980). The stability of *Clostridium botulinum* type E toxin in salty and/or acid environment. *International Journal of Food Science Technology*, 15 (6), 619-627. Doi: 10.1111/j.1365-2621.1980.tb00982.x

Jami, M., Ghanbar, M., Zunabovic, M., Domig, K.J. & Kneifel, W. (2014). *Listeria monocytogenes* in aquatic food products-a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 13 (5), 798-813. Doi: 10.1111/1541-4337.12092

Janda, J.M. & Abbott, S.L. (1999). Unusual food-borne pathogens: *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas*, *Plesiomonas*, and *Edwardsiella* species. *Clinics in Laboratory Medicine*, 19 (3), 553-582. Doi: 10.1016/S0272-2712(18)30104-5

Janda, J.M. & Abbott, S.L. (2010). The genus *Aeromonas*: Taxonomy, pathogenicity, and infection. *Clinical Microbiology Reviews*, 23 (1), 35-73. Doi: 10.1128/CMR.00039-09.

Kerie, Y., Nuru, A. & Abayneh, T. (2019). *Edwardsiella* species infection in fish population and its status in Ethiopia. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 10 (2), Doi: 10.4172/2150-3508.1000266

Khoo, L.H., Goodwin, A.E., Wise, D.J., Holmes. W.E., Hanson, L.A., Steadman, J.M., Mc Intyre, L.M. & Gaunt, P.S. (2011). The pathology associated with visceral toxicosis of catfish. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 23 (6), 1217-1221. Doi: 10.1177/1040638711425577

Koh, T.H, Kurup, A. & Chen, J. (2004). *Streptococcus iniae* discitis in Singapore. *Emerging Infectious Diseases*, 10 (9), 1694-1696. Doi: 10.3201/eid1009.040029

Korun, J. (2009). Balık ve kabuklu su ürünleri orijinli zoonotik hastalıklar. *İnfeksiyon Dergisi*, 23 (3), 151-156.

Kubilay, A. & Arık, F. (2002). Balık zoonozları. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 32 (3-4), 307-315.

Lassen, S.J., Ethelberg, S., Bjorkman, J.T., Jensen, T., Sorensen, G., Kvistholm Jensen, A., Müller, L., Nielsen, E.M. & Molbak, K. (2016). Two *Listeria* outbreaks caused by smoked fish

consumption-using whole-genome sequencing for outbreak investigations. *Clinical Microbiology Infection*, 22 (7), 620-624. Doi: 10.1016/j.cmi.2016.04.017.

Lau, S.K.P., Woo, P.C.Y., Tse, H., Leung, K.W., Wong, S.S.Y. & Yuen, K.Y. (2003). Invasive *Streptococcus iniae* infections outside North America. *Journal of Clinical Microbiology and Infection*, 41 (3), 1004-1009. Doi: 10.1128/JCM.41.3.1004-1009. 2003

Lederman, E.R. & Crum, N.F. (2004). A case series and focused review of nocardiosis: Clinical and microbiologic aspects. *Medicine*, 83 (5), 300-313. Doi: 10.1097/01.md.0000141100.30871.39.

Leung, C.K., Huang, Y.W. & Pancorbo, O.C. (1992). Bacterial pathogens and indicators in catfish and pond environments. *Journal of Food Protection*, 55 (6), 424-427. Doi: 10.4315/0362-028X-55.6.424.

Lowry, T. & Smith, S.A. (2007). Aquatic zoonoses associated with food, bait, ornamental, and tropical fish. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 231 (6), 876-880. Doi: 10.2460/javma.231.6.876

Murphy, C.P., Fajt, V.R., Scott, H.M., Foster, M.J., Wickwire, P. & McEwen, S.A. (2016). Scoping review to identify potential non-antimicrobial interventions to mitigate antimicrobial resistance in commensal enteric bacteria in North American cattle production systems. *Epidemiology & Infection*, 144 (1), 1-18. Doi: 10.1017/S0950268815000722

Nemetz, T.G. & Shotts, E.B. (1993). Zoonotic Disease. In M. Stroskopf (Editor), *Fish Medicine* (p. 214). Philadelphia/London: Saunders Publisher.

Nielsen, J.J., Blomberg, B., Gaïni, S. & Lundemoen, K. (2018). Aortic valve endocarditis with *Erysipelothrix rhusiopathiae*: A rare zoonosis. *Infectious Disease Reports*, 10 (3), 7770. Doi: 10.4081/idr.2018.7770

Noga, E.J. (2010). Fish disease, diagnosis and treatment (2nd Edition). USA: Wiley-Blackwell, Ames, Iowa.

Novoslavskij, A., Terentjeva, M., Eizenberga, I., Valciņa, O., Bartkevičs, V. & Bērziņš, A. (2016). Major foodborne pathogens in fish and fish products: A review. *Annals of Microbiology*, 66, 1-15. Doi: 10.1007/s13213-015-1102-5

Novotny, L., Dvorska, L., Lorencova, A., Beran, V. & Pavlik, I. (2004). Fish: a potential source of bacterial pathogens for human beings. *Veterinary Medicine Journal*, 49(9), 343-358. Doi: 10.17221/5715-VETMED

Odeyemi, O.A. & Ahmad, A. (2017). Antibiotic resistance profiling and phenotyping of *Aeromonas* species isolated from aquatic sources. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24 (1), 65-70. Doi: 10.1016/j.sjbs.2015.09.016

Oliviera, R.V., Oliviera, M.C. & Pelli, A. (2017). Disease infection by Enterobacteriaceae family in fishes: A review. *Journal of Microbiology & Experimentation*, 4 (5), 119-122. Doi: 10.15406/jmen.2017.04.00128

Özcan, F. & Arserim, N.B. (2020). Balık orjinli bakteriyel zoonozlar. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 6 (12), 20-29. Doi: 10.7176/JSTR /6-12-03

Phillips Savage, A.C.N., Blake, L., Suepaul, R., McHugh, O., Rodgers, R., Thomas, C., Oura, C. & Soto, E. (2022). Piscine mycobacteriosis in the ornamental fish trade in Trinidad and Tobago. *Journal of Fish Diseases*, 45 (4), 547-560. Doi: 10.1111/jfd.13580

Pradeep, P.J., Suebsing, R., Sirthammajak, S., Kampeera, J., Jitrakorn, S., Saksmerprom, V., Turner, W., Palang, I., Vanichviriyakit, R. & Senapin, S. (2016). Evidence of vertical transmission and tissue tropism of streptococcosis from naturally infected red tilapia (*Oreochromis* spp.). *Aquaculture Reports*, 3, 58-66. Doi: 10.1016/j.aqrep.2015. 12.002

Prearo, M., Zanoni, R.G., Campo Dall’Orto, B., Pavoletti, E., Florio, D., Penati, V. & Ghittino, C. (2004). Mycobacterioses: Emerging pathologies in aquarium fish. *Veterinary Research Communications*, 28 (Suppl 1), 315–317. Doi: 10.1023/B:VERC.0000045435.19522.af

Rasetti-Escargueil, C., Lemichez, E. & Popoff, M. (2019). Public health risk associated with Botulism as foodborne zoonoses. *Toxins*, 12 (1), 17. Doi: 10.3390/toxins12010017

Roberts, H.E., Palmeiro, B. & Weber, E.S. (2009). Bacterial and parasitic diseases of pet fish. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 12 (3), 609-638. Doi: 10.1016/j.cvex.2009.06.010

Scales, B.S., Erb-Downward, J.R., Huffnagle, I.M., LiPuma, J.J. & Huffnagle, G.B. (2015). Draft genome sequences of seven

Pseudomonas fluorescens Subclade III strains isolated from cystic fibrosis patients. *Genome Announcements*, 3 (1), e01285-14. Doi: 10.1128/genomeA.01285-14.

Seidel G. & Kieseewalter, J. (1992). Bakterielle Lebensmittelinfektionen-und intoxicationen (3. Auflage). Berlin/Germany: Akademie-Verlags GmbH.

Smith, S.A. (2011). Working with fish, limiting zoonotic diseases. *Global Aquaculture Advocate*, (Erişim Tarihi: 11.08.2018 <https://www.globalseafood.org/advocate/working-with-fish-limiting-zoonotic-diseases/>)

Souza, M.J. (2009). Bacterial and parasitic zoonoses of exotic pets. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 12 (3), 401-415. Doi: 10.1016/j.cvex.2009.06.003

Soyal, A. (2013). Leptospirosis tanısında LipL32, OmpL1 ve 16S rRNA gen bölgelerindeki spesifik dizileri hedef alan PCR-RFLP yöntemlerinin duyarlılıklarının tespiti. Doktora Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi.

Stock, I. (2004). *Plesiomonas shigelloides*: an emerging pathogen with unusual properties. *Reviews in Medical Microbiology*, 15 (4), 129-139. Doi:10.1097/00013542-200410000-00002

Stoskopf, M.K. (1993). Fish medicine. Philadelphia/USA: Saunders.

Timur, G. & Timur, M. (2003). Balık hastalıkları. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Yayınları.

Üner, M.C., Haşcelik, G. & Müştak, H.K. (2016). 16S rRNA gen dizi analizi ile tanımlanan klinik *Nocardia* izolatlarının

antimikrobiyal duyarlılıkları. *Mikrobiyoloji Bülteni*, 50 (1), 11-20. Doi: 10.5578/mb.10639 oi: 10.5578/mb.106

Walton, R.N., Clemens, A., Chung, J., Moore, S., Wharton, D., Haydu, L., De Villa, E., Sanders, G., Bussey, J., Richardson, D. & Austin, J.W. (2014). Outbreak of type E foodborne botulism linked to traditionally prepared salted fish in Ontario, Canada. *Foodborne Pathogens and Disease*, 11 (10), 830-834. Doi: 10.1089/fpd.2014.1783

Weinstein, M.R., Litt, M., Kertesz, D.A., Wyper, P., Rose, D., Coulter, M., McGeer, A., Facklam, R., Ostach, C., Willey, B.M, Borczyk., A. & Low, D.E. (1997). Invasive infections due to a fish pathogen, *Streptococcus iniae*. *New England Journal of Medicine*, 337 (9), 589-594. Doi: 10.1056/ NEJM199708283370902

Woolhouse, M. & Gaunt, E. (2007). Ecological origins of novel human pathogens. *Critical Reviews in Microbiology*, 33(4), 231-242. Doi: 10.1080/10408410701647560

Van Ingen, J. (2013). Diagnosis of nontuberculous mycobacterial infections. *Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*, 34 (1), 103-109. Doi: 10.1055/s-0033-1333569

Velayati, A.A., Rahideh, S., Nezhad, Z.D., Farnia, P. & Mirsaeidi, M. (2015). Nontuberculous mycobacteria in Middle East: Current situation and future challenges. *International Journal of Mycobacteriology*, 4 (1), 7-17. Doi: 10.1016/j. ijmyco.2014.12.005

Vendrell, D., Balcazar, J.L., Ruiz-Zarzuela, I., de Blas, I., Girones, O. & Muzquiz, J.L. (2006). *Lactococcus garvieae* in fish: A review. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 29 (4), 177-198. Doi: 10.1016/j.cimid. 2006.06.003

Ziarati, M., Zorriehzahra, M.J., Hassantabar, F., Mehrabi, Z., Dhawan, M., Sharun, K., Bin Emran, T., Dhama, K., Chaicumpa, W. & Shamsi, S. (2022). Zoonotic diseases of fish and their prevention and control. *Veterinary Quarterly*, 42 (1), 95-118. Doi: 10.1080/01652176.2022.2080298

BÖLÜM IV

Tüketilebilir Su Ürünlerinde Besin Kalite İndeksi Yağ Asitleri

Nurgül ŞEN ÖZDEMİR¹

Giriş

Su ekosistemleri dünya yüzeyinin çoğunluğunu kaplamakta (deniz sistemleri, % 71; tatlı su sistemleri, < % 1) ve insanlara gıda tedariki ve karbon tutulması da dahil olmak üzere çok sayıda ve önemli hizmet sağlamaktadırlar (Barange & ark., 2017; Beaumont & ark., 2019). Su ekosistemlerindeki sucul organizmalar; hayvanlar, bitkiler ve mikroorganizmaların yanı sıra yeni teknolojilerle ortaya çıkan su kökenli hücre ve bitki bazlı gıdalar su ürünleri olarak tanımlanmaktadırlar (WorldFish, 2020). Bunlar, yüzgeçli balıkları, kabukluları (yengeç ve karides gibi), kafadan bacaklıları (ahtapot ve kalamar), diğer yumuşakçaları (istiridye, midye ve deniz

¹ Veterinerlik Bölümü, Tarım, Gıda ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bingöl Üniversitesi, 12000, Bingöl/Türkiye

salyangozları), su bitkilerini (su ıspanağı; *Ipomoea Cyclinga*), algleri (deniz yosunu) ve diğer suda yaşayan hayvanları içmektedirler (memeliler, böcekler ve deniz hıyarları). Su ürünleri, yetiştirilebilir veya doğadan yakalanabilir ve iç kesimlerden (örneğin göller, nehirler ve sulak alanlar), kıyılardan (haliçler, mangrovlar ve kıyıya yakın yerler) ve deniz sularından elde edilmekte ve her mevsimde ve coğrafi bölgede çeşitli gıdalar üretmektedirler. Sudaki gıdaların çoğunluğunu da hayvansal kaynaklı sucul besinler oluşturmaktadır (Golden et al., 2021). Dünyada, yabani balıkçılıkta 2.370'den fazla takson hasat edilmekte ve su ürünleri yetiştiricileri yaklaşık 624 tür yetiştirmektedirler (FAO, 2021).

Beslenme amacıyla kullanılan su ürünleri milyarlarca insanın sağlıklı beslenmesine katkıda bulunmaktadır. Ancak, bunlar besin kaynağı ve beslenme çözümü olarak genellikle yeterince değerlendirilememektedirler. Çünkü çeşitlilikleri genellikle tek bir gıda türünün ("deniz ürünleri" veya "balık") protein ve enerji değerine indirgenmektedir (Golden et al 2016; Byrd & ark., 2021; Bernhardt & O'Connor, 2021). Tüketilebilecek sucul besin kaynaklarının karasal kaynaklara göre daha büyük bir zenginliğe sahiptir (yaklaşık 3000 takson). Küresel olarak, ilerki yıllarda su ürünleri üretim potansiyelinin yüksek üretim potansiyeline ulaşacağı ve fiyatlarının da düşeceği ve tüketimlerinin de artacağı yönünde öngörüler bulunmaktadır. Bunun da bazı sağlık sorunlarına sebep olan kırmızı et tüketimini azaltacağı düşünülmektedir (Manson & ark., 2019; CUP, 2018; Golden & ark., 2021).

Büyük ölçüde beslenmeyle ilgili faktörlerden kaynaklanan kardiyovasküler hastalıklar, küresel ölüm oranlarında en büyük katkıyı sağlayarak 2017'de 17.8 milyon ölüme neden olmuştur

(Mensah & ark., 2019); bu, 2020'de COVID-19'un dan kaynaklı 2 milyon ölümden daha fazladır (Golden & ark., 2021). Yağ asitlerinden yüksek oranda doymamış omega 3 ($\omega 3$) yağ asitleri veya usun zincirli çoklu doymamış (LC-PUFA), özellikle dokosaheksaenoik asit (22:6 $\omega 3$; DHA) ve eikosapentaenoik asit (20:5 $\omega 3$; EPA), insan sağlığını, erken gelişimi ve bazı hastalıkların önlenmesini etkiler; bu nedenle diyetisyenler bu yağ asitlerini içeren gıdaların tüketilmesini önermektedirler (Bazarsadueva & ark., 2021). Sucul organizmalar da, kardiyovasküler hastalıkların riskini azaltan $\omega 3$ LC-PUFA'dan DHA ve EPA baskın yağ asitlerini oluşturmaktadırlar. Ayrıca, beyin gelişimi, göz sağlığı ve olumsuz sağlık sonuçlarına neden olabilecek daha az sağlıklı kırmızı ve işlenmiş etlerin tüketiminin azalmasına ya da ortadan kaldırılmasına da olanak sağlayacakları düşünülmektedir (Rimm & ark., 2018).

Organizmanın ya da besin kaynağının yağ asidi bileşenlerinin belirlenmesi, yağ bileşenlerinin kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir kriterdir. Beslenmenin kalitesi gıdanın kalitesine bağlıdır ve günümüzde bu konu insan sağlığı açısından oldukça önemli bir hal almıştır (Kızılkaya & Üçyol, 2022). Tüm bunlar araştırmacıları sucul besin kaynaklarının besin kompozisyonunu ve kalitesini ortaya koymaya sürüklemektedir. Besin kalitesini ortaya koyarken de özellikle besinin lipid kalite indeksi olarak kullanılan yağ asitleri ön plana çıkmaktadır. Böylece sucul organizmaların besin kalitesi ortaya konulacak ve tüketimde ve üretimde tercih sebebi olacaktır.

1.Besin Kalite İndeksi Yağ Asitleri

Birçok farklı besin kaynağından elde edilen yağ asitlerinin insan sağlığı üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle gıdaların, gıda takviyelerinin ve bitkisel ilaçların besin ve/veya tıbbi değerlerini belirlemek için yağ asidi içeriğini belirlemek önemlidir (Chen ve Liu, 2020). İnsan vücudunda iki temel yağ asidi olan EPA ve DHA'yı üretmek için gerekli enzimler bulunmamaktadır ve bu yağ asitleri esansiyel özelliktedirler. Dolayısıyla, bu yağ asitlerinin besin yoluyla dış kaynaklardan elde edilmesi gerekir. Özellikle deniz balıkları DHA ve EPA bakımından zengin olmaları nedeniyle önemli besin kaynaklarıdır (Öksüz & ark., 2011; Ghaeni & Gahfarokhi, 2013). Sağlığa yararlı gıdalardaki yağ asitleri, besin değerinin niteliğini ve miktarını etkilemekte ve yüksek kaliteli yağ asitleri içeren gıdalar da ticari olarak daha çok önem kazanmaktadır. Özellikle de kalp sağlığına olan faydaları yadsınamaz (Garaffo & ark., 2011). Bunun yanında, balıklarda bulunan çoklu doymamış yağ asitlerinin (PUFA), felç riskini azaltarak, serum trigliserit düzeylerini düşürerek, kan basıncını ve insülin direncini azaltarak, glikoz metabolizmasını düzenleyerek insan sağlığı üzerinde önemli etkileri olduğu da ortaya konulmuştur (Duo & ark., 2003; Garaffo & ark., 2011; Kızılkaya & Üçyol, 2022; Cengiz & Kızılkaya, 2023). Son yıllarda özellikle ω 3 yağ asitleri üzerinde fazlaca durulmaktadır (Garaffo & ark., 2011). Ω 3 yağ asitlerinin birincil kaynağı da sucul ekosistemlerdir ve bu önemli esansiyel yağ asitlerinin (EFA) transferi besin ağlarında trofik transfer yoluyla karadaki organizmalara kadar ulaşır (Gladyshev & ark., 2013). Omega 3 gibi bazı omega yağ asitleri (ω 6, EPA+DHA... vb) ve diğer yağ bazı asitleri gıdaların lipit kalitesini ortaya koymada

besin kalite indeksi olarak kullanılmaktadırlar. Lipit kalite indeksi (LQI) olarak birçok araştırmacı (e.g. Fernandes *et al.*, 2014 ; Ramos-Filho & ark., 2008, Dağtekin & ark., 2018; Matos & ark., 2019; Şen Özdemir, 2023; Kızılkaya & Üçyol, 2022; Cengiz & Kızılkaya, 2023) tarafından kullanılan bazı indeksler şunlardır:

a.Aterojenite indeksi (AI):Aterojenite indeksi (AI), temel doymuş yağ asitlerinin toplamı ile temel doymamış yağ asitleri sınıfların toplamı arasındaki ilişkiyi gösterir. 18:0 dışındaki 12:0, 14:0 ve 16:0 doymuş yağ asitleri (SFA) lipitlerin dolaşım ve immün sistem hücrelerine yapışmasını kolaylaştıran proaterojenik olarak kabul edilirler (González-Félix & ark., 2016; Monteiro & ark., 2018; Omri & ark.,2019; Chen & Liu, 2020). Lipid alımına bağlı kardiyovasküler hastalıkları önlemek için AI düşük olmalıdır (Ulbricht & Southgate, 1991).

AI= [12:0 + (4×14:0) + 16:0]/ (ω3PUFA + ω6PUFA + MUFA)] (Ulbricht & Southgate, 1991; Garaffo & ark., 2011; Luczynska & Paszczyk, 2019).

b.Trombojenisite İndeksi (TI): TI, yağ asitlerinin trombojenik potansiyelini karakterize eder ve kan damarlarında trombüs oluşturma eğilimini gösterir. Protrombojenik (12:0, 16:0, 18:0) ve antitrombojenik yağ asitleri (MUFA, ω3PUFA, ω6PUFA) arasındaki ilişki olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle düşük TI değerlerine sahip gıda veya ürünlerin tüketilmesi kardiyovasküler sağlık açısından faydalıdır (Chen & Liu, 2020; Garaffo & ark., 2011; Ghaeni & ark., 2013). AI değerinde olduğu gibi kardiyovasküler hastalıkları önlemek için TI değerinde değişik olması gerekir (Ulbricht & Southgate, 1991).

(TI) = [14:0 + 16:0 + 18:0] / [(0.5 × 18:1) + (0.5 × ΣMUFA) + (0.5 × ΣPUFAω6) + (3 × ΣPUFAω3) + ΣPUFAω3 / ΣPUFAω6]
(Ulbricht & Southgate, 1991; Santos-Silva *et al.*, 2002; Garaffo & ark., 2011; Łuczyńska & Paszczyk, 2019).

c.Hipokolesterolemik/hiperkolesterolemik oran (h/H);

Yağ asidi bileşiminin kolesterol üzerindeki etkisini değerlendirmek üzere h/H indeksi geliştirilmiştir (Santos-Silva & ark., 2002). Diyetteki yağ asidi ve plazma LDL-C'sinin (lipoprotein kolesterolü-kötü kolestrol) düzenlenmesi üzerine olan h/H indeksi, hipokolesterolemik yağ asitleri (cis-18:1 ve PUFA) ile hiperkolesterolemik (14:0, 16:0) yağ asitleri arasındaki ilişkiyi karakterize eder (Dietschy, 1998; Chen & Liu, 2020). Yüksek h/H oranının, yüksek kaliteli lipitleri temsil eder (Kocatepe & ark., 2019)

$$\mathbf{h/H} = [(18:1 + 18:2 + 18:3 + 20:3 + 20:4 + 20:5 + 22:4 + 22:5 + 22:6) / (14:0 + 16:0)] \text{ (Santos-Silva \& ark., 2002).}$$

d.Et-Lipit Kalitesi (FLQ); ω3 PUFA (EPA + DHA) ile toplam lipitler arasındaki korelasyon yüzdesini gösterir. Yüksek FLQ değeri, diyetteki lipit kaynağının yüksek kalitede olduğunu gösterir. Hızla oksitlenen EPA ve DHA dikkate alınarak ürünün "tazeliliğini" belirlemek için bu indeksin kullanılması önerilir (Abrami & ark., 1992; Senso & ark., 2007; Murzina & ark., 2022). Daha çok balıkların besin kalite indeksini belirleme de kullanılır (Senso & ark., 2007; Abrami & ark., 1992; Krajnovi'c-Ozretic & ark., 1994; Chen & Liu, 2020).

(FLQ) = 100 * (EPA + DHA) / ΣFA (Abrami & ark., 1992; Senso & ark., 2007; Łuczyńska & Paszczyk, 2019).

e.Hypercholesterolaemic fatty acids (OFA):

Hiperkolesterolemi temel kardiyovasküler risk faktörlerinden biridir (Soran & ark., 2018). Bir besinde, 12:0, 14:0 ve 16:0 doymuş yağ asitlerinin oranı hiperkolesterolemi riskini gösterir. Bu yağ asitlerinin gıdalardaki yüksek oranı lipit kalitesini düşürür.

$$\text{OFA} = 12:0 + 14:0 + 16:0 \text{ (Łuczyńska \& Paszczyk, 2019)}$$

f.İstenilen yağ asitleri (DFA):

DFA doymuş yağ asitlerinden 18:0 ve tekli ve çoklu doymamış yağ asitlerinin (MUFA) toplamını ifade etmektedir. Oranın yüksek olması gıdanın kalitesinin göstergesidir.

$$\text{DFA} = 18:0 + \sum \text{MUFA} + \sum \text{PUFA} \text{ (Costa \& ark., 2008; Silva \& ark., 2019; Łuczyńska \& Paszczyk, 2019, Tibaoui \& ark., 2020).}$$

g.Doymamışlık endeksi (UI);

UI, lipitlerdeki doymamışlığın derecesini gösterir ve doymamış herbir yağ asitlerinin yüzdelerinin toplamının, o yağ asitlerindeki çift bağ sayısı ile çarpılmasıyla hesaplanır (Logue, 2000; Chen & Liu, 2020). SFA ve PUFA'dan farklı olarak, doymamış yağ asitlerinin farklı doymamışlık derecesine sahip olduğu ilkesinden hareket edilir. Genel olarak, gıda bileşenindeki toplam yağ asitlerinin bileşimindeki farklı doymamışlık derecelerindeki yağ asitlerinin oranını daha kapsamlı bir şekilde yansıttığı belirtilmektedir (Chen & Liu, 2020). UI, makroalgal yağ asitlerinin bileşimini belirlemek için yaygın olarak kullanılır. Makro alglerin balık veya balık yağı yerine yüksek kaliteli PUFA'nın alternatif kaynakları olarak kullanılabileceği yüksek kaliteli PUFA içeriğini değerlendirmek için bir standart olarak kullanılabilir (Kumari & ark., 2010).

(UI): $1*(\% \text{ monoenoik}) + 2*(\% \text{ dienoik}) + 3*(\% \text{ trienoik}) + 4*(\% \text{ tetraenoik}) + 5*(\% \text{ pentaenoik}) + 6*(\% \text{ heksoenoik})$ (Logue & ark., 2000; Chen & Liu, 2020)

h.Sağlığı teşvik eden indeks (HPI): HPI, ilk olarak besinlerdeki yağ asiti kompozisyonun kalp-damar hastalıkları üzerindeki etkisine odaklanan Chen & ark., (2004) tarafından, diyet yağının lipid değerini belirlemek için geliştirilmiştir. HPI, IA'nın tersidir ve daha çok süt ürünlerinde besin kalite indeksi olarak kullanılır (Chen & Liu, 2020).

HPI : $\text{SFA}/[12:0 + (14:0 \times 4) + 16:0]$ (Chen & Liu, 2020)

ı.Polien (Peroksitlenebilirlik) indeksi (PI): PI, PUFA'nın bozulma düzeyini gösterir. Bir dokunun yağ asidi bileşimi ile oksidasyona duyarlılığı arasındaki ilişkiyi temsil eder (Erickson, 1992).

PI: $(20:5 + 22:6)/16:0$ (Lubis & Buckle, 1990; Küçükgülmez & ark., 2018).

i.Çoklu doymamış yağ asitleri/doymuş yağ asitleri oranı (PUFA/SFA): PUFA/SFA oranı diyetin kardiyovasküler sağlık üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılan bir indekstir. Diyetteki tüm PUFA'ların düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterolü (LDL-C) ve daha düşük serum kolesterol seviyelerini baskılayabildiğini ve tüm SFA'ların yüksek serum kolesterol düzeylerine katkıda bulunduğunu varsaymaktadır. Dolayısıyla bu oran ne kadar yüksek olursa etki de o kadar olumlu olur (Liu & Chen, 2020). PUFA/SFA oranı 0.45'in altında olan gıdalar, kanda kolesterol artışını tetikleme potansiyelleri nedeniyle insan diyeti için istenmeyen gıdalar olarak kabul edilmektedirler (Kromhout, 2001).

Batı diyetlerinde bu oran yaklaşık 0.6 olup, bu oranın 1.0'a yükseltilmesinin sağlık açısından büyük fayda sağlayacağı öne sürülmektedir (McLennan & Abeywardena, 2005).

$$\text{PUFA/SFA} = \frac{\sum \text{PUFA}}{\sum \text{SFA}}$$

e.Eicosapentaenoik asit and dokosaheksaenoik asidin toplamı (EPA+DHA): EPA+DHA dünya çapında tanınan bir indekstir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (UN FAO) göre önerilen miktar 0.25-2.00 g/gün'dür. Karasal bitki ve hayvanlardaki EPA ve DHA içeriğinin düşük olması nedeniyle bu indeks çoğunlukla deniz ürünlerinde bulunur. Özellikle de balıkların besin değerini değerlendirmek için kullanılır ve bu da onu deniz ürünleri için önemli bir besin indeksi haline getirmiştir.

Yetişkin hamile ve emziren kadınlar için, en uygun yetişkin sağlığı ve fetal ve bebek gelişimi için minimum alım miktarı 0.30 g/gün EPA+DHA'dır ve bunun en az 0.20 g/gün DHA olmalıdır (FAO, 2008). Dünya Sağlık Örgütü bu yağ asitlerinin 200-500 mg/gün tüketilmesini önermektedir (WHO, 2016). Benzer şekilde İngiliz Beslenme Vakfı da (BNF, 1992) dengeli ve sağlıklı beslenmeye önem veren kişilerin her gün 0.20 g EPA+DHA alması gerektiğini vurgulamıştır.

j.Çoklu Doymamış Omega 6 Yağ Asitleri/ Çoklu Doymamış Omega 3 ($\omega 6/\omega 3$): İnsan beslenmesindeki $\omega 6/\omega 3$ oranı 15:1-40:1 arasında değişmektedir ve bu, kronik hastalıkların görülme sıklığının artmasıyla ilişkilidir. Bu nedenle $\omega 3$ 'ün arttırılması ve $\omega 6/\omega 3$ oranının düşürülmesi için $\omega 6$ tüketiminin azaltılmasının insan sağlığına faydalı olduğu ileri sürülmektedir (Fernandes & ark., 2014). Ek olarak, $\omega 6/\omega 3$ oranının CRC

(kolorektal kanser), PC (Pankreas kanseri) ve BC (meme kanseri) riskini gösteren bir indekstir. Burada, diyetle $\omega 6$ 'nın fazlalığı değilde daha çok $\omega 3$ 'ün azlığı bu riski artırmaktadır (FAO, 2008). Husted & Bouzinova (2016), $\omega 6/\omega 3$ oranındaki yağ asitleri ile depresyon gelişimi arasındaki ilişkiyi değerlendirmiştir. Membran $\omega 6/\omega 3$ oranının artmasının depresyon patogeneğinde rol oynadığına dair güçlü göstergelerin bulunduğunu ve şimdiye kadar $\omega 3$ takviyesinin olumlu etkiler gösterdiği klinik denemelerle belirlenmiştir (Husted & Bouzinova, 2016), Dolayısıyla artan $\omega 6/\omega 3$ PUFA oranı, majör depresif bozuklukta proinflatuar sitokinlerin salgılanmasının aktivasyonu ve düşük dereceli inflamasyonun aktivasyonu yoluyla HPA (Hipotalamik-hipofiz-adrenal) ekseninin artan aktivitesine katkıda bulunmaktadır (Gonçalves & ark., 2020). Bu nedenle, yüksek oranda kırmızı et, rafine un ve endüstriyel ürünlerden oluşan, dolayısıyla yüksek düzeyde $\omega 6$ ve düşük düzeyde $\omega 3$ içeren batı diyeti dengesiz bir beslenme olarak kabul edilir. Bu nedenle $\omega 6/\omega 3$ oranını azaltmak için $\omega 3$ tüketiminin artırılıp $\omega 6$ tüketiminin azaltılmasının sağlığa faydalı olduğu öne sürülmektedir (Kris-Etherton, Fleming & Harris, 2010).

k.Linoleik asit (LA)/Alpha-linolenik asit oranı (ALA) (18:2 $\omega 6$ /18:3 $\omega 3$):Yetişkinlerin dokularında $\omega 3$ LC-PUFA'ların sentez oranı bebeklere göre daha düşüktür. Bu nedenle diyetdeki LA/ALA oranının yetişkinler üzerinde çok fazla etkisi yoktur ve bebek mamalarının besin değerini değerlendirirken daha yüksek bir referans değerine sahiptir (Chen & Liu, 2020). Daha çok süt ve süt ürünlerinin besin kalitesini belirlemede kullanılan bir indekstir (Mierlita, 2018; Sharma & ark., 2018).

1.Trans yağ asitleri (TFA) : İnsan gıdalarının çoğunda doymamış yağ asitleri cis konfigürasyonuna sahiptir. Ancak, trans yağ asitleri de insanların gıdalarında da bulunur (Liu & Chen, 2020). Özellikle de endüstriyel ürünlerde trans form yağ asitleri bulunmaktadır. Gıda ve İlaç İdaresi (HHS) (2018)'ne göre TFA, trans konfigürasyonunda bir veya daha fazla izole edilmiş (yani konjuge olmayan) çift bağ içeren tüm doymamış yağ asitlerinin toplamı olarak tanımlanır. TFA hiçbir hayati fonksiyonda olumlu bir rol oynamaz. Aksine TFA alımı insan sağlığına zarar verebilir (EFSA, 2020). Dünya Sağlık Örgütü (WHO)/FAO'nun besin alımı hedeflerine göre, TFA alımı toplam enerjinin % 1'inden azını oluşturmalıdır. Birleşik Krallık'ta önerilen TFA alımı ise, toplam günlük enerjinin % 2'sinden veya günde 5 g'dan azdır (Liu & Chen, 2020). TFA indeksi deniz alglerinde (Paiva & ark., 2016), kuzu eti (Brognia & ark., 2011), süt (Ivanova & Angelov, 2017), balık (Skalecki & ark., 2020) ve bitkisel yağda (Farajzadeh & ark., 2020; , Mishra & Sharma, 2014) kullanılmaktadır.

2.Besin Kalite İndeksi Yağ Asitlerinin Sucul Organizmalarda Kullanımı

Lipitler ve içerdikleri yağ asitleri bir organizmanın normal işleyişini güvence altına alan çok işlevli ve fizyolojik açıdan değerli temel bileşenlerdir (Krebs, 1981; Murzina & ark., 2020). Lipit sınıflarındaki çeşitliliğe en büyük katkı, yağ asidi bileşenleri tarafından yapılmaktadır (Lehninger & ark., 1993). Hayvansal bir organizmanın esansiyel çoklu doymamış yağ asitlerini ($\omega 3$ ve $\omega 6$ PUFA) almasının tek yolu gıdadır (Massey & Nicolaou, 2011). Sucul ekosistemlerdeki organizmalar, $\omega 3$ yağ asitlerinin birincil kaynağıdır. Dolayısıyla, bu önemli esansiyel yağ asitleri (EFA)

besin aşlarında trofik transfer yoluyla karadaki organizmalara aktarılır (Gladyshev & ark., 2013). Bu aktarımın ilk basamağını da su kaynaklarındaki bitkisel organizmalar (fitoplankton) oluşturur. Sucul ekosistemlerin temeli, güneş ışığının (fotosentez) yardımıyla inorganik karbonu (CO₂) sabitleyen tek hücreli fitoplanktonlar olan birincil üreticilere dayanır. Karbon, fitoplankton içerisinde glikoz formunda sabitlenen, fitoplankton hücresinin yapı taşlarını oluşturan, esas olarak fosfor ve/veya nitrojen ile birleştirilmiş çeşitli tipte moleküler bileşenlere yönlendirilir. Bu yapı taşları protein, lipitler ve karbonhidratlardır ve kopepodlar ve kriller gibi ikincil üreticilerden başlayarak onların büyümelerini, üremelerini, formda olmalarını ve hayatta kalmalarını kontrol ederek sucul ekosistemlerdeki üst trofik seviyelerin beslenme temelini oluştururlar. Fitoplankton bazlı lipitleri konsantre etme ve depolama yeteneğine sahip olan zooplanktonun (Sargent & Peterson 1988), bu temel besin bileşiklerini balıklara, deniz kuşlarına, deniz memelilerine ve nihayetinde insanlara yönlendiren önemli trofik vektörler oldukları anlamına gelir (Jónasdóttir, 2020).

2.1. Yenilebilir Alglerdeki Yağ Asitleri

Binlerce yıldır insan beslenmesinin bir parçası olan, makroalg ve mikroalg gıdalara yönelik küresel talep gittikçe artmakta ve alğler, geleneksel beslenme ve sağlık hususlarının ötesinde fonksiyonel faydalar için giderek daha fazla tüketilmektedirler (Wells & ark., 2017; Craigie, 2010). Algler, besin değerlerinin yanı sıra giderek daha fazla "fonksiyonel gıdalar" veya "nutrasötikler" olarak pazarlanmaktadırlar. Pek çok ülkede alg teriminin yasal bir statüsü olmamasına rağmen temel beslenme rollerinin ötesinde sağlığa fayda sağlayabilecek biyoaktif bileşikler

veya fitokimyasallar içeren gıdalar olarak tanınmaktadırlar (örn. antiinflamatuvar hastalıkların önlenmesi) (Hafting & ark., 2012).

Mikroalgler, sürdürülebilir bir temel ve biyoaktif lipid kaynağı olarak kabul edilirler (Katiyar & Arora, 2020). Dahası, yağ asidi profilleri ve bollukları bakımından oldukça çeşitlidirler ve bu da sömürülebilir potansiyele sahip olduklarını göstermektedir (Maltsev & Maltseva, 2021). Modern diyetler genellikle esansiyel ve sağlıklı yağ asitlerinin alımında bir dengesizliğe sahiptir (Mero & ark., 2019). Bu anlamda, mikroalgler, 21. yüzyılın kronik hastalıklarının küresel yükünün önlenmesi için önemli yeni gıdalar olarak kabul edilmektedirler (Moraga & GBD, 2016; FAO.WHO, 2019) ve bu nedenle sağlıklı ve sürdürülebilir diyetlere dahil edilmelidirler (Wells & ark., 2017; Koyande & ark., 2019). Mikroalg alımına yönelik öneri aynı zamanda su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilir üretimleriyle de desteklenmektedir (Vuppaladadiyam & ark., 2018), çünkü su veya toprakla rekabet etmez ve sonuç olarak diğer karasal bitkilerle rekabet etmez, okyanus kirliliğini ve deniz kaynaklarının aşırı kullanımını azaltır (Khan & ark., 2018). Mikroalgler, gıda, içerik maddeleri veya takviyeler, yem veya farmasötik ürünler ve güvenli biyokütle ve tekrarlanabilir besin ve sağlık değeri olan bileşenler üreten tek hücreli fabrikalar olma avantajına sahiptirler (Adarme-Vega & ark., 2012).

Farklı mikroalgler arasında gözlemlenen bazı yaygın yağ asitleri vardır; örneğin hegzadekanoik asit (16:0) ve oleik asit (18:1). Bazı mikroalgler ω 3 yağ asitleri açısından zengindirler ve genellikle bu sağlıklı lipidlerin ana üreticileri olarak kabul edilir ve balıklara alternatif bir besin kaynağı olarak kabul edilirler (Adarme-Vega & ark., 2012). Ayrıca, mikroalgler doğrudan EPA sağlarlar ve bu

nedenle bu sağlıklı ve biyoaktif yağ asitlerinin doğrudan kaynağıdır (Doughman & ark., 2007).

Gıda olarak kullanılan başlıca mikroalg türleri *Chlorella* spp., *Arthrospira* sp. ve '*spirulina*' dır (Boukid & Castellari, 2021). Günümüzde gıda endüstrisinde kullanılan mikroalglerin çoğu, tipik olarak gıda takviyesi olarak *Chlorella vulgaris*, *Odontella aurita* ve *Spirulina* ile deniz ürünlerinden tatlandırıcı madde olarak kullanılan *Tetraselmis chui*'dir (Caporgno & Mathys). Mikroalglerde yüksek miktarda $\omega 3$ yağ asitleri bulunması, bunların gıda ürünleri ve gıda bileşenleri olarak değerlendirilmesi için gereklidir (Remize & ark., 2021). Omega3 yağ asitleri oksidasyona duyarlıdır ve bu nedenle bozulmayı önlemek için gıda koruyucuları olarak çalışabilir (Ismail & ark., 2016). Bununla birlikte, mikroalgler üzerine yapılan bireysel çalışmalar, bunların sağlıklı lipidlerinin (Conde & ark., 2021a; Couto & ark., 2020; da Costa & ark., 2020), örneğin farklı filumlardan farklı mikroalglerden gelen yağ asitlerinin antioksidan potansiyelini vurgulamış ve tanımıştır (Conde & ark., 2021b).

Yıllar geçtikçe, çok sayıda çalışma mikroalglerin farklı yağ asitleri profillerine sahip olduğunu bildirmiştir; bunlardan bazıları alg kullanımı ve besin değerinin belirlenmesinin yanı sıra taksonomik sınıflandırmalar için de önemli kabul edilmektedir (Lang & ark., 2011). Mikroalgler uzun süredir LC-PUFA'ların üretimi için sürdürülebilir kaynaklar olarak değerlendirilmektedirler. Memelilerden ve tohumlu bitkilerden farklı olarak bu organizmaların çoğu, LC-PUFA'ların üretimi için gerekli enzimlere sahiptirler. Bazı mikroalgler daha düşük seviyelerde $\omega 3$ yağ asitleri üretse de, $\omega 3$ üretimi aynı zamanda çevredeki ortama da bağlı olduğundan (Hamilton & ark., 2015), bu

miktarlar yetiştirme koşulları değiştirilerek artırılabilir (Gladsev & ark., 2019). Bu nedenle mikroalglerde yağ asiti profilinin karakterizasyonu büyük önem taşımaktadır (Conde & ark., 2021). Bunun için, mikroalglerin tam potansiyelini araştırmak için, ilgilenilen türlerin seğilmesi amacıyla bir fitoplankton biyoçeşitliliği taraması yapılmıştır (Lupette & Marechal, 2018). Bunun sonucunda, birkaç yüz mikroalg türünün yağ asiti kompozisyonunun taranması yapılıp, tamamlanmıştır (Lang & ark., 2011) ve ARA, EPA ve DHA bakımından zengin olan mikroalg grupları ve türleri belirlenmiştir. ARA bakımından zengin olanlar, Trebouxiphyceae'dan *Lobosphaera incisa* (Bigogno & ark., 2002); Porphyridiophyceae'dan *Porphyridium purpureum* (Lang & ark., 2011; Beisson & ark., 2019); EPA açısından zengin olanlar Bacillariophyceae'den *Phaeodactylum tricornutum* (Jouhet & ark., 2017); *Porosira glacialis* (Artamonova & ark., 2017); Eustigmatophyceae'den *Nannochloropsis gaditana* (Jouhet & ark., 2017), *Monodopsis subterranea* (Vazhappily & Chen, 1998; Kryvenda & ark., 2018); Xanthophyceae'dan *Heterococcus chodati* (14); Trebouxiphyceae'dan *Nannochloris* spp. (Lang & ark., 2011; Beisson & ark., 2019) ; DHA bakımından zengin olanlar ise, : Labyrinthulomycetes'den *Auranthiochytrium limacinum* CCAP 4062/1; *Hondaea fermentalgiana* CCAP 4062/3 (Delloro & ark., 2018); Thraustochytrium sp. 26185 (Meesapyodsuk & Qiu, 2016); Schizochytrium sp. HX 308 (Ren & ark., 2018); Dinophyceae' den *Cryptocodinium cohnii* (Vazhappily & Chen, 1998); *Amphidinium carterae* (Li-Beisson & ark., 2019) olarak kaydedilmiştir. Aslında, ω3 ve diğer yağ asitlerinin miktarı mikroalgler arasında farklılık göstermektedir. *Phaeodactylum tricornutum* ve *Nannochloropsis* sp. gibi diatom ve Eustigmatophytes taksonları EPA'nın önemli

sentezleyicileri iken Dinophytes, Haptophytes ve Thraustochytrids taksonlarına ait mikroalglerin DHA üreticileri olduğu düşünülmektedir (Peltomaa & ark., 2017; Peltomaa & ark., 2019; Jónasdóttir, 2019). Siyanobakterilerde (örn. *Spirulina platensis*) ve Klorofitlerde (örn. *Chlorella vulgaris*) ω 3 LC-PUFA (EPA ve DHA) üretimi ihmal edilebilir düzeyde kabul edilir ve *C. vulgaris* de ilginç miktarlarda ALA veya stearidonik asit (18:4 ω 3) içermektedir (Taipale & ark., 2020). Bunun yanında tatlısu mikroalgleri ile deniz mikroalgleri arasında da farklılıklar görülmektedir. Peltomaa & ark. (2019) en yüksek toplam ω 3 PUFA konsantrasyonlarını tatlı su mikroalglerinin suşlarında tespit etmişlerdir. Diatomlarda, tüm yağ asitlerinin toplam değeri tatlı su türlerinde en yüksek, deniz türlerinde ise en düşük olduğu ve deniz diatomlarının bir mg kuru ağırlıktaki (mg/DW) toplam yağ asidi içerikleri, mikroalgler için daha önce bildirilen konsantrasyonlarla (12-40 μ g) (Patil & ark., 2007) karşılaştırıldığında aslında şaşırtıcı derecede düşük (2.6–11.4 μ g) olduğu bildirilmiştir (Peltomaa & ark., 2019). Aynı çalışmada acı su diatom türlerinde toplam yağ asitleri (14.4-50.0 μ g) daha önce bildirilenlere yakın olduğu (Patil & ark., 2007), ancak tatlı su türlerinde oldukça yüksek (53.8-133.9 μ g) olduğu da vurgulanmıştır. Diatomların besin değerinin, büyümenin farklı aşamalarında büyük ölçüde farklılık gösterdiği gösterilmiştir (Chen & Liu, 2012; Barofsky & ark., 2012). Diatomların toplam yağ asidi içeriğinde meydana gelen farklılıkların nedeni farklı büyüme aşamalarında olmalarına bağlanmıştır. Toplam yağ asidi içeriği, deniz ve acı su habitatlarından gelen iki *Skeletonema marinoi* suşu arasında farklılık göstermemiştir. Ancak tatlı su *Diatoma tenuis* türünde yağ asidi içeriği acı su *Diatoma tenuis* türüne göre önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur (Peltomaa & ark., 2019). Aynı çalışmada

dinoflagellatların toplam yağ asitlerinde de sıralama tatlı su > deniz > acı su şeklinde bildirilmiştir. Deniz ve acı su dinoflagellatlarındaki toplam yağ asiti miktarı (44.3 µg; 27.1-83.3 µg, sırasıyla) toplam yağ asidi konsantrasyonları, mikroalgler üzerine yapılan daha önceki çalışmalarla (12-40 µg) karşılaştırılabilir nitelikteydi (Patil & ark., 2007). Diatomlarda olduğu gibi dinoflagellatlarda da toplam yağ asidi konsantrasyonları tatlı su türlerinde en yüksektir (136.5 µg). Dinoflagellatlar arasında, deniz türü *Apocalathium malmogiense*'nin, acı su türü *A. malmogiense*'den daha düşük bir toplam yağ asidi içeriğine de sahip olduğu vurgulanmıştır. Bunun yanında, deniz diatomu *Phaeodactylum tricornutum* da, EPA ω3 LC-PUFA'nın % 30'una kadar biriktirebileceğine işaret edilmiştir. Bu nedenle, EPA'nın endüstriyel üretimi için *Phaeodactylum tricornutum* iyi bir kaynak olarak kabul edilmektedir (Draaisma & ark., 2013; Chauton & ark., 2015; Hamilton & ark., 2015).

Son araştırmalar mikroalglerin sebze kremalarına (Boukid & ark., 2021), atıştırmalıklara (Tork & ark., 2022) ve makarnaya (Bazarnova & ark., 2021; Ainsa & ark., 2022) başarılı bir şekilde katılabileceğini ortaya koymuştur. Boukid & ark. (2021) spirulina, *Chlorella vulgaris*, *Tetraselmis chui* ve *Nannokloropsis oceanica* tek hücreli bileşenler kullanarak yüksek proteinli bitkisel kremalar geliştirmişlerdir. Alg katımı, kremanın besin kalitesini artırmıştır (% 1.5-% 3). Ancak türe ve ekleme düzeyine bağlı olarak kremaların fizikokimyasal ve reolojik özelliklerini farklı derecelerde etkilediği vurgulanmıştır. Bazarnova & ark. (2021) makarnalık buğdaydan yapılan makarnaya % 5 oranında *Chlorella sorokiniana* katmışlardır; ve besin kalitesini (proteinler, lipitler, klorofil ve karotenoidler) iyileştirdiği ve son ürüne doğal bir kırmızı renk

sağladığı görülmüştür. Deniz yosunlu makarna ile % 100 durum buğdaylı makarna karşılaştırıldığında deniz yosunu (% 3 *Ulva lactuca*, *Porphyra tenera* ve *Undaria pinnatifida*) eklenmesinin, makarnanın besin değerini artırdığı görülmüştür. Genel olarak, belirli alg sınıfları kayda değer miktarlarda çok uzun zincirli PUFA (VLC-PUFA) içerir (Harwood & Jones, 1989; Lupettea & Benning, 2020). Algler özellikle insan sağlığı üzerinde yararlı etkileri olduğu bilinen ω 3 VLC-PUF'ları sentezleme yeteneğine sahiptirler. Aslında VLC-PUFA'lar, insanlarda inflamatuvar süreçlerin karmaşıklığında yer alan birçok sinyal molekülünün de öncüleridir (Lupettea & Benning, 2020). Omega3 ve omega6 gibi VLC-PUFA'lar, retina içindeki membran stabilitesi ve hücre sinyalleme için kritik öneme sahiptirler. Bunlar aynı zamanda, prostaglandinler ve lökotrienler gibi önemli inflamatuvar düzenleyicilerin de öncü molekülleridir (Nwagbo & Bernstein, 2023). Omega3 yağ asitleri insanlarda ve diğer memelilerde merkezi sinir sistemi için önemli besinler (Czyż & ark., 2016; Innis, 1991), antioksidan bileşikler ve anti-inflamatuvar eikosanoidlerin öncüleri olarak kabul edilirler (Wall & ark., 2010). Dolayısıyla nörodejeneratif hastalıkların ve hafıza kaybının önlenmesinde (Eckert & ark., 2013; Thomas & ark., 2015) ve inflamasyonun düzenlenmesinde (Wall & ark., 2010) önemli rol oynarlar. Kronik inflamasyonu önlemek ve hafifletmek için ω 3 kullanımı, kalp-damar hastalıkları, diyabet ve obezite gibi dünyada bulaşıcı olmayan ancak en fazla ölümlere sebep olan hastalıkların prevalansının azaltılması için de bir fırsat sunmaktadırlar (Conde & ark., 2021a).

Literatüre göre, yağ asitleri ve pigmentler esas olarak mikroalglerin biyokütlesinden elde edilmektedir. Bu açıdan

makroalgler daha az önem verilmiştir (Messyas & ark., 2018). Ancak besin kaynağı olarak kullanılan diğer bir alg grubu da, düşük trofik seviyelerden veya denizden elde edilen gıda bileşeni olarak, muazzam bir artış potansiyeline sahip olan makroalglerdir. Makroalg denildiğinde daha çok deniz yosunları anlaşılmaktadır. Gelecekte, makroalglerin, sürdürülebilir döngüsel biyoeconomide artan bir rol oynayacağı düşünülmektedir (Løvdal & Skipnes, 2022).

Makroalg yetiştiriciliği kütle bazında balıklardan 16 kat daha büyüktür ve bu da makroalgleri su ürünleri yetiştiriciliğinde açık ara en büyük grup haline getirmektedir. Yine de makroalg pazarı Asya ve özellikle Çin dışında dünya genelinde az gelişmiş durumdadır. Makroalgler insan sağlığı üzerindeki faydalı etkileri olan önemli bir mineral, iyot, vitamin ve PUFA kaynağıdır (Løvdal & Skipnes, 2022). Balık, PUFA'nın en önemli ticari kaynağıdır, ancak PUFA için balığa alternatif kaynaklar araştırılmaya devam etmektedir (Caf & ark., 2015). Son yıllarda makroalgler PUFA açısından en dikkate değer kaynaklar arasında yer almaktadırlar (Ersoy Korkmaz, 2023). Deniz yosunu PUFA'ları hoş olmayan balık kokusu göstermez. Bu nedenle deniz yosunu yağ asitleri önemli bir PUFA kaynağı olabilir (Zhao & ark., 2021). Bazı son araştırmalar makroalglerin hayvan besleme de etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedirler (Wan & ark., 2019; Zhao & ark., 2021; Morais & ark., 2020; Løvdal & Skipnes, 2022; González-Meza & ark., 2023). Geleneksel olarak su ürünleri yemlerinde kullanılmakla birlikte yem pazarındaki talepleri de gıda talebine paralel olarak artmaktadır. Deniz yosunları PUFA, antioksidanlar (polifenoller) ve pigmentler (klorofiller ve karotenoidler) gibi biyolojik olarak aktif bileşikler içerirler; bunlar antibakteriyel, antifungal, antiviral, antioksidan ve antiinflamatuvar

etkiler gibi faydalı özelliklere sahiptirler ve prebiyotik görevi görürler (González-Meza & ark., 2023). Bu da onların gıda olarak tüketilmesini teşvik eden unsurlar olarak kabul edilirler.

Son zamanlarda makroalg lipitleri sağlık açısından birçok faydalarından dolayı artan bir ilgi görmektedirler (Miyashita & ark., 2013; Miyashita & ark., 2011). Makroalgler düşük lipit içeriğine sahip olmasına rağmen (kuru ağırlık başına ağırlıkça % 1-5 toplam lipit), deniz sularındaki bolluklarından dolayı önemli bir lipit kaynağıdır (Miyashita & ark., 2013). Genellikle yüksek miktarlarda oleik asit, palmitik asit ve PUFA içerirler. C18 ve C20 çoklu doymamış yağ asitleri özellikle bağışıklık, kardiyovasküler ve üreme fonksiyonlarındaki önemli rollerinden dolayı insan ve tüm hayvanların beslenmesinde esansiyeldirler (Yazıcı ve ark., 2007). Bununla birlikte, makroalg biyokütlesel olarak çokluğunun yanında esansiyel özellikteki PUFA'lar açısından da zengin bir kaynaktır (ω 3: EPA, DHA; ω 6: γ -linolenik asit (GLA) ve ARA) (Van Ginneken & ark., 2011; Pereira & ark., 2012).

Deniz yosunları, Chlorophyta (yeşil algler), Phaeophyta (kahverengi algler) ve Rhodophyta'yı (kırmızı algler) içeren makrofitik alglerdir (Ganesan & ark., 2020). Farklı makro alg gruplarının yağ asiti içerikleri de farklılık göstermektedir. Örneğin yeşil alg türleri, kırmızı ve kahverengi alglere göre önemli ölçüde daha yüksek oranda PUFA ve önemli ölçüde daha düşük oranda SFA içerirler (Yazıcı & ark., 2007). Diğer alglerle karşılaştırıldığında kahverengi algler, insan sağlığına faydalı olan PUFA'yı daha fazla içermektedirler (Zhao & ark., 2021) Ayrıca, kahverengi algler genellikle araşidonat (ARA) açısından zengindirler (Harwood & Jones, 1989). Kırmızı algler ise önemli ölçüde EPA içerirler. Bazen

EPA (% 18-49), ARA (%1.4-22.5) ile birlikte (*Chondrus crispusta* olduğu gibi) (Fleurence & ark., 1994) veya olmadan (EPA'nın toplam yağ asitlerinin yarısını temsil edebildiği *Palmaria palmata*'da olduğu gibi) (Fleurence & ark., 1994; Van Ginneken & ark., 2011) ortaya çıkmaktadır. Kahverengi algler (*Laminaria saccharina*, *Laminaria digitata*, *Fucus vesiculosus*, *Undaria pinnatifida*, *Halidrys siliquosa*) 18:1ω9, 18:2ω6 ve 18:3ω3 gibi yüksek içeriğe sahipken, 20:5ω3 gibi düşük bir içeriğe sahiptirler. Yeşil alglerin (*Ulva rotundata*, *Enteromorpha intestinalis*), yüksek 16:0, 18:1ω7 ve 18:3ω3 içeriğine ve çok düşük PUFA içeriğine ve 16:2ω6 ve 16:3ω3 ile birlikte yüksek oranda 16:4ω3 de içerdikleri vurgulanmıştır. Kırmızı alglerden *Porphyra umbilicalis* 20:5ω3'ün en zengin kaynağını temsil ederken, kahverengi alglerden *Undaria pinnatifida* ω6 ve ω3 PUFA'nın dengeli bir karışımını temsil etmektedir (Fleurence & ark., 1994). Ayrıca, kırmızı alglerden *Agarophyton tenuistipitatum* ve yeşil alglerden *Valonia aegagropila* da kahverengi alglerden nispeten daha yüksek SFA içeriğine sahiptir. Dolayısıyla, bu algler tıbbi amaçlarla ve sağlık ürünlerinde ve diğer biyolojik ajanlar için kullanılma potansiyeline sahiptirler (Zhao & ark., 2021).

Marmara Denizinde *Ulva Lactuca*, *Cystoseira Barbata*, *Ceramium Rubrum* makroalgleri üzerinde Ersoy Korkmaz (2023) tarafından yapılan bir çalışmada Palmitik asit (16:0) ve oleik asitin (18:1) bu türlerde en fazla bulunan yağ asitleri olduğu belirlenmiştir. İnsanlar için esansiyel olan ve beslenme açısından önemli olan linoleik asit ve α-linolenik asit bu türlerin hepsinde tespit edilmiştir. Bunun yanında, bu alg türlerinde insan sağlığı açısından önemli olan ω6/ω3 oranı Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlediği 1.0

değerinin altında (0.55-0.70; *Ulva lactuca*- *Cystoseira barbata*) bulunmuştur. Yazıcı & ark., (2007) ω6/ω3 oranını Karadeniz'deki *Cystoseira barbata* türleri için 2.4 Çanakkale Boğazı'ndakiler içinse 0.57 olarak bildirmişlerdir.

Makro alg denildiğinde daha çok deniz makro algleri anlaşılrsa da tatlısu su makroalgleri de atık suların temizlenmesinden (Lawton & ark., 2017) insanların beslenmesine (Tipnee & ark., 2015) kadar birçok alanda kullanılmaktadırlar. Ancak, özellikle gıda olarak kullanım alanları deniz makro algleri kadar yaygın değildir.

Tatlı su makroalgleri biyoaktif doğal maddelerin önemli kaynaklarıdır. Tatlı su makroalgleri, yapısal olarak yeni ve biyolojik olarak aktif metabolitlerin zengin kaynaklarıdır. Bu organizmalar tarafından üretilen birincil veya ikincil metabolitler, farmasötik endüstrisinde ilgi duyulan potansiyel biyoaktif bileşiklere sahiptirler (Kamenarska & ark., 2000). Yeşil alglerden olan *Spirogyra* tatlısu makro algi, besin maddesi açısından yoğun bir gıdalar ve yararlı kimyasalların kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, % 18 oranında toplam lipit içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Tipnee & ark., 2015). 18:1ω9 sadece deniz makroalglerinde değil, tatlı su makroalgi *Cladophora glomerata*'da da en yüksek değerine ulaşmıştır (Messyasz & ark., 2018).

2.2. Balıklardaki Yağ Asitleri

Balık, kaliteli yağlar, protein, vitaminler ve mineraller gibi faydalı besin maddelerinin zengin bir bileşimine sahip olması nedeniyle yüksek besin kaliteli en önemli gıdalar arasında yer almaktadır. Yüksek sindirilebilirlik, aminoasit, vitamin ve mineral zenginliği, balık yağının beslenme fizyolojisindeki önemi gibi

faktörler balık etini insan beslenmesinde değeri yüksek bir gıda maddesi haline getirmektedir (Göğüş & Kolsarıcı, 1992; Shahidi ve Botta, 1994). Balık tüketiminin insan sağlığı üzerindeki faydalı etkileri, diğer faktörlerin yanı sıra, yüksek miktarda $\omega 3$ yağ asitleri, özellikle de EPA ve DHA ile ilişkilidir. (Zlatanov & Laskaridis, 2007; Leaf & ark., 2003). EPA ve DHA'yı içeren balık veya balık yağı tüketimi, kardiyovasküler ölüm riskini azaltmaktadır. Buna karşın bitkisel yağdan türetilen $\omega 3$ α -linolenik asit tüketiminin o kadar etkili olmadığı görülmektedir (Breslow, 2006). Uzun zincirli yağ asitleri, sağlığa faydalı olan $\omega 3$ ve $\omega 6$ LC-PUFA antiinflamatuvar özelliklere sahiptirler ve kardiyovasküler hastalık, kanser, hipotrigliseridemi riskini azaltarak, HDL kolesterolü (İyi kolestrol) artırmaktadırlar (Williams, 2000; Raatz & ark., 2013). Ayrıca, karotenoidler, A, D, E, C vitaminleri ve çinko, selenyum ve demir gibi besinlerle birlikte bağışıklık sistemi aktivitesini de etkilemektedirler (Krysik & ark., 2006). Laurik (12:0), miristik (14:0) ve palmitik (16:0) asit gibi doymuş yağ asitleri LDL-kolesterol konsantrasyonunu artırmaktadırlar (Mensink & ark., 2003; EFSA, 2010). Stearik asit (18:0) nötr veya hipokolesterolemiktirler (Yu & ark., 1995; FAO, 2008). PUFA en güçlü hipokolesterolemik etkileri ortaya çıkarır (Kris-Etherton ve Yu, 1994). Balıkların aynı zamanda besin zincirinde esansiyel öneme sahip bu yağ asitlerinin alt trofik basamaklardan gıda yoluyla insana kadar taşınmasını sağlayan önemli bir ekolojik halka olduğu da iyi bilinmektedir (Koussoroplis & ark., 2011; Scharnweber & ark., 2021; Góra & ark., 2022).

Yağ ve yağ asitlerinin içeriği hem türler arasında hem de türler içinde farklılık göstermektedir (Łuczynska & ark., 2008).

Balık lipidlerinin yağ asiti bileşimindeki (ve özellikle spesifik PUFA'nın) türler içinde ve türler arasındaki mevcut değişkenliği genellikle çok sayıda dış faktörün (çevre, yetiştirme yöntemi, tropik etkiler) ve iç faktörlerin (balık türleri, beslenme rejimi ve sindirimi, yaşam döngüsü aşaması, lipidtriasigliserollerin, fosfolipitlerin niceliksel ve niteliksel özellikleri ve bunların topografik kökeleri - kas dokusunun dorsal ve ventral kısmı) varlığıyla açıklanmaktadır (Ugoala & ark., 2008).

Deniz balıkları ve tatlısu balıkları yağ asitleri arasında da farklılıklar mevcuttur ve bu farklılık onların tüketilme özelliklerine de yansımaktadır. Deniz balıklarının daha yararlı olduğu konusunda yaygın bir bilgi bulunmaktadır. Birçok kaynak deniz balıklarının besin değerinin tatlı su balıklarına göre daha yüksek olduğunu vurgulamaktadır (Özogul ve Özogul, 2007; Özogul ve diğerleri, 2007, Ackman ve diğerleri, 2002). Balığın besin değeri esas olarak içerdiği kolay sindirilebilen protein ve lipidlerden gelir. Balık lipidleri, EPA ve DHA dahil olmak üzere büyük oranda LC-PUFA içeren yağ asitlerinin avantajlı bir bileşimi ile karakterize edilir. Bu asitler hayvanlar veya insanlar tarafından yalnızca sınırlı ölçüde sentezlenebilir esansiyel özellikteki yağ asitleridir ve diyetle desteklenmeleri gerekir (Steffens, 1997). Omega3 ailesinden olan bu esansiyel yağ asitleri (EFA) balıklarda büyük miktarlarda bulunmaktadır ve en önemlileri de olan EPA ve DHA'yı balıkların yüksek miktarda içerdikleri bilinmektedir (Kris-Etherton et al., 2002).

Balık türlerinin yağ asitleri ile ilgili kaynaklar incelendiğinde, bazı yararlı yağ asitleri açısından türlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları olduğu görülmektedir. Parzanini vd.

(2021) 1382 balık üzerinde yaptıkları bir çalışmada tatlısu ve deniz balıklarının yağ asitlerini karşılaştırılmışlardır. Tatlısu ve deniz balıklarının esansiyel yağ asitlerini sentezleme konusunda farklı yeteneklerine ve tatlı su ve deniz besin ağlarının tabanındaki temel farklılıklara işaret etmişlerdir. Tatlısu balıkları başta LNA vae ARA olmak üzere yüksek $\omega 6$ PUFA içeriği ile karakterize edilirken, deniz balıkları çoğunlukla kalanoid kopepod/zooplankton biyobelirteçleri olan 20:1 $\omega 9$ ve 22:1 $\omega 11$ ve $\omega 3$ PUFA (örn. EPA ve DHA) ile karakterize edilmektedir. Ayrıca balıkların yağ asiti bileşiminde enlemsel gradyanlar gözlemlenmiştir. Genel olarak, hem tatlı su hem de deniz balıklarında yağ asitlerinin içeriği tropik bölgelerden ılıman bölgelere ve ardından kutup bölgelerine doğru artmıştır. Bu da, su sıcaklığının enlemleri arasındaki değişikliklerin, homeoviskoz adaptasyon hipoteziyle uyumlu olarak balık hücresi zarlarının lipid kompozisyonunu etkileyebileceğini ortaya koymaktadır. Ek olarak, 20:1 $\omega 9$, 22:1 $\omega 11$, EPA, DHA ve ARA gibi belirli yağ asitlerinin enlemsel eğilimleri, tropik besin ağlarından kutup besin ağlarına doğru besin türündeki değişikliklerin de bu değişimleri açıklayabileceğine işaret edilmiştir. Ayrıca DHA'nın hem tatlı su hem de deniz balıklarında yüksek düzeyde bulunduğunu ve bu esansiyel yağ asitlerinin balıklardaki önemini daha da vurgulamaktaydı. Ilıman ve kutup bölgelerindeki deniz karnivor balık türleri ve özellikle Osmeriformes ve Salmoniformes takımlarından olanlar, sağlıklı yağlar (örn. 20:1 ve 22:1 LC-MUFA) ve temel besin maddeleri (örn. EPA ve DHA) açısından insan tüketimi için büyük bir kaynağı temsil ettiğine de işaret edilmiştir. Daha az balık türüyle çalışılsa da benzer sonuçlar farklı araştırmacılar tarafından da ortaya konulmuştur. Ljubojevic & ark.

(2013) tatlısu çipurası (*Abramis brama*) ve tatlısu balığı olan adi sazan (*Cyprinus carpio*) kaslarında MUFA, PUFA, $\omega 3$ ve $\omega 6$ PUFA içeriği arasında farklılıklar bulmuşlardır. Çipura filetoları sazan filetolarına göre daha fazla MUFA ve $\omega 3$ PUFA, daha düşük miktarlarda PUFA ve $\omega 6$ PUFA içermektedir. Karaçalı & ark. (2011) sazan (*Cyprinus carpio*), kaslarında mevsimsel değişimlerden bağımsız olarak MUFA'nın (% 45.67- % 50.17), SFA'dan (% 25.29- %28.13) ve PUFA'dan (% 17.87-% 26.73) daha yüksek miktarda olduğunu göstermişlerdir. Ancak C'irkovic' & ark. (2012) çoklu kültürde yetiştirilen farklı sazan türlerinin (*Cyprinus carpio*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Ctenopharyngodon idella*, *Silurus glanis*, *Stizostedion lucioperca* ve *Tinca tinca*) kas dokularında, SFA ve MUFA'dan daha fazla PUFA'nın bulunduğunu saptamışlardır. Onlara göre besin bileşimi, balık türleri arasında, özellikle de onların tüketim alışkanlıklarına (otçul, omnivor ve etobur) bağlı olarak yağ asitlerinin profili arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Dönmez (2009), Porsuk Barajı'nda (Türkiye) yaşayan sazanların kas dokusundaki yağ asidi gruplarını SFA > MUFA >PUFA şeklinde sıralamıştır. Stancheva & ark. (2014), Tuna Nehri sazanında, $\omega 3$ PUFA içeriğinin $\omega 6$ PUFA'dan daha yüksek seviyelerde olduğunu belirtmişlerdir. Polak-Juszczak & Komar-Szymczak (2009) acı su özelliğindeki Vistula Lagünü'ndeki (Baltık Denizi) çipura kas dokusunun PUFA ve SFA'dan daha fazla MUFA içerdiğini, ringa balığı kasının ise MUFA ve SFA'dan daha fazla PUFA içerdiğini gözlemlemiş ve levrek kaslarında ise PUFA > SFA >MUFA şeklinde bir sıralama olduğu ifade edilmiştir.

Testi vd. (2006) tarafından Avrupa çiftlik levreği (*Dicentrarchus labrax*), çipuranın (*Sparus aurata*) ve gökkuşağı

alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) sırt ve ventral fileto kısımlarının (sırasıyla DP ve VP) yağ asidi bileşimi ve içeriği analiz edilmiştir. Deniz levreğinin sırt filotosundan elde edilen EPA+DHA içeriği 511 g bunu da 325 g ile çipura ve 495 g ile gökkuşağı alabalığı izlemiştir. Bu değerler Simopoulos (2003) tarafından önerildiği gibi 2000 kcal diyetle 4.55 g'a eşit olan bir yetişkinin haftalık EPA + DHA ihtiyacını karşılamaya yetmektedir. Aynı çalışmada levrek, çipura ve gökkuşağı alabalığının ventral filoto kısımlarının haftalık gereksinimi karşılamaya yetmekle birlikte daha az EPA + DHA içeriğine (210, 216 ve 314 g, sırasıyla) sahip olduğuna işaret edilmiştir. ω 6/ ω 3 PUFA ve h/H açısından gökkuşağı alabalığının levrek ve çipuraya göre belirgin bir üstünlüğü olduğunu belirtmişlerdir. Öte yandan, lipidlerin oksidasyona duyarlılığının bir ölçüsü olarak benimsenen peroksidlenebilirlik indeksi (PI) açısından, deniz türlerinin ve özellikle bunların karın kısmını daha üstün durumdadır (Testi & ark., 2006).

Günümüzde deniz lipidlerinin ana besin kaynakları hamsi, ton balığı, ringa balığı, sardalya, uskumru, somon, alabalık gibi yağlı balıklar ve hamsi, sardalya ve morina karaciğeri gibi kaynaklardan elde edilen balık yağlarıdır (Global Nutrition Report, 2021). Yapılan çalışmalara bakıldığında, Fernandes vd. (2014) sardalya, orkinos, beyaz ve siyah iğne deniz balıkları üzerinde yaptıkları çalışmada sardalya yağlı balık, orkinos ve beyaz ve siyah iğne ise yağsız balık olarak sınıflandırılmıştır. Sonuçlar, incelenen türlerin yüksek oranlarda ω 3 PUFA; ağırlıklı olarak EPA ve DHA ile birlikte önemli oranlarda MUFA'dan 18:1 ω 9 ve SFA'dan 16:0 yağ asitlerini bulundurduklarını göstermiştir. Sardalya ve uskumru aynı PUFA>SFA>MUFA göreceli modelini gösterirken, siyah ve beyaz

İğne, MUFA>PUFA>SFA modelini göstermişlerdir. EPA (% 6.41- % 10.66) ve DHA (% 9.12- % 30.20) en yaygın bulunan PUFA olarak belirlenmiştir. Besin kalitesinin göstergesi olan ortalama değerler de şöyledir: P/S=1.09-1.47 (Siyah İğne-Sardalya), $\omega 6/\omega 3=0.08-0.20$ (Sardalya-Orkinos), h/H= 0.87-2.46 (Sardalya-Siyah İğne), AI=0.26-0.60 (Beyaz ve Siyah İğne-Sardalya) ve TI=0.20-0.44 (Sardalya-Beyaz İğne). Bu sonuçlar, çalışılan türlerin lipit bileşenleri arasında orantısallık göstermesi nedeniyle bu türlerin tüketimini insan sağlığına faydalı olabileceğini göstermiştir.

Kocatepe vd. (2019) Karadeniz hamsisinde MUFA'ların yaklaşık % 47'sinin 18:1 ω 9 ve en baskın baskın yağ asitlerinin ω 3 yağ asitleri özellikle DHA olduğunu vurgulamışlardır. Benzer şekilde Özden (2005) ve Kocatepe & Turan (2012), Marmara Denizi hamsisinde 18:1 ω 9, EPA ve DHA'nın en baskın doymamış yağ asitleri olduğu vurgulanmıştır. Kocatepe & ark. (2019) FLQ değerlerinin Ege Denizi hamsisinde en yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada tüm gruplarda AI ve IT indeksleri 1'den düşük ancak h/H de yüksek olarak rapor edilmiştir. Yüksek AI ve TI değerlerinin (>1.0) insan sağlığına zararlı olduğu bilinmektedir (Ouraji & ark., 2009; Stancheva & ark., 2014). Özellikle Marmara Denizi hamsisinin h/H oranı diğer hamsilere göre daha yüksek çıkmıştır. Ege Denizi hamsisi lipit kalitesi açısından en yüksek kaliteye sahip olduğu Kocatepe & ark. (2019) tarafından rapor edilmiştir. $\omega 3/\omega 6$ yağ asidi oranı, balıkçılık ürünlerinin besinsel kalitesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir indekstir (Chen & Zhang, 2007). Kocatepe & ark. (2019) tarafından en yüksek $\omega 3$ ve $\omega 6$ miktarı sırasıyla Ege Denizi ve Marmara Denizi hamsisinde ve en yüksek $\omega 3/\omega 6$ oranının Ege Denizi hamsisinde

(6.76) olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada günlük 100 gr hamsi tüketiminin EPA+DHA ihtiyacını karşıladığı ve çok yağlı olan Karadeniz hamsisinin diğerlerine göre daha fazla EPA+DHA içerdiği de rapor edilmiştir.

Gonçalves & ark. (2020) Brezilya'nın Kuzeydoğu kıyısındaki on dört deniz balığı türünün (*Cynoscion leiarchu*, *Cynoscion acoupa*, *Lutjanus synagris*, *Lutjanus purpureus*, *Ocyurus chrysurus*, *Seriola dumerili*, *Rachycetron canadum*, *Mycteroperca bonaci*, *Epinephelus marginatus*, *Bathytoshia centroura*, *Coryphaena hippurus*, *Scomberomorus cavalla*, *Scomberomorus brasiliensis*, *Oligoplites palometa*) besin profilini değerlendirdikleri çalışmalarında, bu on dört türün on ikisinde PUFA ana yağ asitleri ve *C. leiarchus*'un en yüksek PUFA içeriği'ne sahip olduğunu bulmuşlardır.. Toplam lipidlerin $\omega 3$ içeriği 69.83-270.62 mg g⁻¹ arasında değişmekteydi; incelenen türlerin çoğunda başlıca yağ asitleri EPA ve DHA'ydı. *L. synagris*, *M. bonaci* ve *S. brasiliensis* türleri, dünya sağlık örgütü (WHO)'nün günlük 250 mg DHA ve APA alım tavsiyesini aşmıştır. *S. dumerili* ve *C. leiarchus* en yüksek PUFA/SFA oranlarını sunarken, *S. brasiliensis* en düşük değeri göstermiştir. $\omega 6/\omega 3$ oranının 0.11 (*C. hippurus*) ile 1.68 (*C. leiarchus*) arasında değişmesi, bu türlerin insan sağlığına faydalı ve tüketime uygun olarak sınıflandırılabilceğini düşündürmektedir. Bu çalışmada incelenen on dört balık türünün tüketimi, insan beslenmesindeki $\omega 6/\omega 3$ oranının azaltılmasına katkıda bulunarak insan sağlığında faydalı etkileri teşvik edebilir. İncelenen on dört tür karşılaştırıldığında en yüksek h/H değeri *S. dumerili*'de ve sırasıyla *R. canadum* ve *C. hippurus* da izlenmiştir. Deniz balıklarında AI oranlarının 0.29-1.05 arasında değiştiğini gösteren çalışmalar

bulunmaktadır (Fernandes & ark., 2014; Menezes & ark., 2009; Gonçalves & ark., 2020). en düşük TI değerleri *Seriola dumerili* ve *Coryphaena hippurus* balık turlerinde tespit edilmiş olup, bu da bu turlerin tuketiminin başta koroner hastalıkları onlemek olmak uzere insan sağlığına yararlı olduğunu gostermektedir (Ulbricht & Southgate, 1991).

Matos & ark. (2019) tarafından Santa Catarina, Brezilya’da tatlısu balıklarından Nil tilapyası, koca kafalı sazan, ot sazanı, adi sazan ve gumüş sazanında yapılan bir çalışmada SFA’dan 16:0 (90-1740 mg/100 g) ve MUFA’dan 18:1ω9 (70-2260 mg/100 g) bu balık turlerinin tumunde bulunan başlıca yağ asitleri olduğu bildirilmiştir. Ot sazanı, adi sazan ve kafeslerde yetiştirilen Nil tilapyasının ortalama 536 mg/100 g ile yuksek γ-linolenik asit (18:3ω6, GLA) içeriğine, Kocabaş sazanın esas olarak EPA (400 mg/100 g) ve DHA (620 mg/100 g) olmak uzere ω3 PUFA'nın en zengin kaynağı olduğu ve 6.11 ile en yuksek ω3/ω6 oranına sahip olduğu vurgulanmıştır. şen zdemir vd. (2023) tarafından Bingöl/Turkiye de yine bir tatlısu balık turu olan sazanğillerden *Cyprinion macrostomus* zerinde yapılan bir çalışma da lipid kalite indeksleri incelenmiş ve *C. macrostomus*’un lipid besin kalitesinin değişiminde en etkili faktörlerin toplam lipid miktarı, avlanma mevsimi ve balığın boy uzunluğu olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca, besin kalitesine etki eden en onemli yağ asitlerinin 18:1ω9, EPA ve DHA olduğu da vurgulanarak, AI, TI ve h/H indekleri açısından değerlendirildiğinde insan tuketiminde kaliteli bir besin kaynağı olarak kullanılabilceği one surlmuştur. Bir tatlısu su balık turu olan *Pontastacus leptodactylus* (kerevit) da TI değerleri 0.14-0.20 arasında değişmektedir. Bu da onun kaliteli yağ asitlerine sahip olduğunu

göstermektedir. $\Omega 3$ erkek kerevitlerde % 25-% 28, dişilerinde ise % 22-% 28 arasında değişmektedir ve hem erkek hem de dişi bireylerin lipit kalitesinin, risk-fayda değerlendirmeleriyle de doğrulanarak faydalı olduğu bulunmuştur (Berber & ark., 2014). Çamça balığı, levrek ve turna balığının kas dokusunun, DHA, EPA ve ARA dahil olmak üzere yüksek düzeyde PUFA içermektedir. $\omega 3/\omega 6$ oranının da bu balıklarda 2.8-4.6 arasında olduğu belirtilmiştir. Yağ asidi bileşimine dayalı besin kalitesi göstergelerinden, h/H değerleri de yeterince yüksektir. Bunun yanında, AI ve TI indeksleri de bu balıklarda 1'in altında bulunmuştur. Bu üç balık türünde et lipid kalitesi (FLQ) açısından turna balığı ve levreğin EPA+DHA oranının çamça balığından daha yüksek olduğuna işaret edilmiştir. Bu balıkların alındığı ekosistemin antropojenik yükü de oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir ve bunun, balık kas kalitesini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemediğine de değinilmiştir (Bazarsadueva & ark., 2021).

Balıkların yağ ve yağ asidi bileşimlerinin sabit olmadığını ve farklılıklar gösterdiği ve bu farklılıkların da besin kalitesine yansıdığını söyleyebiliriz. Bu farklılıklara beslenme düzeni, coğrafi koşullar, çevre sıcaklığı, mevsim, avlanma alanı, balığın büyüklüğü, cinsiyeti, yaşam döngüsü ve türü gibi birçok faktör etki etmektedir (Şen Özdemir, 2023; Öksüz & Özyılmaz, 2010; Luzia ve ark. 2003; Zlatanov & Laskaridis, 2007).

2.3. Kabuklulardaki Yağ Asitleri

Omega3 uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri ($\omega 3$ LC-PUFA) insan sağlığına faydalı yağ asitleridir. Sanayi devriminden bu yana, insan nüfusunun muazzam artışıyla birlikte, doğal $\omega 3$ LC-PUFA'nın arzı, $\omega 3$ LC-PUFA'nın beslenme ihtiyacından çok daha

düşüktür. Bu nedenle, ω 3 LC-PUFA'nın arz ve talep açığını azaltmak için acilen yeni bir alternatif doğal ω 3 LC-PUFA kaynağına ihtiyaç vardır. Çoğunlukla besin olarak tüketilenler krustaseanlar-kabuklular (yengeç, karides) ve bivalvia-çift kabuklular (Midye, istiridye, deniz tarağı vb.), ω 3 LC-PUFA açısından zengindirler (Tan & ark., 2021)

Çift kabukluların deniz ve tatlısu formları da yaygın gıda olarak kullanılırlar. Bunlardan, deniz bivalviaları, esas olarak ω 3 LC-PUF'lardan EPA ve DHA konsantre ettikleri için yüksek kaliteli iyi bir lipid kaynağıdırlar. Tatlısu bivalviaları ise genellikle deniz bivalvialarından daha düşük oranlarda ω 3 PUFA içerirler. Aynı zamanda, lipid kalitesi de kültür ve yabani türlerde farklılık gösterir. Bununla birlikte, bivalviyaların lipid bileşimi, taksonomik ilişkiden (türler ve beslenme alışkanlıkları) ve çevresel koşullardan (yiyecek bulunabilirliği) ve fizyolojik koşullardan da etkilenir (Prato & ark., 2019).

Bivalvia sınıfına ait çoğu yumuşakçanın süzerek beslenenler olduğu bilinmektedir; diyetlerini esas olarak su kolonunun alt su tabakalarından yüzeye kadar olan planktonlar ve sedimentteki dip çökertileri oluşturur. Bu nedenle, planktonik ve bentik mikroalgler, zooplankton, heterotrofik flagellatlar dahil protozoanlar, siliatlar ve bakteriler, bivalviaların diyetinin ana bileşenleridir (Zhukova & ark., 2019). Dolayısıyla, beslenme şekilleri ve besin kaynakları diğer sucul organizmalarda olduğu bivalviaların da yağ asitlerinin bileşimini etkiler (Van der Heijden & ark., 2019).

Bivalvia sınıfından olan, deniz midyelerinin çoğunun yağ asidi bileşimine öncelikle PUFA, ardından SFA ve MUFA hakimdir

(Freites, Fernandez-Reiriz & Labarta, 2002; Taylor & Savage 2007; Chakraborty & ark., 2012; Dernekbaşı & ark., 2015; Merdzhanova, Dobрева & Panayotova, 2018). En yüksek PUFA içeriği *Modiolus barbatus*'ta (% 60.90) belgelenmiştir (Biandolino & ark., 2019), bu oran diğer deniz midye türlerinden (% 39.4-% 46.5) daha yüksektir (Tan & ark., 2021). Çoğu tatlı su midyesinin yağ asidi bileşiminde de PUFA (>%30) hakimdir. PUFA değerleri Ebro Nehri bivalvialarından *Dreissena polymorpha*'da % 51 (Lazzara & ark., 2012), Kakhutova Rezervuarından *Dreissena polymorpha*'da % 39.70 (Makhutova & ark., 20113), *Unio turnidis*'de % 34.10 (Makhutova & ark., 2013), Dicle Nehri'nden *Anodonta pseudopsis*'da % 32.9 (Şereflişan & Ersoy Altun, 2018), olarak rapor edilmiştir. Bunun yanında, Dicle Nehrinden toplanan *Unio elongatulus*'da % 21.1 (Ekin & Bashan, 2010), Kuzey Morowali'den *Batissa violacea*'da % 22.1 (Jamaluddin, Septiawan & Yuyun, 2016) ve Batı Bengal'den toplanan *Lamellidens marginalis*'de % 28.60 (Haldar & ark., 2014) ile % 30'un altında PUFA değerleri de rapor edilmiştir.

Deniz midyelerindeki en yüksek EPA + DHA içeriği Mali Ston Körfezi (Ezgeta-Bali ve ark. 2012) ve Stewart Adası'ndan (Taylor & Savage, 2007) toplanan *Modiolus barbatus* (% 38.3) ve *Perna canaliculus*'ta (% 38.6) kaydedilmiştir. Bunların EPA+DHA içeriği rapor edilen birçok deniz midyesi türünden (% 27.0-% 28.9) önemli ölçüde daha yüksekti (Ahn & ark., 2000; Lin & ark., 2003; Xu ve Yang 2007; Chakraborty & ark., 2012; Dernekbaşı & ark., 2015). İlkbahar (% 23.6) ve kış aylarında (% 22/6) Ebro Nehri'nden toplanan *Dreissena polymorpha* hariç, çoğu tatlı su midyesinin EPA

+ DHA içeriği % 20.0'nin altında olduğu bildirilmiştir (Lazzara & ark., 2012; Tan & ark., 2021).

Çoğu deniz midyesinin $\omega 3/\omega 6$ PUFA oranları 1.00'den yüksektir (Prato & ark., 2010). En yüksek $\omega 3/\omega 6$ PUFA oranı, Marlborough Sounds'ta yetiştirilen *Perna canaliculus*'ta (12.55-18.75) kaydedilmiştir. Bunu, Marlborough Sounds'ta yetiştirilen *My edulis* (10.66 -11,69) (Mclean & Bulling 2005) ve Mali Ston Körfezi'nden toplanan çiftlik *Modiolus barbatus*'u (9.31) (Ezgeta-Bali & ark., 2012) izlemektedir. Deniz midyelerindeki en düşük $\omega 3/\omega 6$ LC-PUFA, (Dernekbaşı vd. (2015) tarafından Karadeniz'de açık deniz uzun hat sisteminde yetiştirilen *Mytilus galloprovincialis*'de (1.44–2.23) bildirilmiştir. Diğer deniz midyelerindeki değerler 5.19-7.27 arasında değişmektedir ve bu değer diğerlerine göre önemli ölçüde düşüktür (Tan & ark., 2021) Görülüyorki, deniz çift kabuklularının $\omega 3/\omega 6$ oranı >1.0 'dır, bu da yüksek kaliteli bir lipide işaret eder. Buna karşılık, çoğu tatlısu midyelerinin hemen hemen yarısının $\omega 3/\omega 6$ LC-PUFA oranları <1.00 olup, en düşük oranlar Türkiye'den toplanan *Unio elongatulus*'ta (0.32-0.41) (Ekin, Bashan & Sesen 2011) ve Nahuel Huapi Gölü'nden toplanan *Diplodom patagonicus* (0.45-0.61) (Pollero, Renner & Gros, 1981) da bildirilmiştir. Tatlı su midyelerinde en yüksek $\omega 3/\omega 6$ LC-PUFA oranı 3.80 olarak Ebro Nehri'nden toplanan *Dreissena polymorpha*'da kaydedilmiştir (Lazzara & ark., 2012).

PUFA/SFA indeksi Taranto'daki Mar Grande'den *My galloprovincialis* (Prato & ark., 2010), Kozhikode'den *Perna viridis* (Chakraborty & ark., 2011) hariç çoğu deniz midyesinde 1.00'den büyüktür (Chakraborty & ark., 2016). Bunun yanında, King George

Adası'ndan *Laternula elliptica* (Ahn ve ark. 2000), Çin'den *My edulis* (Lin & ark., 2003) ve Stewart Adası'ndan *Perna canaliculus* (Taylor & Savage, 2006) ile Marlborough Sounds, Mali Ston (Ezgeta-Bali & ark., 2012) ve Taranto Körfezi'nden (Biandolino & ark., 2019) toplanan *Modiolus barbatus* and *My galloprovincialis*'lerin, PUFA/SFA oranları yalnızca kışın 1 den küçük değer almıştır. Bunlar arasında yalnızca Taranto'daki Mar Grande'den toplanan *My galloprovincialis*'in PUFA/SFA'sı (0.17-0.23) önerilen 0.45 değerinden düşüktür (Tan & ark., 2021).

PUFA/SFA indeksi Kuzey Morowali'den toplanan Tatlısu midyesi *Batissa violacea* da 0.41, (Jamaluddin, Septiawan & Yuyun, 2016), *Dreissena polymorpha*'da 1.62 olarak rapor edilmiştir (Makhutova & ark., 2011; Lazzara & ark., 2012). Bu değerler, diğer tatlı su midye türlerine göre (1.07-1.28) önemli ölçüde yüksek bulunmuştur (Ersoy & Şereflişan, 2010; Şereflişan & Ersoy Altun, 2018). Kuzey Morowali'den toplanan *Batissa violacea* hariç tüm tatlı su midyelerinin PUFA/SFA indeksi önerilen değer olan 0.45'ten daha yüksek kaydedilmiştir (Tan & ark., 2021).

Deniz tarakları dünyanın birçok ülkesinde lezzetli bir yiyecek olarak kabul edilmektedirler. Küresel deniz ürünleri pazarının önemli bir bölümünü temsil etmekte ve dünya çapında hem ticari balıkçılığı hem de su ürünleri yetiştiriciliğini desteklemektedirler (Shumway & Parsons, 2016). Prato vd. (2019) Akdeniz kıyı sularında (Güney İtalya) endemik bir deniz tarağı türü olan *Flexopecten glaber*'in Aralık ayı hariç yılın diğer dönemlerinde yüksek PUFA oranına (toplam yağ asitlerinin % 43'ü) sahip olduğunu ve $\omega 3$ grubu yağ asitlerinden DHA ve EPA'nın baskın olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, en yüksek $\omega 3/\omega 6$ oranları, 5'in

üzerindeki değerlerle ilkbahar-yaz örneklerinde kaydedilmiştir. Sonuç olarak, mayıs, temmuz ve aralık aylarında deniz taraklarının daha iyi besin kalitesine sahip olduğunu vurgulamışlardır. $\Omega 3/\omega 6$ Şili deniz tarakları (*Argopecten purpuratus*), kas dokusunda 12.1 olarak bulunmuştur (Caers & ark.,1999). Manthey-Karl & ark. (2015), Atlantik kıyılarındaki deniz yengeci *Parabuthus maximus* için $\omega 3/\omega 6$ oranlarının yaklaşık 11 olduğunu bildirmişlerdir. Ancak Dridi, Salah Romdhane & Elcafsi (2007), diğer çift kabuklu türlerinde en düşük $\omega 3/\omega 6$ oranını istiridye *Crassostrea gigas*'ın gonadında (3.17) gözlemlerken, *Chamelea gallina* deniz tarağının etinde bu oran 4.28-10.8 arasında değişiklik göstermektedir (Orban & ark., 2006).

Prato & ark., (2019) *Flexopecten glaber* türü deniz tarağında AI ve TI'nin en düşük değerlerini Aralık ayında, en yüksek h/H değerleri ise Temmuz ve Aralık aylarında tespit etmişlerdir ve besinsel açıdan tüketicilere en faydalı dönemlerin bu dönemler olduğuna işaret etmişlerdir. Czech, Grela & Ognik (2015) dondurulmuş *Mytilus edulis*, AI, TI ve h/H değerlerini 0.80, 0.33 ve 1.71 olarak rapor etmiş ve benzer sonuçlar Merdzhanova & ark., (2014) ve Stratev & ark. (2017) tarafından *Mytilus galloprovincialis* için de rapor edilmiştir. Barrentro & ark. (2009) tarafından Avrupa (*Homarus gammarus*) ve Amerikan (*Homarus americanus*) ıstakoz türlerinin kas dokusu besin kalitesinin incelendiği çalışmada, *H. gammarus*'un dişilerinde ve erkeklerinin sırasıyla AI=0.24-0.23, TI=0.17-0.16, PUFA/SFA=1.9-2.00, $\omega 6/\omega 3=0.2-0.2$, *H. Americanus*'da AI=0.26-0.22, TI=0.15-0.14, PUFA/SFA= 2.0-2.2 ve $\omega 6/\omega 3=0.2-0.3$ olarak bildirilmiştir. Bu değerler bu ıstakoz türlerinin tüketiminde bir sakınca olmadığını, sağlıklı gıdalar olduğunu

göstermektedir. Bunun yanında, Van Nguyen & ark. (2024) tarafından Pasifik istiridyasının nötral ve polar lipidlerindeki besin kalite indeksi yağ asitlerine bakılarak antikanser aktiviteleri araştırılmıştır. Dikkat çekici bir şekilde, polar lipid fraksiyonundaki EPA ve DHA içeriği, % 30'u aşmıştır. TI değerleri, polar lipid fraksiyonu için 0.13-0.29 arasında ve nötral lipid fraksiyonu için 0.60-1.10 arasında değişmektedir. Ayrıca polar lipid fraksiyonu, nötral lipid fraksiyonuna kıyasla önemli ölçüde daha yüksek $\omega 3/\omega 6$ oranları sergilemiştir. Bunun yanında, polar fraksiyonun, nötral fraksiyona kıyasla üç kanser hücre hattının (HepG2, MDA-MB-231 ve RD) büyümesi üzerinde daha güçlü inhibitör etkiler sergilediği de görülmüştür. Çalışmanın bulguları, Khanh Hoa Sahili'nde yetiştirilen *Crassostrea gigas* istiridye türünden ekstrakte edilen lipidlerin zayıf bir antikanser aktivitesine sahip olduğunu ancak yine de bazı kanser türlerinin önlenmesine ve tedavisine yardımcı olabileceğini göstermiştir (Van Nguyen & ark., 2024).

Kabuklulardan yengeç ve karidesler de yenilebilir su organizmaları grubunda bulunurlar ve insan sağlığına faydalı gıdalar arasında yerlerini almışlardır (Wilson & ark., 2017). Kabuklular arasındaki çeşitlilik söz konusu olduğunda, deniz ürünleri olarak tuzlu su yengeçleri yüksek talep görmektedir. Mavi yüzücü yengeç (*Portunus pelagicus*) ve benekli yengeç (*Portunus sanguinolentus*), birçok ülke de balıkçılık endüstrisine katkıda bulunan ve baskın konumda olan yenilebilir geleneksel yengeç türleridir (Radhakrishnan & ark., 2007). Bunların besin maddesi içerikleri ile ilgili farklı araştırmalar da yapılmıştır. Rangasamy vd. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada, Rameswaram ticari kıyı yengelinin besin kalite indeksi yağ asitleri belirlenmiştir. Toplam yağ asidinin

PUFA içeriğini % 31.30 ile *P. sanguinolentus* ve % 26.59 ile *P. pelagicus*'ta bulmuşlardır. *P. sanguinolentus* ve *P. pelagicus*'un PUFA'ları arasında toplam yağ asidinin önemli bir kısmını DHA (% 8.93, % 8.85, sırasıyla), EPA (8.90-5.49 mg/100 gm, sırasıyla) ve linoleik asit (8.65-7.29 mg/100 gm) oluşturmaktaydı. ω 3/ ω 6 oranı *P. sanguinolentus*'ta 1.30, *P. pelagicus*'ta 1.18 olarak bulunmuştur. AI ve TI indeksleri sırasıyla, *P. sanguinolentus*'ta 2.85 ve 0.71, *P. pelagicus*'ta 2.5 ve 0.8 ve H/h indeksleri *P. sanguinolentus*'ta 1.53, *P. pelagicus*'ta ise 1.10 olarak bulunmuştur. *P. sanguinolentus*'ta H/h oranı *P. pelagicus*'a göre göreceli olarak daha yüksek olup, *P. sanguinolentus* yengecindeki TI indeksleri *P. pelagicus*'a göre nispeten daha düşüktür. Aynı çalışmada PUFA/SFA oranı *P. sanguinolentus*'ta 1.5 ve *P. pelagicus*'ta 1.18 olarak rapor edilmiştir. Bu da bu yengeç türlerinin üstün besin kalitesine sahip olduğunu göstermektedir. Daha yüksek H/h indeks değerleri iyi kabul edilir. Mevcut çalışma sonuçları, her iki türün de besin değeri açısından zengin olduğunu ve balıkçılık sektörleri için ekonomik öneme sahip olduğuna işaret etmiştir. Diyet takviyeleri ve tıbbi ilaçlar yapmak için de kullanılabilirler. Gıda ve ilaç endüstrilerinde kullanımlarının genişletilmesi yetiştiriciliklerinin yapılmasında artışa yol açacaktır. Bu sadece ekonomik olarak uygun değil aynı zamanda su ortamı üzerindeki etkilerini azaltmak için ekolojik olarak da gereklidir (Rangasamy & ark., 2024).

Yenilebilir kabuklulardan önemli bir grup da karideslerdir. Karideslerin hafif, kendine özgü bir tadı ve yumuşak bir dokusu vardır. Karides içerdiği zengin besin maddeleri (protein, vitamin A ve D, Ca ve Fe), (Heu, Kim & Shahidi, 2003) yanında EPA ve DHA gibi PUFA (González-Félix vd. 2002) kaynağıdır da. Hem tatlısu

hem de deniz karidesleri olmasına rağmen daha çok tatlısu karidesleri kültüre alınarak insan beslenmesinde kullanılmaktadırlar. Tatlı su karidesleri arasında Palaemonidae türleri, su ürünleri yetiştiriciliğine dahil edilme olasılığı açısından küresel olarak en önde gelen türler olarak tanımlanmışlardır (Silva & ark., 2007). İçerdikleri besin maddeleri çoğunlukla besin tercihlerine bağlı olarak değişmektedir ve yapılan çalışmalarda karideslerin çeşitli beslenme tercihleri olduğu vurgulanmaktadır. Bazı karides türleri seçici bir beslenme tercihleri sergilemektedirler ve daha çok canlı *Artemia*'yı tercih etmektedirler (Karim & Aldrich,1970). Ayrıca, tatlısu karideslerinden Palaemonidae türlerinin çeşitli öğelerden, özellikle de zararlı öğelerden oluşan çeşitli bir besin grubuyla beslendiği de vurgulanmaktadır (Collins & Paggi, 1998). *Macrobrachium carcinus* omnivordur, ancak önemli bir etobur bileşene de sahiptir (Lima & ark., 2014).

Karidesler esas olarak büyük miktarda su (% 75) ve proteinden (kuru ağırlığının yaklaşık % 80'i) oluşur (Dayal & ark., 2013). Yağ ve kalori içeriği oldukça düşüktür. Sahip olduğu düşük lipit içeriği çoğunlukla fosfolipitler (% 65-% 70), kolesterol (% 15-% 20) ve toplam açılgliserollerden (% 10-% 20) oluşmaktadır. Ayrıca, toplam lipitlerin % 32'si PUFA, bunların yaklaşık % 64'ü ω 3 PUFA ve % 33'ü ω 6 PUFA'dır. Bu değerler genellikle yüksek besin kalitesine işaret ederler. ω 3 PUFA bileşeni esas olarak EPA ve DHA ile temsil edilirler (AlFaris & ark., 2022, Dayal & ark., 2013). PUFA/SFA ve ω 6/ ω 3 oranları, karideslerin besin kalitesini değerlendirmek için en çok kullanılan göstergelerdir (Chen & Liu, 2020).

Farklı karides türlerinin yağ asidi kompozisyonu birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Saglik & Imre, 1997; Bragagnolo & Rodriguez-Amaya, 2001; Luzia & ark., 2003; Sriket vd, 2007; Tsape & ark., 2010; Yerlikaya & ark., 2014; Maia & ark., 2022). Yerlikaya & ark. (2014) *Parapenaeus longirostris*, *Plesionica edwardsi* ve *Metapenaeus monoceros*'un PUFA içeriklerinde belirgin farklılıklar bulmuşlardır *M. monoceros*'un yenilebilir dokularında $\omega 6/\omega 3$ oranı 0.80 olarak bulunurken, *Aristeomorpha foliacea*'da bu değer 0.15 olarak bulunmuştur. İncelenen türler arasında en yüksek DHA + EPA değeri *P. kerathurus*'ta bulunmuştur. Sığ su karideslerinin PUFA düzeyleri (% 33.44 -% 42.77) derin su karideslerinkinden (% 29.68-% 33.95) daha yüksektir (Yerlikaya & ark., 2014).

Portekiz kıyılarında, farklı mevsimlerde ve lokasyonlarda iki karides türü (*Palaemon serratus* ve *Palaemon varians*) üzerinde Maia vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, *P. serratus* için 0.15 ve *P. varians* için 0.23 olmak üzere her iki türde de düşük $\omega 6/\omega 3$ oranı tespit edilmiştir. Bunun yanında, besin kalite indeksleri karides örnekleri için iyi değerler sunmuş olup, h/H oranı *P. serratus* için 2.60 ve *P. varians* için 2.55 olarak bulunmuştur. *P. serratus* ve *P. varians* için sırasıyla TI, 0.24 ve 0.25 ve AI, 0.41 ve 0.43 olarak bildirilmiştir. Portekiz karidesinin EPA ve DHA açısından iyi bir besin kaynağı olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca risk-fayda değerlendirmesi yapılarak, Portekiz karidesinin tüketimiyle ilgili önemli bir tehlike olmadığına da işaret edilmiştir (Maia & ark., 2022).

Yenilebilir kabuklulardan, salyangozlar tek kabuklular kategorisindedirler. İnsanlar binlerce yıldır salyangoz

tüketmektedirler ve yenilebilir salyangozlar hala birçok ülkenin menüsünde yer almaktadırlar. Yenilebilir salyangozların ticari üretimi, tarihsel ilgileri, uygun hava ve çevre koşulları nedeniyle Çin ve Brezilya'da daha çok gelişmiştir. Şimdiye kadar salyangozların besin bileşimine ilişkin bilgiler, deniz salyangozları (*Hexaplex trunculus*, *Hemifusus ternatanus* ve *Cookie sulcata*) tatlı su salyangozları (*Semisulcospira*) gibi birkaç türle sınırlıydı (Luo & ark., 2017). Ancak son yıllarda özellikle farklı türlerdeki deniz-*Hexaplex trunculus* (Zarai & ark., 2011), *Cookia sulcata* (Mason & ark., 2014), *Rapana venosa* (Luo & ark., 2017; Merdzhanova & ark., 2014) ve Tatlısu-*Bellamya chinensis* (Fujibayashi & ark., 2016), *Pila globosa* (Moniruzzaman & ark., 2021) *Melanopsis praemorsa* (Ekin, Başhan & Şeşen, 2011), *Bellamya chinensis* (Fujibayashi & ark., 2016) salyangozlarının yağ asitleri kompozisyonu üzerine birçok araştırma yapılmıştır.

Moniruzzaman & ark. (2021) tatlısu salyangozu *Pila globosa*'nın yağ asitleri kompozisyonu yanında yağ asidi besin kalite indekslerini de irdeledikleri çalışmalarında PUFA'ların oranını kısmen daha düşük (% 21.4) bildirmişlerdir. Ancak bunun yanında AI (1.46) ve TI (1.30) değerlerini de >1 , $\omega 6/\omega 3$ oranı da 3.69 ile yüksek bir değer olarak rapor edilmiştir. Yüksek AI ve TI değerleri (>1.0) insan sağlığına zararlıdır ve <1 olması önerilir (Ouraji & ark., 2009). Aynı şekilde $\omega 6/\omega 3$ oranının da yüksek olması $\omega 3$ oranının azlığıyla ilişkilendirildiğinden, bu da sağlık açısından risk oluşturan bir durumdur (Husted & Bouzinova, 2016). Dolayısıyla *Pila globosa*'nın besin içeriğinin sağlık açısından risk oluşturabileceği söylebilir. Bunun tersine Zarai & ark. (2011) *Hexaplex trunculus*'un hepatopankreas ve etindeki yağ asitleri kompozisyonunu

incelemişlerdir ve PUFA'dan en yüksek orana 20:4ω6 (ARA) ve 20:4ω3 (eikosatetraenoik asit)' ün sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bu yağ asitlerinin etteki değeri (% 11.59, % 11.92; sırasıyla) hepatopankreas değerinden (% 5.52, % 4.67; sırasıyla) daha yüksek bulunmuştur. Bunun yanında PUFA en önemli yağ asiti grubuydu ve ette % 58.37, hepatopankreasda % 48.17 olarak rapor edilmiştir. Burada rapor edilen PUFA içerikleri, *Eporinus elongates* (% 7.16), *Pimelodus maculates* (% 10.69) (Andrade & ark.,1995) için tanımlananlardan daha yüksek ve Avrupa ıstakozu (*Homarus gammarus*, % 43.6- % 44.8) ve Amerikan ıstakozunun kasları (*Homarus americanus*, 42.0-44.6) (Barrentro vd. 2009) için tanımlanan PUFA değerleriyle yakın değerlerdedir. EPA (% 5.73 - % 7.76) ve DHA (% 7.86-% 8.84) *Hexaplex trunculus* için de önemli ω3 LC-PUFA'lar olarak bildirilmiştir (Zarai & ark., 2011).

Deniz salyangozlarından, rapa salyangozu (*Rapana venosa*), hızlı büyüme oranı sahip, düşük tuzluluğa, yüksek ve düşük sıcaklıklara, su kirliliğine ve oksijen eksikliğine toleranslı bir (gastropoda) bir türdür. Rapa salyangozu doymak bilmez omnivor bir avcıdır; 1940'ların başında Karadeniz'e getirilen bu tür, yerli, yenilebilir çift kabuklu faunasındaki azalmanın sorumlusu olarak görülmektedir. 1980'lerden bu yana rapana değerli bir ticari kaynak haline gelmiştir ve eti Japonya'ya yiyecek olarak ihraç edilmekte ve son zamanlarda rapana tüketimi de giderek yaygınlaşmaktadır. Aynı zamanda Karadeniz bölgesine özgü yerel diyetler arasına da dahil edilmiştir. Bazı raporlara göre, Türkiye ve Bulgaristan'da yıllık Rapana avı 13.000 tonu aşmaktadır (Moncheva & ark., 2011). Merdzhanova & ark. (2014) siyah midye ve kahverengi karidesle rapa salyangozunun yağ asitlerini karşılaştırmışlardır ve rapa

salyangozunun diğerlerine göre daha yüksek 18:1ω9 (oleik asit) ve 16:1ω7 (Palmitoleik asit) içerdiğini bildirmişlerdir. Benzer sonuç Badiu & ark. (2008) tarafından da bildirilmiştir. Merdzhanova & ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada rapananın EPA (% 12.33) içeriğinin, ARA (% 3.85) içeriğinden daha yüksek olduğu da vurgulanmıştır. Yağ asitleri besin kalite indekslerinden ω6/ω3= 0.74, PUFA/SFA= 1.24, AI= 0.55, TI= 0.32 ve lipidlerinin besin kalite değeri (FLQ) 20.86 olarak belirlenmiştir. Bu değer, aynı araştırmada kullanılan siyah midye (18.60) ve kahverengi karidese (20.70) göre yüksektir ve rapananın yenilen dokuları için sunulan değerler insan beslenmesi için faydalıdır sonucuna varılmıştır (Merdzhanova vd. ,2014).

Sonuç

Gıda olarak tüketilen su ürünleri hem doğal ortamından hem de kültür (çiftlik) üretiminden elde edilirler. Elde edildiği ortam, su sıcaklığı, iklim, besin varlığının çeşitliliği, beslenme şekli gibi birçok faktöre bağlı olarak bunların besin içerikleri değişmektedir. Ancak bilinen bir gerçek vardır ki, lipid kaliteleri açısından sucul organizmalar karasal organizmalardan daha zengindirler. Bu zenginliğe de en fazla katkısı olan ω3 LC-PUFA'lardır. Öncelikle birincil üretimin ilk basamağını oluşturan fitoplanktonik organizmalardan başlamak üzere, besin zinciri aracılığıyla insana kadar bu değerli besin bileşimleri taşınırlar. Yenilebilir gıdalar içinde de en sağlıklı lipidlerin fitoplanktonda, alglerde (birincil üreticiler) olduğunu söylemek mümkündür. Bunları tüketen zooplankton ikinci basamağı (birincil tüketiciler) ve zooplankton, alglerle ya da her ikisi ile beslenen balıklarda (ikincil tüketiciler) sonraki basamağı oluşturmaktadırlar. Kabukluların da, bazılarının da

özellikle ortamın toksik yüküne bağılı olarak tüketilmelerinde bazı sakıncalar olabilmektedir. Ancak dünyanın farklı bölgelerinde yapılan çalışmalar göstermektedir ki, kabuklular, algler ve çok fazla tüketilmeyen bazı balık türleri gelecekte alternatif besin kaynakları arasında önemli bir yere sahip olacaktır. O yüzden bu organizmaların besin kalite indeksi olarak yağ asitleri de değerlendirilmiştir ve çoğunun tüketiminde bir sakınca olmadığı hatta sağlık açısından da birçok faydaları olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

Abrami, G., Natiello, F., Bronzi, P., McKenzie, D., Bolis, L., & Agradi, E. (1992). A comparison of highly unsaturated fatty acid levels in wild and farmed eels (*Anguilla anguilla*). *Comparative Biochemistry and Physiology. B, Comparative Biochemistry*, 101(1-2), 79-81. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(92\)90161-J](https://doi.org/10.1016/0305-0491(92)90161-J).

Ackman, R. G. (2002). Freshwater fish lipids—an overlooked source of beneficial long-chain n-3 fatty acids. *European journal of lipid science and technology*, 104(5), 253-254. [https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200205\)104:5<253::AID-EJLT253>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200205)104:5<253::AID-EJLT253>3.0.CO;2-B).

Adarme-Vega, T. C., Lim, D. K., Timmins, M., Vernen, F., Li, Y., & Schenk, P. M. (2012). Microalgal biofactories: a promising approach towards sustainable omega-3 fatty acid production. *Microbial cell factories*, 11, 1-10. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-11-96>.

Ainsa, A., Honrado, A., Marquina, P., Beltrán, J. A., & Calanche, J. (2022). Influence of seaweeds on the quality of pasta as a plant-based innovative food. *Foods*, 11(16), 2525. <https://doi.org/10.3390/foods11162525>.

Ahn, I. Y., Woong Cho, K., Choi, K. S., Seo, Y., & Shin, J. (2000). Lipid content and composition of the Antarctic lamellibranch, *Laternula elliptica* (King & Broderip)(Anomalodesmata: Laternulidae), in King George Island during an austral summer. *Polar Biology*, 23, 24-33. <https://doi.org/10.1007/s0030000050004>.

AlFaris, N. A., Alshammari, G. M., AlTamimi, J. Z., AlMousa, L. A., Alagal, R. I., AlKehayez, N. M., ... & Yahya, M. A. (2022). Evaluating the effects of different processing methods on the nutritional composition of shrimp and the antioxidant activity of shrimp powder. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(1), 640-649. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.029>.

Andrade, A. D., Rubira, A. F., Matsushita, M., & Souza, N. E. (1995). 03 fatty acids in freshwater fish from south brazil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72, 1207-1210.

Artamonova, E. Y., Vasskog, T., & Eilertsen, H. C. (2017). Lipid content and fatty acid composition of *Porosira glacialis* and *Attheya longicornis* in response to carbon dioxide (CO₂) aeration. *PLoS One*, 12(5), e0177703. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177703>.

Badiu, D. L., Balu, A. M., Barbes, L., Luque, R., Nita, R., Radu, M., ... & Rosoiu, N. (2008). Physico-chemical characterisation of lipids from *Mytilus galloprovincialis* (L.) and *Rapana venosa* and their healing properties on skin burns. *Lipids*, 43, 829-841. <https://doi.org/10.1007/s11745-008-3205-2>.

Barange, M., Butenschön, M., Yool, A., Beaumont, N., Fernandes, J. A., Martin, A. P., & Allen, J. I. (2017). The cost of reducing the North Atlantic Ocean biological carbon pump. *Frontiers in Marine Science*, 3, 290. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00290>.

Barofsky, A., Simonelli, P., Vidoudez, C., Troedsson, C., Nejstgaard, J. C., Jakobsen, H. H., & Pohnert, G. (2010). Growth phase of the diatom *Skeletonema marinoi* influences the metabolic

profile of the cells and the selective feeding of the copepod *Calanus* spp. *Journal of Plankton Research*, 32(3), 263-272. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbp121>.

Barrento, S., Marques, A., Teixeira, B., Vaz-Pires, P., & Nunes, M. L. (2009). Nutritional quality of the edible tissues of European lobster *Homarus gammarus* and American lobster *Homarus americanus*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(9), 3645-3652. <https://doi.org/10.1021/jf900237g>.

Bazarnova, J., Nilova, L., Trukhina, E., Bernavskaya, M., Smyatskaya, Y., & Aktar, T. (2021). Use of microalgae biomass for fortification of food products from grain. *Foods*, 10(12), 3018. <https://doi.org/10.3390/foods10123018>.

Bazarsadueva, S. V., Radnaeva, L. D., Shiretorova, V. G., & Dylenova, E. P. (2021). The comparison of fatty acid composition and lipid quality indices of roach, perch, and pike of Lake Gusinoe (Western Transbaikalia). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9032. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179032>.

Beaumont, N. J., Aanesen, M., Austen, M. C., Börger, T., Clark, J. R., Cole, M., ... & Wyles, K. J. (2019). Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Marine pollution bulletin*, 142, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.022>.

Bigogno, C., Khozin-Goldberg, I., Boussiba, S., Vonshak, A., & Cohen, Z. (2002). Lipid and fatty acid composition of the green oleaginous alga *Parietochloris incisa*, the richest plant source

of arachidonic acid. *Phytochemistry*, 60(5), 497-503.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00100-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00100-0).

Berber, S., Acarlı, S., Bayraklı, B., Kale, S., Kızılkaya, B., Vural, P., & Acarlı, D. (2024). Monthly variation of fatty acids, lipid quality index and metal content of *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) in Atikhisar Dam Lake (Çanakkale, Türkiye). *Environmental Science and Pollution Research*, 1-23.
<https://doi.org/10.1007/s11356-024-32858-1>.

Bernhardt, J. R., & O'Connor, M. I. (2021). Aquatic biodiversity enhances multiple nutritional benefits to humans. *Proc. Natl Acad. Sci.* 118, e1917487118.

Biandolino, F., Di Leo, A., Parlapiano, I., Papa, L., Giandomenico, S., Spada, L., & Prato, E. (2019). Nutritional quality of edible marine bivalves from the southern coast of Italy, Mediterranean Sea. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(1). <https://doi.org/10.31883/pjfn-2019-0001>.

BNF- British Nutrition Foundation (BNF) (1992), Unsaturated Fatty Acids. Nutritional and Physiological Significance. Report of British Nutrition Foundation. Chapman and Hall. London, pp. 152–163.

Boukid, F., Comaposada, J., Ribas-Agustí, A., & Castellari, M. (2021). Development of high-protein vegetable creams by using single-cell ingredients from some microalgae species. *Foods*, 10(11), 2550.
<https://doi.org/10.3390/foods10112550>.

Boukid, F., & Castellari, M. (2021). Food and beverages containing algae and derived ingredients launched in the market

from 2015 to 2019: a front-of-pack labeling perspective with a special focus on Spain. *Foods*, 10(1), 173. <https://doi.org/10.3390/foods10010173>.

Bragagnolo, N., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2001). Total lipid, cholesterol, and fatty acids of farmed freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and wild marine shrimp (*Penaeus brasiliensis*, *Penaeus schimitti*, *Xiphopenaeus kroyeri*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(4), 359-369. <https://doi.org/10.1006/jfca.2000.0981>.

Breslow, J. L. (2006). n-3 Fatty acids and cardiovascular disease. *The American journal of clinical nutrition*, 83(6), 1477S-1482S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/83.6.1477S>.

Brogna, D. M., Nasri, S., Salem, H. B., Mele, M., Serra, A., Bella, M., ... & Vasta, V. (2011). Effect of dietary saponins from *Quillaja saponaria* L. on fatty acid composition and cholesterol content in muscle *Longissimus dorsi* of lambs. *Animal*, 5(7), 1124-1130.

Byrd, K. A., Thilsted, S. H., & Fiorella, K. J. (2021). Fish nutrient composition: a review of global data from poorly assessed inland and marine species. *Public health nutrition*, 24(3), 476-486. <https://doi.org/10.1017/S1368980020003857>.

Caf, F., Yilmaz, Ö., Durucan, F., & Şen Özdemir, N. (2015). Biochemical components of three marine macroalgae (*Padina pavonica*, *Ulva lactuca* and *Taonia atomaria*) from the levantine sea coast of antalya, Turkey. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 6, 401-411.

Caers, M., Coutteau, P., Cure, K., Morales, V., Gajardo, G., & Sorgeloos, P. (1999). The Chilean scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819): II. Manipulation of the fatty acid composition and lipid content of the eggs via lipid supplementation of the broodstock diet. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 123(1), 97-103. [https://doi.org/10.1016/S0305-0491\(99\)00047-4](https://doi.org/10.1016/S0305-0491(99)00047-4).

Cengiz, Ö., & Kizilkaya, B.(2023) Investigation of Quality Index Parameters and comparison of fatty acids of some Sparidae fish species in Çanakkale city (northern Aegean Sea, Türkiye). *Research in Marine Sciences* ,7 (2), 3-16.

Chen, S., Bobe, G., Zimmerman, S., Hammond, E. G., Luhman, C. M., Boylston, T. D., ... & Beitz, D. C. (2004). Physical and sensory properties of dairy products from cows with various milk fatty acid compositions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3422-3428. <https://doi.org/10.1021/jf035193z>.

Chen, M., Liu, H., & Chen, B. (2012). Effects of dietary essential fatty acids on reproduction rates of a subtropical calanoid copepod, *Acartia erythraea*. *Marine Ecology Progress Series*, 455, 95-110. <https://doi.org/10.3354/meps09685>.

Conde, T. A., Neves, B. F., Couto, D., Melo, T., Neves, B., Costa, M., ... & Domingues, M. R. (2021b). Microalgae as sustainable bio-factories of healthy lipids: Evaluating fatty acid content and antioxidant activity. *Marine drugs*, 19(7), 357. <https://doi.org/10.3390/md19070357>.

Conde, T. A., Couto, D., Melo, T., Costa, M., Silva, J., Domingues, M. R., & Domingues, P. (2021a). Polar lipidomic

profile shows *Chlorococcum amblystomatis* as a promising source of value-added lipids. *Scientific Reports*, 11(1), 4355. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83455-y>.

Costa, R. G., Mesquita, Í. V. U., Queiroga, R. D. C. R. D. E., Medeiros, A. N. D., Carvalho, F. F. R. D., & Beltrão Filho, E. M. (2008). Características químicas e sensoriais do leite de cabras Moxotó alimentadas com silagem de maniçoba. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 694-702. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000400016>.

Caporgno, M. P., & Mathys, A. (2018). Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. *Frontiers in nutrition*, 5, 58. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00058>.

Chauton, M. S., Reitan, K. I., Norsker, N. H., Tveterås, R., & Kleivdal, H. T. (2015). A techno-economic analysis of industrial production of marine microalgae as a source of EPA and DHA-rich raw material for aquafeed: Research challenges and possibilities. *Aquaculture*, 436, 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.038>.

Chakraborty, K., Chakkalakal, S. J., Joseph, D., Asokan, P. K., & Vijayan, K. K. (2016). Nutritional and antioxidative attributes of green mussel (*Perna viridis* L.) from the southwestern coast of India. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25(7), 968-985. <https://doi.org/10.1080/10498850.2015.1004498>.

Chakraborty, K., Vijayagopal, P., Asokan, P. K., & Vijayan, K. K. (2011). Green mussel (*Perna viridis* L.) as healthy food, and

as a nutraceutical supplement. Central Marine Fisheries Research Institute, 89-94.

Chen, J., & Liu, H. (2020). Nutritional indices for assessing fatty acids: A mini-review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), 5695. <https://doi.org/10.3390/ijms21165695>.

Ćirković, M., Ljubojević, D., Đorđević, V., Novakov, N., Petronijević, R., Matekalo-Sverak, V., & Trbović, D. (2012). The breed effect on productivity and meat nutrient composition of fish. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18, (5), 775-780.

Couto, D., Melo, T., Conde, T. A., Costa, M., Silva, J., Domingues, M. R. M., & Domingues, P. (2021). Chemoplasticity of the polar lipid profile of the microalgae *Chlorella vulgaris* grown under heterotrophic and autotrophic conditions. *Algal research*, 53, 102128. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102128>.

Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of applied phycology*, 23, 371-393. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>.

Czech, A., Grela, E. R., & Ognik, K. (2015). Effect of frying on nutrients content and fatty acid composition of muscles of selected freezing seafoods. *Journal of Food and Nutrition Research*, 3(1), 9-14. <https://doi.org/10.12691/jfnr-3-1-2>.

Czyż, K., Bodkowski, R., Herbinger, G., & Librowski, T. (2016). Omega-3 fatty acids and their role in central nervous system- a review. *Current medicinal chemistry*, 23(8), 816-831.

da Costa, E., Amaro, H. M., Melo, T., Guedes, A. C., & Domingues, M. R. (2020). Screening for polar lipids, antioxidant,

and anti-inflammatory activities of *Gloeotheca* sp. lipid extracts pursuing new phytochemicals from cyanobacteria. *Journal of Applied Phycology*, 32, 3015-3030. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02173-6>.

Dağtekin, B. B., Misir, G. B., & Kutlu, S. (2018). Comparison of biochemical, fatty acids and lipid quality indexes of Prussian carp (*Carassius gibelio*) caught from lake Çıldır on different seasons. *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 1(1), 2-14.

Dayal, J. S., Ponniah, A. G., Khan, H. I., Babu, E. M., Ambasankar, K., & Vasagam, K. K. (2013). Shrimps—a nutritional perspective. *Current science*, 1487-1491. <https://www.jstor.org/stable/24092471>.

Dellero, Y., Cagnac, O., Rose, S., Seddiki, K., Cussac, M., Morabito, C., ... & Amato, A. (2018). Proposal of a new thraustochytrid genus *Hondaea* gen. nov. and comparison of its lipid dynamics with the closely related pseudo-cryptic genus *Aurantiochytrium*. *Algal research*, 35, 125-141. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.08.018>.

Dernekbaşı, S., Öksüz, A., Çelik, M. Y., Karayücel, İ., & Karayücel, S. (2015). The fatty acid composition of cultured mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck 1819) in offshore longline system in the Black Sea. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, 2(6), 46-53.

Dietschy, J. M. (1998). Dietary fatty acids and the regulation of plasma low density lipoprotein cholesterol concentrations. *The*

Journal of nutrition, 128(2), 444S-448S.
<https://doi.org/10.1093/jn/128.2.444S>.

Dridi, S., Romdhane, M. S., & Elcafsi, M. H. (2007). Seasonal variation in weight and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* in relation to the gametogenic cycle and environmental conditions of the Bizert lagoon, Tunisia. *Aquaculture*, 263(1-4), 238-248.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.028>.

Draaisma, R. B., Wijffels, R. H., Slegers, P. E., Brentner, L. B., Roy, A., & Barbosa, M. J. (2013). Food commodities from microalgae. *Current opinion in biotechnology*, 24(2), 169-177.
<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.09.012>.

Doughman, S. D., Krupanidhi, S., & Sanjeevi, C. B. (2007). Omega-3 fatty acids for nutrition and medicine: considering microalgae oil as a vegetarian source of EPA and DHA. *Current diabetes reviews*, 3(3), 198-203.
<https://doi.org/10.2174/157339907781368968>.

Donmez, M. (2009). Determination of fatty acid compositions and cholesterol levels of some freshwater fish living in Porsuk Dam, Turkey. *Chemistry of Natural Compounds*, 45, 14-17.
<https://doi.org/10.1007/s10600-009-9219-z>.

Duo, L., Ortwin, B., Hamish, D., and Andrew J., S. 2003. Lipid for Functional Food and Nutriaceuticals, Chapter 8: Omega-3 (n-3) Fatty Acid. The Oily Press, Bridgewater, U.K.

Eckert, G. P., Lipka, U., & Muller, W. E. (2013). Omega-3 fatty acids in neurodegenerative diseases: focus on

mitochondria. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 88(1), 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2012.05.006>.

Ezgeta-Balić, D., Najdek, M., Peharda, M., & Blažina, M. (2012). Seasonal fatty acid profile analysis to trace origin of food sources of four commercially important bivalves. *Aquaculture*, 334, 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.12.041>.

Ekin, İ., & Baştan, M. (2010). Fatty acid composition of selected tissues of *Unio elongatulus* (Bourguignat, 1860)(Mollusca: Bivalvia) collected from Tigris River, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(4), 445-451. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0402>.

Ekin, I., Baştan, M., & Şeşen, R. (2011). Possible seasonal variation of the fatty acid composition from *Melanopsis praemorsa* (L., 1758)(Gastropoda: Prosobranchia), from southeast Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Biology*, 35(2), 203-213. <https://doi.org/10.3906/biy-0903-30>.

Ersoy Korkmaz, N. (2023). Unlocking the Fatty Acid Profile of Macroalgae Species in Sea of Marmara, Türkiye: A Comprehensive Analysis of Extraction Methods. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 10(4), 34-38. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.1379534>.

Ersoy, B., & Şereflişan, H. (2010). The proximate composition and fatty acid profiles of edible parts of two freshwater mussels. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0110>.

Erickson, M. C. (1992). Variation of lipid and tocopherol composition in three strains of channel catfish (*Ictalurus*

punctatus). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 59(4), 529-536. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740590416>.

European Food Safety Authority (EFSA) (2010). Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA J.*, 8, 1461.

FAO (2008), FAO Food and Nutrition Paper 91. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. 10-14 November 2008. Geneva. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i1953e.pdf>.

Farajzadeh Alan, D., Naeli, M. H., Naderi, M., Jafari, S. M., & Tavakoli, H. R. (2019). Production of Trans-free fats by chemical interesterified blends of palm stearin and sunflower oil. *Food science & nutrition*, 7(11), 3722-3730. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1231>.

Fernandes CE, Vasconcelos MA, Ribeiro MA, Sarubbo L A, Andrade SA, Melo Filho AB. 2014. Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil. *Food Chemistry*. **160**, 67–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.055>.

Fleurence, J., Gutbier, G., Mabeau, S., & Leray, C. (1994). Fatty acids from 11 marine macroalgae of the French Brittany coast. *Journal of Applied Phycology*, 6, 527-532.

Food and Drug Administration, HHS. (2018). Final determination regarding partially hydrogenated oils. Notification; declaratory order; extension of compliance date. *Federal register*, 83(98), 23358-23359.

Fujibayashi, M., Sakamaki, T., Shin, W., & Nishimura, O. (2016). Food utilization of shell-attached algae contributes to the growth of host mud snail, *Bellamya chinensis*: evidence from fatty acid biomarkers and carbon stable isotope analysis. *Limnologia*, 57, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.11.006>.

Ganesan, A. R., Subramani, K., Shanmugam, M., Seedeve, P., Park, S., Alfarhan, A. H., ... & Balasubramanian, B. (2020). A comparison of nutritional value of underexploited edible seaweeds with recommended dietary allowances. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1), 1206-1211. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.11.009>.

Gladyshev M I, Sushchik NN, Makhutova ON. 2013. Production of EPA and DHA in aquatic ecosystems and their transfer to the land. *Prostagland. Lipid Mediat.* **107**, 117–126.

Gladyshev, M. I., & Sushchik, N. N. (2019). Long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids in natural ecosystems and the human diet: Assumptions and challenges. *Biomolecules*, 9(9), 485. <https://doi.org/10.3390/biom9090485>.

Global Nutrition Report. 2021 Global Nutrition Report: The State of Global Nutrition. Development Initiatives: Bristol, UK. Available online: <https://globalnutritionreport.org/reports/2021-global-nutrition-report/> (accessed on 20 May 2024).

Gonçalves, R. M., Petenuci, M. E., Maistrovicz, F. C., Galuch, M. B., Montanher, P. F., Pizzo, J. S., ... & Visentainer, J. V. (2021). Lipid profile and fatty acid composition of marine fish

species from Northeast coast of Brazil. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 1177-1189. 89 <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04631-y>.

González-Félix, M. L., Maldonado-Othón, C. A., & Perez-Velazquez, M. (2016). Effect of dietary lipid level and replacement of fish oil by soybean oil in compound feeds for the shortfin corvina (*Cynoscion parvipinnis*). *Aquaculture*, 454, 217-228. <https://10.1016/j.aquaculture.2015.12.021>.

González-Félix, M. L., Gatlin III, D. M., Lawrence, A. L., & Perez-Velazquez, M. (2002). Effect of dietary phospholipid on essential fatty acid requirements and tissue lipid composition of *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture*, 207(1-2), 151-167. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00797-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00797-9).

Góra, A., Szlinder-Richert, J., & Kornijów, R. (2022). Are fatty acids in fish the evidence of trophic links? A case study from the southern Baltic Vistula Lagoon. *Oceanologia*, 64(4), 567-582. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2022.04.002>.

Hafting, J. T., Critchley, A. T., Cornish, M. L., Hubley, S. A., & Archibald, A. F. (2012). On-land cultivation of functional seaweed products for human usage. *Journal of Applied Phycology*, 24, 385-392. <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9720-1>.

Haldar, A., Dey, T. K., Dhar, P., & Chakrabarti, J. (2014). Exploring the nutritive values of the fresh water mussel *Lamellidens marginalis* as potential functional food. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8(1). <https://doi.org/10.9790/2402-08830107>.

Hamilton, M. L., Warwick, J., Terry, A., Allen, M. J., Napier, J. A., & Sayanova, O. (2015). Towards the industrial production of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids from a genetically modified diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *PloS one*, 10(12), e0144054. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144054>.

Harwood, J.L.; Jones, A.L.(1989). Lipid Metabolism in Algae. In Advances in Botanical Research; Callow, J.A., Ed.; Academic Press: New York, NY, USA, pp. 1–53.

Heu, M. S., Kim, J. S., & Shahidi, F. (2003). Components and nutritional quality of shrimp processing by-products. *Food chemistry*, 82(2), 235-242. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00519-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00519-8).

Hicks, C. C., Cohen, P. J., Graham, N. A., Nash, K. L., Allison, E. H., D’Lima, C., ... & MacNeil, M. A. (2019). Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies. *Nature*, 574(7776), 95-98. <https://doi.org/10.1038/541586-019-1592-6>.

Collins, P. A., & Paggi, J. C. (1997). Feeding ecology of *Macrobrachium borelli* (Nobili) (Decapoda: Palaemonidae) in the flood valley of the River Paraná, Argentina. *Hydrobiologia*, 362(1), 21-30.

Jónasdóttir, S. H. (2019). Fatty acid profiles and production in marine phytoplankton. *Marine drugs*, 17(3), 151. <https://doi.org/10.3390/md17030151>.

Innis, S. M. (2014). Omega-3 fatty acid biochemistry: perspectives from human nutrition. *Military*

medicine, 179(suppl_11), 82-87. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-14-00147>.

Innis, S. M. (1991). Essential fatty acids in growth and development. *Progress in lipid research*, 30(1), 39-103. [https://doi.org/10.1016/0163-7827\(91\)90006-Q](https://doi.org/10.1016/0163-7827(91)90006-Q).

Ismail, A., Bannenberg, G., Rice, H. B., Schutt, E., & MacKay, D. (2016). Oxidation in EPA-and DHA-rich oils: an overview. *Lipid Technology*, 28(3-4), 55-59. <https://doi.org/10.1002/lite.201600013>.

Ivanova, S., & Angelov, L. (2017). Assessment of the content of dietary trans fatty acids and biologically active substances in cow's milk and curd. *generations*, 4(5). <https://doi.org/10.11648/j.mc.20170506.11>.

Jamaluddin, M., Septiawan, & Yuyun, Y. (2016). Analysis of fatty acid and amino acid profile of “Meti” mussels (*Batissa violacea* L. von Lamarck, 1818) in La’a River of Petasia district north Morowali Regency. *Rasayan Journal of Chemistry*, 9 (4), 673-9.

Jouhet, J., Lupette, J., Clerc, O., Magneschi, L., Bedhomme, M., Collin, S., ... & Rebeille, F. (2017). LC-MS/MS versus TLC plus GC methods: consistency of glycerolipid and fatty acid profiles in microalgae and higher plant cells and effect of a nitrogen starvation. *PLoS One*, 12(8), e0182423. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182423>.

Kamenarska, Z. G., Dimitrova-Konaklieva, S. D., Nikolova, C., Kujumgiev, A. I., Stefanov, K. L., & Popov, S. S. (2000). Volatile components of the freshwater algae *Spirogyra* and

Mougeotia. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 55(7-8), 495-499.
<https://doi.org/10.1515/znc-2000-7-801>.

Karaçalı, M., Bulut, S., Konuk, M., & Solak, K. (2011). Seasonal variations in fatty acid composition of different tissues of mirror carp, *Cyprinus carpio*, in Orenler Dam Lake, Afyonkarahisar, Turkey. *International journal of food properties*, 14(5), 1007-1017.
<https://doi.org/10.1080/10942910903556454>.

Karim, M. & Aldrich, D.V. (1970). Influence of diet on the feeding behavior, growth and thermal resistance of postlarval *Penaeus aztecus* and *P. setiferus*. Texas A&M Univ. Sea Grant Program, Report No. TAMU-SG-70- 226. 80 pp.

Kreps, E. M. (1981). Lipids of Cellular Membranes. Evolution of Brain Lipids. Adaptive Function of Lipids.

Krešić, G., Vulić, A., Dergestin Bačun, L., Lešić, T., Želježić, D., & Pleadin, J. (2019). Nutritive composition and lipid quality indices of commercially available filleted fish. *Hrana u zdravlju i bolesti: znanstveno-stručni časopis za nutricionizam i dijetetiku*, 8(1), 67-73.

Koussoroplis, A. M., Bec, A., Perga, M. E., Koutrakis, E., Bourdier, G., & Desvillettes, C. (2011). Fatty acid transfer in the food web of a coastal Mediterranean lagoon: Evidence for high arachidonic acid retention in fish. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 91(3), 450-461. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.11.010>.

Kumari, P., Kumar, M., Gupta, V., Reddy, C. R. K., & Jha, B. (2010). Tropical marine macroalgae as potential sources of nutritionally important PUFAs. *Food Chemistry*, 120(3), 749-757.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.006>.

Küçükgülmez, A., Yanar, Y., Çelik, M., & Ersor, B. (2018). Fatty acids profile, atherogenic, thrombogenic, and polyene lipid indices in golden grey mullet (*Liza aurata*) and gold band goatfish (*Upeneus moluccensis*) from Mediterranean Sea. *Journal of aquatic food product technology*, 27(8), 912-918. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1508105>.

Kris-Etherton, P. M., Harris, W. S., & Appel, L. J. (2002). Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *circulation*, 106(21), 2747-2757. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000038493.65177.94>.

Kromhout, D. (2001). Diet and cardiovascular diseases. *The journal of nutrition, health & aging*, 5(3), 144-149.

Lang, I., Hodac, L., Friedl, T., & Feussner, I. (2011). Fatty acid profiles and their distribution patterns in microalgae: a comprehensive analysis of more than 2000 strains from the SAG culture collection. *BMC plant biology*, 11, 1-16.

Lawton, R. J., Cole, A. J., Roberts, D. A., Paul, N. A., & de Nys, R. (2017). The industrial ecology of freshwater macroalgae for biomass applications. *Algal Research*, 24, 486-491. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2016.08.019>.

Lazzara, R., Fernandes, D., Faria, M., López, J. F., Tauler, R., & Porte, C. (2012). Changes in lipid content and fatty acid composition along the reproductive cycle of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha*: its modulation by clofibrate exposure. *Science of the total environment*, 432, 195-201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.094>.

Leaf, A., Kang, J. X., Xiao, Y. F., & Billman, G. E. (2003). Clinical prevention of sudden cardiac death by n-3 polyunsaturated fatty acids and mechanism of prevention of arrhythmias by n-3 fish oils. *Circulation*, 107(21), 2646-2652. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000069566.78305.33>.

Lehninger, A.L.; Nelson, D.L.(1993). Cox, M.M. Principles of Biochemistry; Worth Publishers: New York, NY, USA, p. 1010.

Li-Beisson, Y., Thelen, J. J., Fedosejevs, E., & Harwood, J. L. (2019). The lipid biochemistry of eukaryotic algae. *Progress in Lipid Research*, 74, 31-68. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2019.01.003>.

Lima, J. D. F., Garcia, J. D. S., & Silva, T. C. D. (2014). Natural diet and feeding habits of a freshwater prawn (*Macrobrachium carinus*: Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Amazon River. *Acta Amazonica*, 44, 235-244. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000200009>.

Løvdaal, T., & Skipnes, D. (2021). Assessment of food quality and safety of cultivated macroalgae. *Foods*, 11(1), 83. <https://doi.org/10.3390/foods11010083>.

Łuczyńska, J., & Paszczyk, B. (2019). Health risk assessment of heavy metals and lipid quality indexes in freshwater fish from lakes of Warmia and Mazury Region, Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19), 3780. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193780>.

Łuczyńska, J., Borejszo, Z., & Łuczyński, M. (2008). The composition of fatty acids in muscles of six freshwater fish species from the Mazurian Great Lakes (northeastern Poland). *Fisheries &*

Aquatic Life, 16(2), 167-178. <https://doi.org/10.2478/s10086-008-0014-4>.

Luo, F., Xing, R., Wang, X., Peng, Q., & Li, P. (2017). Proximate composition, amino acid and fatty acid profiles of marine snail *Rapana venosa* meat, visceral mass and operculum. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(15), 5361-5368. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111577>.

Lupette, J., & Benning, C. (2020). Human health benefits of very-long-chain polyunsaturated fatty acids from microalgae. *Biochimie*, 178, 15-25.

Lupette, J., & Maréchal, E. (2018). Phytoplankton glycerolipids: challenging but promising prospects from biomedicine to green chemistry and biofuels. *Blue Biotechnology: Production and Use of Marine Molecules*, 1, 191-215. <https://doi.org/10.1002/9783527801718.ch6>.

Makhutova, O. N., Protasov, A. A., Gladyshev, M. I., Syliaieva, A. A., Sushchik, N. N., Morozovskaya, I. A., & Kalachova, G. S. (2013). Feeding spectra of bivalve mollusks *Unio* and *Dreissena* from Kanevskoe Reservoir, Ukraine: are they food competitors or not?. *Zoological Studies*, 52, 1-10. <https://doi.org/10.1186/1810-522X-52-56>.

Manthey-Karl, M., Lehmann, I., Ostermeyer, U., Rehbein, H., & Schröder, U. (2015). Meat composition and quality assessment of king scallops (*Pecten maximus*) and frozen Atlantic sea scallops (*Placopecten magellanicus*) on a retail level. *Foods*, 4(4), 524-546. <https://doi.org/10.3390/foods4040524>.

Massey, K. A., & Nicolaou, A. (2011). Lipidomics of polyunsaturated-fatty-acid-derived oxygenated metabolites. *Biochemical Society Transactions*, 39(5), 1240-1246. <https://doi.org/10.1042/BST0391240>.

Matos, Â. P., Matos, A. C., & Moecke, E. H. S. (2019). Polyunsaturated fatty acids and nutritional quality of five freshwater fish species cultivated in the western region of Santa Catarina, Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22, e2018193. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.19318>.

McClean, C. H., & Bulling, K. R. (2005). Differences in lipid profile of New Zealand marine species over four seasons. *Journal of Food Lipids*, 12(4), 313-326. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2005.00026.x>.

Merdzhanova, A., Dobрева, D. A., & Panayotova, V. (2018). Assessment of proximate and bioactive lipid composition of Black Sea mussels (*M. galloprovincialis*) from Bulgaria. *Biological Resources of Water*. Ed: Ray S. Intech Open. London, 181-200. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71909>.

Moncheva, S., Namiesnik, J., Apak, R., Arancibia-Avila, P., Toledo, F., Kang, S. G., ... & Gorinstein, S. (2011). *Rapana venosa* as a bioindicator of environmental pollution. *Chemistry and Ecology*, 27(1), 31-41. <https://doi.org/10.1080/02757540.2010.522996>.

Messyas, B., Michalak, I., Łęska, B., Schroeder, G., Górka, B., Korzeniowska, K., ... & Chojnacka, K. (2018). Valuable natural products from marine and freshwater macroalgae obtained from

supercritical fluid extracts. *Journal of Applied Phycology*, 30, 591-603. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1257-5>.

Morais, T., Inácio, A., Coutinho, T., Ministro, M., Cotas, J., Pereira, L., & Bahcevandziev, K. (2020). Seaweed potential in the animal feed: A review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(8), 559. <https://doi.org/10.3390/jmse8080559>.

Mierliță, D. (2018). Effects of diets containing hemp seeds or hemp cake on fatty acid composition and oxidative stability of sheep milk. *South African Journal of Animal Science*, 48(3), 504-515. <https://hdl.handle.net/10520/EJC-e21c8032d>.

Mishra, R., & Sharma, H. K. (2014). Effect of frying conditions on the physico-chemical properties of rice bran oil and its blended oil. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 1076-1084. <https://10.1007/s13197-011-0602-y>.

Murzina, S. A., Pekkoeva, S. N., Kondakova, E. A., Nefedova, Z. A., Filippova, K. A., Nemova, N. N., ... & Falk-Petersen, S. (2020). Tiny but fatty: lipids and fatty acids in the daubed shanny (*Leptoclinus maculatus*), a small fish in Svalbard waters. *Biomolecules*, 10(3), 368. <https://doi.org/10.3390/biom10030368>.

Orban, E., Di Lena, G., Nevigato, T., Casini, I., Caproni, R., Santaroni, G., & Giulini, G. (2007). Nutritional and commercial quality of the striped venus clam, *Chamelea gallina*, from the Adriatic sea. *Food Chemistry*, 101(3), 1063-1070. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.005>.

Öksüz, A., Özyılmaz, A., & Küver, Ş. (2011). Fatty acid composition and mineral content of *Upeneus moluccensis* and

Mullus surmuletus. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11(1), 69-75. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2011.0110>.

Ouraji, H., Shabanpour, B., Kenari, A. A., Shabani, A., Nezami, S., Sudagar, M., & Faghani, S. (2009). Total lipid, fatty acid composition and lipid oxidation of Indian white shrimp (*Fenneropenaeus indicus*) fed diets containing different lipid sources. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(6), 993-997. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3545>.

Öksüz, A., & Özyılmaz, A. (2010). Changes in fatty acid compositions of Black Sea anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) during catching season. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(3). <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0311>.

Parzanini, C., Colombo, S. M., Kainz, M. J., Wacker, A., Parrish, C. C., & Arts, M. T. (2020). Discrimination between freshwater and marine fish using fatty acids: ecological implications and future perspectives. *Environmental Reviews*, 28(4), 546-559. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0031>.

Patil, V., Källqvist, T., Olsen, E., Vogt, G., & Gislerød, H. R. (2007). Fatty acid composition of 12 microalgae for possible use in aquaculture feed. *Aquaculture International*, 15, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9060-3>.

Peltomaa, E., Johnson, M. D., & Taipale, S. J. (2017). Marine cryptophytes are great sources of EPA and DHA. *Marine Drugs*, 16(1), 3. <https://doi.org/10.3390/md16010003>.

Peltomaa, E., Hällfors, H., & Taipale, S. J. (2019). Comparison of diatoms and dinoflagellates from different habitats as

sources of PUFAs. *Marine Drugs*, 17(4), 233.
<https://doi.org/10.3390/md17040233>.

Pereira, H., Barreira, L., Figueiredo, F., Custódio, L., Vizetto-Duarte, C., Polo, C., ... & Varela, J. (2012). Polyunsaturated fatty acids of marine macroalgae: potential for nutritional and pharmaceutical applications. *Marine Drugs*, 10(9), 1920-1935.
<https://doi.org/10.3390/md10091920>.

Polak-Juszczak, L., & Komar-Szymczak, K. (2009). Fatty acid profiles and fat contents of commercially important fish from Vistula Lagoon. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 59(3).

Pollero, R. J., Brenner, R. R., & Gros, E. G. (1981). Seasonal changes in lipid and fatty acid composition of the freshwater mollusk, *Diplodom patagonicus*. *Lipids*, 16(2), 109-113.
<https://doi.org/10.1007/BF02535683>.

Rangasamy, E., LBS, V. V., Kamali, M. D., & Muniyandi, M. (2024). Determination of proximate composition on some edible crabs with special reference to nutritional aspects collected from coastal waters of Rameshwaram, Tamil Nadu. *Food Chemistry Advances*, 100686. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100686>.

Remize, M., Brunel, Y., Silva, J. L., Berthon, J. Y., & Filaire, E. (2021). Microalgae n-3 PUFAs production and use in food and feed industries. *Marine drugs*, 19(2), 113.
<https://doi.org/10.3390/md19020113>.

Saglik, S., & Imre, S. (1997). Fatty acid composition and cholesterol content of mussel and shrimp consumed in Turkey. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 3(3).

Sargent, J. R., & Falk-Petersen, S. (1988). The lipid biochemistry of calanoid copepods. In *Biology of Copepods: Proceedings of the Third International Conference on Copepoda* (pp. 101-114). Springer Netherlands.

Scharnweber, K., Chaguaceda, F., & Eklöv, P. (2021). Fatty acid accumulation in feeding types of a natural freshwater fish population. *Oecologia*, 196(1), 53-63.
<https://doi.org/10.1007/s00442-021-04913-y>.

Senso, L., Suárez, M. D., Ruiz-Cara, T., & García-Gallego, M. (2007). On the possible effects of harvesting season and chilled storage on the fatty acid profile of the fillet of farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Food Chemistry*, 101(1), 298-307.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.036>.

Sharma, R., Ahlawat, S., Aggarwal, R. A. K., Dua, A., Sharma, V., & Tantia, M. S. (2018). Comparative milk metabolite profiling for exploring superiority of indigenous Indian cow milk over exotic and crossbred counterparts. *Journal of food science and technology*, 55, 4232-4243. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3360-2>.

Shahidi, F., & Botta, J. R. (2012). *Seafoods: chemistry, processing technology and quality*. Springer Science & Business Media.

Soran, H., Adam, S., Mohammad, J. B., Ho, J. H., Schofield, J. D., Siahmansur, T., ... & Durrington, P. N. (2018). Hypercholesterolaemia—practical information for non-specialists. *Archives of medical science*, 14(1), 1-21.
<https://doi.org/10.5114/aoms.2018.72238>.

Skalecki, P., Kaliniak-Dziura, A., Domaradzki, P., Florek, M., & Kępka, M. (2020). Fatty acid composition and oxidative stability of the lipid fraction of skin-on and skinless fillets of prussian carp (*Carassius gibelio*). *Animals*, 10(5), 778. <https://doi.org/10.3390/ani10050778>.

Stancheva, M., Merdzhanova, A., Dobрева, D. A., & Makedonski, L. (2014). Common carp (*Cyprinus caprio*) and European catfish (*Sillurus glanis*) from the Danube River as sources of fat soluble vitamins and fatty acids. *Czech Journal of Food Sciences*, 32(1). <https://doi.org/10.17221/31/2013-CJFS>.

Şereflişan, H., & Ersoy Altun, B. (2018). Amino acid and fatty acid composition of freshwater mussels, *Anodonta pseudodopsis* and *Unio tigridis*. *Pakistan Journal of Zoology*, 50(6), 2153-8. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2018.50.6.2153.2158>.

Tipnee, S., Ramaraj, R., & Unpaprom, Y. (2015). Nutritional evaluation of edible freshwater green macroalga *Spirogyra varians*. *Emergent Life Sciences Research*, 1(2), 1-7.

Tork, M. B., Vazifedoost, M., Hesarinejad, M. A., Didar, Z., & Zenoozian, M. S. (2022). Fabrication of dragee containing *Spirulina platensis* microalgae to enrich corn snack and evaluate its sensorial, physicochemical and nutritional properties. *Foods*, 11(13). <https://doi.org/10.3390/foods11131909>.

EFSA-European Food Safety Authority, (2010). Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *Efsa Journal*, 8(3), 1461. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1461>.

FAO. WHO (2019) . Sustainable and Healthy Diets: Guiding Principles. FAO; Rome, Italy.

FAO-Food and Nutrition Paper (2008). Fats and Fatty Acids in Human Nutrition; Report of an Expert Consultation; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Geneva, Switzerland.

Fernandes, C. E., da Silva Vasconcelos, M. A., de Almeida Ribeiro, M., Sarubbo, L. A., Andrade, S. A. C., & de Melo Filho, A. B. (2014). Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil. *Food chemistry*, 160, 67-71. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.055>.

Freites, L., Fernández-Reiriz, M. J., & Labarta, U. (2002). Fatty acid profiles of *Mytilus galloprovincialis* (Lmk) mussel of subtidal and rocky shore origin. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 132(2), 453-461. [https://doi.org/10.1016/S1096-4959\(02\)00057-X](https://doi.org/10.1016/S1096-4959(02)00057-X).

Ghaeni, M., and Ghahfarokhi, K. N. 2013. Fatty Acids Profile, Atherogenic (IA) and Thrombogenic (IT) Health Lipid Indices in *Leiognathus bindus* and *Upeneus sulphureus*. *Journal of Marine Science: Research and Development*, 03(04): 1-3.

Gladyshev, M. I., Sushchik, N. N., & Makhutova, O. N. (2013). Production of EPA and DHA in aquatic ecosystems and their transfer to the land. *Prostaglandins & other lipid mediators*, 107, 117-126. <https://doi.org/10.1016/j.prostaglandins.2013.03.002>.

Golden, C. D. et al. Nutrition: fall in fish catch threatens human health. *Nature* 534, 317–320 (2016).

González-Meza, G. M., Elizondo-Luevano, J. H., Cuellar-Bermudez, S. P., Sosa-Hernández, J. E., Iqbal, H. M., Melchor-Martínez, E. M., & Parra-Saldívar, R. (2023). New Perspective for Macroalgae-Based Animal Feeding in the Context of Challenging Sustainable Food Production. *Plants*, 12(20), 3609. <https://doi.org/10.3390/plants12203609>.

Göğüş, A. K. and Kolsarıcı, N. (1992). Su ürünleri teknolojisi ders kitabı, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1243, Ankara, 1992. (In Turkish).

Husted, K. S., & Bouzinova, E. V. (2016). The importance of n-6/n-3 fatty acids ratio in the major depressive disorder. *Medicina*, 52(3), 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.medic.2016.05.003>.

FAO (2021). Global Production by Production Source 1950–2019. *FishStatJ* (FAO, 2021).

Murzina, S. A., Voronin, V. P., Ruokolainen, T. R., Artemenkov, D. V., & Orlov, A. M. (2022). Comparative analysis of lipids and fatty acids in beaked redfish *Sebastes mentella* Travin, 1951 collected in wild and in commercial products. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(1), 59. <https://doi.org/10.3390/jmse10010059>.

Rimm, E. B. et al. Seafood long-chain n–3 polyunsaturated fatty acids and cardiovascular disease: a science advisory from the American Heart Association. *Circulation* **138**, e35–e47 (2018).

Golden, C. D., Koehn, J. Z., Shepon, A., Passarelli, S., Free, C. M., Viana, D. F., ... & Thilsted, S. H. (2021). Aquatic foods to nourish nations. *Nature*, 598(7880), 315-320.

Katiyar, R., & Arora, A. (2020). Health promoting functional lipids from microalgae pool: A review. *Algal Research*, 46, 101800. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101800>.

Kizilkaya, B., & Ücyol, N. (2022). Investigation and Comparison of the Suitability and Usability of Fatty Acids and the Lipid Quality Index Parameters in Waste Skin and Bones of Some Cultured Fish. *Research in Marine Sciences*, 7(2), 3-16.

Kris-Etherton, P. M., & Yu, S. (1997). Individual fatty acid effects on plasma lipids and lipoproteins: human studies. *The American journal of clinical nutrition*, 65(5), 1628S-1644S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/65.5.1628S>.

Kris-Etherton, P., Fleming, J., & Harris, W. S. (2010). The debate about n 6 polyunsaturated fatty acid recommendations for cardiovascular health. *Journal of the American Dietetic Association*, 110(2), 201-204. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.12.006>.

Ljubojevic, D., Trbovic, D., Lujic, J., Bjelic-Cabrilo, O., Kostic, D., Novakov, N., & Cirkovic, M. (2013). Fatty acid composition of fishes from inland waters. *Bulgarian journal of agricultural science*, 19(1), 62-71.

Maltsev, Y., & Maltseva, K. (2021). Fatty acids of microalgae: Diversity and applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 20, 515-547. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09571-3>.

Manuela A, G., Robert, V. A., Yoannis, N., Elvira, L., Rossana, R., Roberta, M., ... & Daniele, G. (2011). Fatty acids profile, atherogenic (IA) and thrombogenic (IT) health lipid indices, of raw roe of blue fin tuna (*Thunnus thynnus* L.) and their salted

product “Bottarga”. *Food and Nutrition Sciences*, 2011. <https://doi.org/10.4236/fns.2011.27101>.

Melo, H. M., Santos, L. E., & Ferreira, S. T. (2019). Diet-derived fatty acids, brain inflammation, and mental health. *Frontiers in neuroscience*, 13, 439762. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00265>.

Moraga, P., & GBD 2016 Causes of Death Collaborators. (2017). Global, regional, and national age-sex specific mortality for 264 causes of death, 1980-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet*, 390(10100), 1151-1210.

.

Khan, M. I., Shin, J. H., & Kim, J. D. (2018). The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial cell factories*, 17, 1-21. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>.

Kryvenda, A., Rybalka, N., Wolf, M., & Friedl, T. (2018). Species distinctions among closely related strains of Eustigmatophyceae (Stramenopiles) emphasizing ITS2 sequence-structure data: Eustigmatos and Vischeria. *European journal of phycology*, 53(4), 471-491. <https://doi.org/10.1080/09670262.2018.1475015>.

Manson, J. E. et al. Marine n-3 fatty acids and prevention of cardiovascular disease and cancer. *N. Engl. J. Med.* 380, 23-32 (2019).

Merdzhanova, A., Dobрева, D. A., Stancheva, M., & Makedonski, L. (2014). Fat soluble vitamins and fatty acid composition of wild Black sea mussel, rapana and shrimp. *Ovidius University Annals of Chemistry*, 25(1), 15-23. <https://doi.org/10.2478/auoc-2014-0003>.

Meesapyodsuk, D., & Qiu, X. (2016). Biosynthetic mechanism of very long chain polyunsaturated fatty acids in *Thraustochytrium* sp. 26185 [S]. *Journal of lipid research*, 57(10), 1854-1864. <https://doi.org/10.1194/jlr.M070136>.

Monteiro, M., Matos, E., Ramos, R., Campos, I., & Valente, L. M. (2018). A blend of land animal fats can replace up to 75% fish oil without affecting growth and nutrient utilization of European seabass. *Aquaculture*, 487, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.043>.

Mensah, G. A., Roth, G. A. & Fuster, V. The global burden of cardiovascular diseases and risk factors: 2020 and beyond. *J. Am. Coll. Cardiol.* 74, 2529–2532 (2019).

Nwagbo, U., & Bernstein, P. S. (2023). Understanding the roles of very-long-chain polyunsaturated fatty acids (VLC-PUFAs) in eye health. *Nutrients*, 15(14), 3096. <https://doi.org/10.3390/nu15143096>.

CUP, 2018. Meat, Fish and Dairy Products and the Risk of Cancer. Continuous Update Project Expert Report 2018 (World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research, 2018).

Koyande, A. K., Chew, K. W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D. T., & Show, P. L. (2019). Microalgae: A potential alternative to

health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, 8(1), 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.001>.

Krzysik, M., Biernat, J., & Grajeta, H. (2006). The Influence of Nutrients on Immune System Functioning-Part I. Immunomodulatory Effects of Fatty Acids on the Human Body. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 15(6), 1055.

Lima, J. D. F., Garcia, J. D. S., & Silva, T. C. D. (2014). Natural diet and feeding habits of a freshwater prawn (*Macrobrachium carcinus*: Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Amazon River. *Acta Amazonica*, 44, 235-244.

Lin, H., Jiang, J., Xue, C. H., Zhang, B., & Xu, J. C. (2003). Seasonal changes in phospholipids of mussel (*Mytilus edulis* Linne). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(2), 133-135. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1281>.

Luzia, L. A., Sampaio, G. R., Castellucci, C. M., & Torres, E. A. (2003). The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish. *Food chemistry*, 83(1), 93-97. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00054-2).

Maia, M. L., Almeida, A., Soares, C., Silva, L. M., Delerue-Matos, C., Calhau, C., & Domingues, V. F. (2022). Minerals and fatty acids profile of Northwest Portuguese coast shrimps. *Journal of Food Composition and Analysis*, 112, 104652. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104652>.

Mason, S. L., Shi, J., Bekhit, A. E. D., & Gooneratne, R. (2014). Nutritional and toxicological studies of New Zealand Cookia

sulcata. *Journal of Food Composition and Analysis*, 36(1-2), 79-84.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.08.002>.

McLennan, P. L., & Abeywardena, M. Y. (2005). Membrane basis for fish oil effects on the heart: linking natural hibernators to prevention of human sudden cardiac death. *The Journal of membrane biology*, 206, 85-102. <https://doi.org/10.1007/s00232-005-0787-y>.

Mensink, R. P., Zock, P. L., Kester, A. D., & Katan, M. B. (2003). Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *The American journal of clinical nutrition*, 77(5), 1146-1155. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.5.1146>.

Moradi, Y., Bakar, J., Motalebi, A. A., Syed Muhamad, S. H., & Che Man, Y. (2011). A review on fish lipid: Composition and changes during cooking methods. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 20(4), 379-390.
<https://doi.org/10.1080/10498850.2011.576449>.

Moniruzzaman, M., Sku, S., Chowdhury, P., Tanu, M. B., Yeasmine, S., Hossen, M. N., & Mahmud, Y. (2021). Nutritional Evaluation of Some Economically Important Marine and Freshwater Mollusc Species of Bangladesh. *Heliyon*, 7(5).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07088>.

Omri, B., Chalghoumi, R., Izzo, L., Ritieni, A., Lucarini, M., Durazzo, A., ... & Santini, A. (2019). Effect of dietary incorporation of linseed alone or together with tomato-red pepper mix on laying

hens' egg yolk fatty acids profile and health lipid indexes. *Nutrients*, 11(4), 813. <https://doi.org/10.3390/nu11040813>.

Öksüz, A., Özyılmaz, A., & Küver, Ş. (2011). Fatty acid composition and mineral content of *Upeneus moluccensis* and *Mullus surmuletus*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11(1). <https://doi.org/10.4194/trjfas.2011.0110>.

Özogul, Y., Özogul, F., & Alagoz, S. (2007). Fatty acid profiles and fat contents of commercially important seawater and freshwater fish species of Turkey: A comparative study. *Food chemistry*, 103(1), 217-223. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.009>.

Özogul, Y., & Özogul, F. (2007). Fatty acid profiles of commercially important fish species from the Mediterranean, Aegean and Black Seas. *Food Chemistry*, 100(4), 1634-1638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.047>.

Prato, E., Biandolino, F., Parlapiano, I., Papa, L., Denti, G., & Fanelli, G. (2019). Seasonal changes of commercial traits, proximate and fatty acid compositions of the scallop *Flexopecten glaber* from the Mediterranean Sea (Southern Italy). *PeerJ*, 7, e5810.

Raatz, S. K., Silverstein, J. T., Jahns, L., & Picklo, M. J. (2013). Issues of fish consumption for cardiovascular disease risk reduction. *Nutrients*, 5(4), 1081-1097. <https://doi.org/10.3390/nu5041081>.

Radhakrishnan, E. V., Manisseri, M. K., & Nandakumar, G. (2007). Status of research on crustacean resources. In: Status and

Perspectives in Marine Fisheries Research in India. CMFRI, Cochin, pp. 135-172.

Ramos-Filho, MM, Ramos MIL, Hiane PA, Souza EMT. 2008. Perfil lipídico de quatro espécies de peixes da região pantaneira de Mato Grosso do Sul. *Food Sci. Technol.* **28** (2), 361–365. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000200014>.

Ren, L. J., Chen, S. L., Geng, L. J., Ji, X. J., Xu, X., Song, P., ... & Huang, H. (2018). Exploring the function of acyltransferase and domain replacement in order to change the polyunsaturated fatty acid profile of *Schizochytrium* sp. *Algal research*, 29, 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.11.021>.

Shumway, S. E., & Parsons, G. J. (Eds.). (2016). *Scallops: biology, ecology, aquaculture, and fisheries*. 3rd Edition, 40, Elsevier, Amsterdam.

Silva, M. C. N., Frédou, F. L., & Rosa Filho, J. S. (2007). Estudo do crescimento do camarão *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) da Ilha de Combú, Belém, Estado do Pará. *Amazônia, Ciência & Desenvolvimento*, 2(4), 85-104.

Sriket, P., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Kijroongrojana, K. (2007). Comparative studies on chemical composition and thermal properties of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) meats. *Food chemistry*, 103(4), 1199-1207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.039>.

Steffens, W. (1997). Effects of variation in essential fatty acids in fish feeds on nutritive value of freshwater fish for

humans. *Aquaculture*, 151(1-4), 97-119.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01493-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01493-7).

Stratev, D., Popova, T., Zhelyazkov, G., Vashin, I., Dospatliev, L., & 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>.

Şen Özdemir, N., Caf, F., Koyun, M., & Kırıcı, M. (2023). Factors affecting nutritional quality in terms of the fatty acid composition of *Cyprinion macrostomus*. *Grasas y Aceites*, 74(2), e508. <https://doi.org/10.3989/gya.0444221>.

Şen Özdemir, N. (2023). What are the most effective biotic and abiotic factors affecting fatty acid composition of *Garra rufa* (Heckel, 1843)?. *Grasas y Aceites*, 74(3), e518-e518. <https://doi.org/10.3989/gya.0224221>.

Taipale, S., Peltomaa, E., & Salmi, P. (2020). Variation in ω -3 and ω -6 polyunsaturated fatty acids produced by different phytoplankton taxa at early and late growth phase. *Biomolecules*, 10(4), 559.
<https://doi.org/10.3390/biom10040559>.

Tan, K., Zhang, H., Li, S., Ma, H., & Zheng, H. (2022). Lipid nutritional quality of marine and freshwater bivalves and their aquaculture potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(25), 6990-7014.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1909531>.

Taylor, A. G., & Savage, C. (2006). Fatty acid composition of New Zealand green-lipped mussels, *Perna canaliculus*:

Implications for harvesting for n-3 extracts. *Aquaculture*, 261(1), 430-439. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.08.024>.

Testi, S., Bonaldo, A., Gatta, P. P., & Badiani, A. (2006). Nutritional traits of dorsal and ventral fillets from three farmed fish species. *Food chemistry*, 98(1), 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.053>.

Thomas, J., Thomas, C. J., Radcliffe, J., & Itsiopoulos, C. (2015). Omega-3 fatty acids in early prevention of inflammatory neurodegenerative disease: a focus on Alzheimer's disease. *BioMed research international*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/172801>.

Tibaoui, S., Smeti, S., Essid, I., Bertolín, J. R., Joy, M., & Atti, N. (2020). Physicochemical characteristics, fatty acid profile, alpha-tocopherol content, and lipid oxidation of meat from ewes fed different levels of distilled myrtle residues. *Molecules*, 25(21), 4975. <https://doi.org/10.3390/molecules25214975>.

Tsape, K., Sinanoglou, V. J., & Miniadis-Meimaroglou, S. (2010). Comparative analysis of the fatty acid and sterol profiles of widely consumed Mediterranean crustacean species. *Food Chemistry*, 122(1), 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.019>.

Ugoala, C., Ndukwe, G. I., & Audu, T. O. (2008). Comparison of fatty acids profile of some freshwater and marine fishes. *Internet Journal of Food Safety*, 10, 9-17.

Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *The lancet*, 338(8773), 985-992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M).

Van Der Heijden, L. H., Graeve, M., Asmus, R., Rzeznik-Orignac, J., Niquil, N., Bernier, Q., ... & Lebreton, B. (2019). Trophic importance of microphytobenthos and bacteria to meiofauna in soft-bottom intertidal habitats: A combined trophic marker approach. *Marine environmental research*, 149, 50-66. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.05.014>.

Van Ginneken, V. J., Helsper, J. P., de Visser, W., van Keulen, H., & Brandenburg, W. A. (2011). Polyunsaturated fatty acids in various macroalgal species from north Atlantic and tropical seas. *Lipids in health and disease*, 10, 1-8.

Van Nguyen, M., Kakooza, D., Tran, A. P., & Tran, V. T. (2024). Variation in the lipid profile of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) cultured in Khanh Hoa Coast, Vietnam, based on location and harvest period. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 74(1), 16-25. <https://doi.org/10.31883/pjfn/178395>.

Vazhappilly, R., & Chen, F. (1998). Eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid production potential of microalgae and their heterotrophic growth. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(3), 393-397. <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0057-0>.

Vuppaladadiyam, A. K., Prinsen, P., Raheem, A., Luque, R., & Zhao, M. (2018). Sustainability analysis of microalgae production systems: a review on resource with unexploited high-value reserves. *Environmental science & technology*, 52(24), 14031-14049. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02876>.

Wall, R., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Stanton, C. (2010). Fatty acids from fish: the anti-inflammatory potential of long-chain

omega-3 fatty acids. *Nutrition reviews*, 68(5), 280-289. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00287.x>.

Wan, A. H., Davies, S. J., Soler-Vila, A., Fitzgerald, R., & Johnson, M. P. (2019). Macroalgae as a sustainable aquafeed ingredient. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 458-492. <https://doi.org/10.1111/raq.12241>.

Wells, M. L., Potin, P., Craigie, J. S., Raven, J. A., Merchant, S. S., Helliwell, K. E., ... & Brawley, S. H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of applied phycology*, 29, 949-982. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5>.

Williams, C. M. (2000, May). Dietary fatty acids and human health. In *Annales de zootechnie* (Vol. 49, No. 3, pp. 165-180). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/animres:2000116>.

Wilson, S., Jeyasanta, K. I., & Patterson, J. (2017). Nutritional status of swimming crab *Portunus sanguinolentus* (Herbst, 1783). *J. Aquat. Biol. Fish*, 5, 191-202.

WorldFish. 2030 Research and Innovation Strategy: Aquatic Foods for Healthy People and Planet (eds Lala-Pritchard, T. & Johnstone, G) (WorldFish, 2020).

World Health Organization-WHO (2016). Nutrition, populant nutrient intake goals for preventing diet-related chronic diseases. [http:// www.who.int/dietphysicalactivity/publications](http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications). Accessed 15 May 2024.

Xu, Q., & Yang, H. (2007). Food sources of three bivalves living in two habitats of Jiaozhou Bay (Qingdao, China): indicated

by lipid biomarkers and stable isotope analysis. *Journal of Shellfish Research*, 26(2), 561-567. [https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2007\)26\[561:FSOTBL.2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2007)26[561:FSOTBL.2.0.CO;2).

Yazici, Z., Aysel, V., Öksüz, E., Köse, A., Cumali, S., & Güven, K. C. (2007). Fatty acid composition of marine macroalgae from the Black Sea and Dardanelles. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 89(2), 371-379. <https://doi.org/10.1080/02772240601012366>.

Yerlikaya, P., Topuz, O. K., Buyukbenli, H. A., & Gokoglu, N. (2014). Fatty acid profiles of different shrimp species: effects of depth of catching. *Journal of aquatic food product technology*, 22(3), 290-297. <https://doi.org/10.1080/10498850.2011.646388>.

Yu, S., Derr, J., Etherton, T. D., & Kris-Etherton, P. M. (1995). Plasma cholesterol-predictive equations demonstrate that stearic acid is neutral and monounsaturated fatty acids are hypocholesterolemic. *The American journal of clinical nutrition*, 61(5), 1129-1139. <https://doi.org/10.1093/ajcn/61.5.1129>.

Zarai, Z., Frikha, F., Balti, R., Miled, N., Gargouri, Y., & Mejdoub, H. (2011). Nutrient composition of the marine snail (*Hexaplex trunculus*) from the Tunisian Mediterranean coasts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(7), 1265-1270. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4309>.

Zlatanov, S., & Laskaridis, K. (2007). Seasonal variation in the fatty acid composition of three Mediterranean fish—sardine (*Sardina pilchardus*), anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and picarel

(Spicara smaris). *Food chemistry*, 103(3), 725-728.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.013>.

Zhao, Z., Zhang, S., & Zhao, L. (2021). Fatty acid composition of macroalgae from Nao Zhou island. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 31, 477-480.
<https://doi.org/10.1007/s43450-021-00153-6>.

Zhukova, N. V. (2014). Lipids and fatty acids of nudibranch mollusks: potential sources of bioactive compounds. *Marine Drugs*, 12(8), 4578-4592. <https://doi.org/10.3390/md12084578>.

BÖLÜM V

The Effect of Caprylic Acid and Garlic Supplemented Feed on Gill Parasite (*Sparicotyle chrysophrii*) Infection in Gilthead Sea Bream

Sema MİDİLLİ¹

Deniz ÇOBAN²

Mehmet GÜLER³

Melike YILDIRIM⁴

Hüseyin İHTİYAROĞLU⁵

Engin ARBAÇ⁶

¹ Dr, Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Agriculture, Department of Fisheries and Aquaculture, sema.ozturk@adu.edu.tr, Orcid: 0000-0001-6284-2949

² Prof Dr, Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Agriculture, Department of Fisheries and Aquaculture, deniz.coban@adu.edu.tr, Orcid: 0000-0001-7058-3123

³ Assoc. Prof., Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Agriculture, Department of Fisheries and Aquaculture, mehmetguler@adu.edu.tr, Orcid: 0000-0001-8257-1138

⁴ Dr. Kanyon Akua Veterinary Clinic, Milas, Muğla, Türkiye, vet.melike.dereli@gmail.com, Orcid: 0000-0001-9952-2279

⁵ Vet, Kanyon Akua Veterinary Clinic, Milas, Muğla, Türkiye, vh.huseyin@gmail.com, Orcid: 0009-0000-7835-1511

⁶ Aquaculture engineer, Gümtüşdoğa Aquaculture, Milas, Muğla, Türkiye, enginarbac@hotmail.com, Orcid: 0009-0007-9268-4460

Introduction

Mediterranean countries are major producers of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L. 1758): Türkiye is the leading country among them in aquaculture production (FAO, 2023: 29). In fish farms, ectoparasites are significant disease agents that harm the gills, skin, and fin of the fish (Borrego et al., 2017: 3; Özer et al., 2019: 164). *Sparicotyle (Microcotyle) chrysophrii* (Class: Monogenea, Subclass: Polyopisthocotylea), is one of the common gill parasites in gilthead sea bream culture (Mladineo et al., 2023: 288; Riera-Ferrer et al., 2023: 1). Studies have generally reported anemic problems on the gill, hypoxia, losing weight, the result of decreasing fish growth, and economic loss (Rigos et al., 2013: 15; Henry et al., 2015: 185; Riera-Ferrer et al., 2023: 7). Parasite effects on the gill tissue are hemorrhage, hyperplasia, edema, and fusion in the gill filaments (Mladineo et al., 2023: 12; Riera-Ferrer et al., 2023: 9).

Garlic has antimicrobial properties (Nakamoto et al., 2020: 1551), and effective against some parasitic agents in the various studies. These studies were conducted on *Ichthyophthirius multifiliis* (Buchmann et al., 2003: 21), *Gyrodactylus turnbulli* (Schelkle et al., 2013: 96; Fridman et al., 2014: 51), *Dactylogyrus* (Fridman et al., 2014: 51), and *Sparicotyle chrysophrii* (Firmino et al., 2020: 1). Caprylic acid may be effective against some parasitic agents: *Heterobothrium okamotoi* (Hirazawa et al., 2000: 2), *Heterobothrium okamotoi* (Hirazawa et al., 2001a: 219), *Cryptocaryon irritans* (Hirazawa et al., 2001b: 211), *Sparicotyle chrysophrii* (Rigos et al., 2013: 17; 2016: 3). In the present study, the effects of a commercial feed additive composed of garlic powder and caprylic acid against *S.chrysophrii* were reported.

Material and method

Fish Sampling

Samples were taking from April to August for 5 times from Milas and Bodrum aquaculture areas in Muğla/Türkiye, in 2016. Sea water temperatures were 18, 21, 24, 25, 26 °C, respectively. Cages were 20x10 m (diameter x height) and stock density was 15 kg/m³. 3 fish from each study group (S1: mean 235,00 g; S2: mean 313,33 g) and 3 from each control group (C1: mean 400,00 g; C2: mean 395,00 g) were sampled monthly.

Parasite Observation and Histopathological Examination

Freshly dead fish samples were took and left gill filaments were cut off and put on a lam with one drop of sea water and observed under light microscope, and noted number of *Sparicotyle chrysophrii*.

Infected gill filaments were fixed in 10% buffered formalin solution for histological study. After tissue proceeding, tissue embedded in parafine. That embedded tissue were cut by a rotary mikrotom (Leica RT 2125 RTS) and stained by Hematoksilen & Eosin (Culling et al., 1985: 1-5). Preperates were observed under light microscope and taken microphotos (Novex B BTS and Olympus CX31).

Feed Additive

Feed additive is composed of crude ash (%53,25), calcium (6.2%), crude oil (0.8%), crude protein (%0,23), moisture (3%) with garlic powder and medium chain fatty acids (caprylic acids) (Liptocitro MMM 195). Dose of the feed additive is 5 kg/ton of feed.

Statistical Analysis

Mean $\pm$ standard error (Mean $\pm$ SE) was calculated in each group. Effects of feed additive and fish weight on variation of parasite density during the trial was tested by generalized linear model (GLM).

Results

Fish samples were weighted between 136.2 and 650.0 grams. Also, final average weights were 388.33 and 498.33 for S1 and S2; 418 and 560 for C1 and C2 (Figure 1). *S. chrysophrii* infected fish showed excessive mucus secretion on skin, anemic and hemorrhagic gills. Histologically parasite caused edema, hyperplasia and fusion on the gills. Also, it was reported that the parasite's haptor is where clamps are placed, each clamp attached to a gill filament.

The mean parasite number (number of parasites/fish) of the parasites in fish fed with feed additive decreased from 5.3 (April) to 0.7 (August) but there was an increase in June (4.5). The mean parasite number in the control group decreased 3.5 in April to 1.7 in July, and peaked in June as 13 (Figure 2). The number of parasites differed monthly ($p<0.05$); between no-additive and additive groups, there was no difference significantly ($p>0.05$). The feed additive was effective against the parasite within months ($p<0.05$).

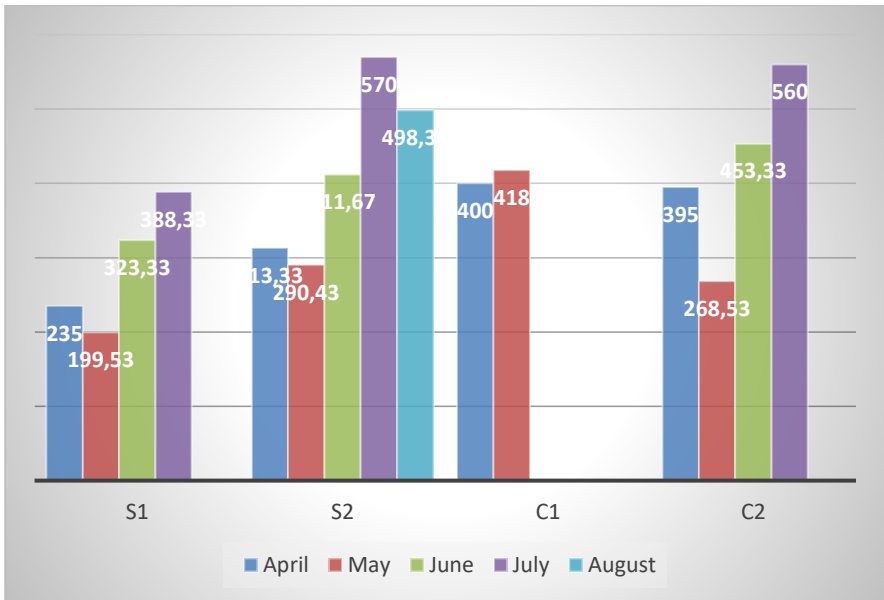


Figure 1. Fish weight change according to months S1: study groups 1, S2: study groups 2, C1: control groups 1, C2: control groups 2.

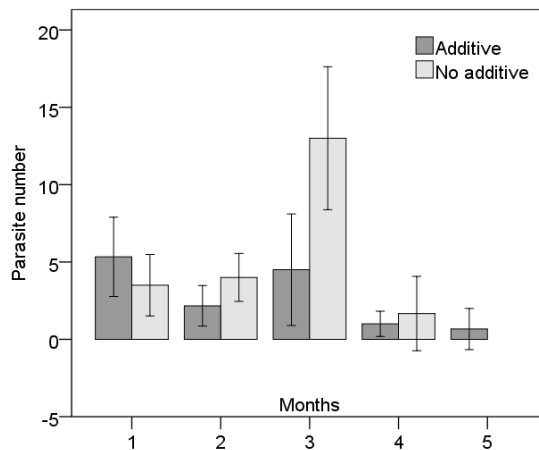


Figure 2. Comparison of parasite counts in groups with/without feed supplementation by months

Discussion and Conclusion

While the parasite density was observed to be lower in cold water at the beginning of the study, the parasite density suddenly increased in May and June as the temperature increased, in parallel with Sitja-Bobadilla et al. (2010: 940). Also, Rigos et al. (2013: 18) declared that *S. chrysophrii* prevalence reached 100% in May-June. According to Jones (2001: 843), increased mucus secretion is often related to epithelial cell hyperplasia. Similarly, in the study, increased mucus secretion was observed in some parasite-infested fish. Each of the hooks on the haptor of the parasite grasps only one secondary filament, similar to Mladineo et al. (2023: 299). According to Militz et al (2013: 460), garlic as a feed additive was very effective even against *Neobenedenia* spp. larvae. Also, Rosny et al (2016: 188) advised garlic against *Acanthocephala*, and Fridman et al (2014: 51) reported garlic extracted feed effective against *Gyrodactylus turnbulli*. Rigos et al. (2013: 17; 2016: 3) reported that caprylic acid may be effected against to *S. chrysophrii*.

.....

It was concluded that the feed additive had a positive effect on *S. chrysophrii* within several months. The results of this study are one of the rare studies conducted in a commercial environment.

References

Borrego, J.J., Labella, A.M., Castro, D., Ortiz-Delgado, J.B., Sarasquete, C. (2017). Updated of the pathologies affecting cultured gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Annals of Aquaculture and Research*, 4(2), 1033, 1-14. <https://doi.org/10.47739/2379-0881/1033>

Buchmann, K., Jensen, P.B., Kruse, K.D. (2003). Effects of sodium percar-bonate and garlic extract on *Ichthyophthirius multifiliis* theronts and tomocysts; in vitro experiments. *North American Journal of Aquaculture*, 65, 21–24. [https://doi.org/10.1577/1548-8454\(2003\)065<0021:EOSPAG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8454(2003)065<0021:EOSPAG>2.0.CO;2)

Culling, A.F., Allison, T.R., Barr, T.W. (1985). Routine Staining Procedures. *Cellulary patholog technique*. (p. 33-37). London: Mid-County Pres.

FAO (2023). Aquaculture Production. *The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries 2023*. (p. 27-31). *Special edition*. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc8888en>

Firmino, J.P., Vallejos-Vidal, E., Sarasquete, C., Ortiz-Delgado, J.B., Balasch, J.C., Tort, L., Estevez, A., Reyes-López, F.E., Gisbert, E. (2020). Unveiling the effect of dietary essential oils supplementation in *Sparus aurata* gills and its efficiency against the infestation by *Sparicotyle chrysophrii*. *Nature Research*, 10:17764, 1-24. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74625-5>

Fridman, S., Sinai, T., Zilberg, D. (2014). Efficacy of garlic based treatments against monogenean parasites infecting the guppy (*Poecilia reticulata* (Peters)). *Veterinary Parasitology*, 203 (2014): 51–58. doi: 10.1016/j.vetpar.2014.02.002

Henry, M.A., Nikoloudaki, C., Tsigenopoulos, C., Rigos, G. (2015). Strong effect of long-term *Sparicotyle chrysophrii* infection on the cellular and innate immune responses of gilthead sea bream, *Sparus aurata*. *Developmental and Comparative Immunology*, 51, 185–193. doi: 10.1016/j.dci.2015.03.010

Hirazawa, N., Ohtaka, T., Hata, K. (2000). Challenge trials on the anthelmintic effect of drugs and natural agents against the monogenean *Heterobothrium okamotoi* in the tiger puffer *Takifugu rubripes*. *Aquaculture*, 188–2000, 1–13. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00334-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00334-3)

Hirazawa, N., Oshima, S., Mitsuboshi, T., Hata, K. (2001a). The anthelmintic effect of medium-chain fatty acids against the monogenean *Heterobothrium okamotoi* in the tiger puffer *Takifugu rubripes*: evaluation of doses of caprylic acid at different water temperatures. *Aquaculture*, 195, 211–223. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00565-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00565-2)

Hirazawa, N., Oshima, S., Hara, T., Mitsuboshi, T., Hata, K. (2001b). Antiparasitic effect of medium-chain fatty acids against the ciliate *Cryptocaryon irritans* infestation in the red sea bream *Pagrus major*. *Aquaculture*, 198, 219–228. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00503-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00503-8)Get rights and content

Jones, S.R.M. (2001). The occurrence and mechanisms of innate immunity against parasites in fish. *Developmental and*

Comparative Immunology, 25, 841–852. doi: 10.1016/s0145-305x(01)00039-8

Mladineo, I., Volpatti, D., Beraldo, P., Rigos, G., Katharios, P., Padros, F. (2023). Monogenean *Sparicotyle chrysophrii*: The major pathogen of the Mediterranean gilthead seabream aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 16, 287-308. DOI: 10.1111/raq.12839

Militz, T.A., Southgate, P.C., Carton, A.G., Hutson, K.S. (2013). Efficacy of garlic (*Allium sativum*) extract applied as a therapeutic immersion treatment for *Neobenedenia* sp. management in aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, 37(5), 451-461. <https://doi.org/10.1111/jfd.12129>

Nakamoto, M., Kunimura, K., Suzuki, J., Kodera, Y. (2020). Antimicrobial properties of hydrophobic compounds in garlic: Allicin, vinylthiin, ajoene and diallyl polysulfides. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 19, 1550-1553. doi: 10.3892/etm.2019.8388

Özer, A., Okay, S., Öztürk, T., Baki, B., Acar, G., Güven, A., Kaya, Öztürk, D. (2019). Comparative *Diplectanum aequans* (Monogenea) infestations in cultured European seabass (*Dicentrarchus labrax*) in the Black Sea and the Aegean Sea, *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 36(2), 163-169. doi: 10.12714/egejfas.2019.36.2.08

Riera-Ferrer, E. Del Pozo, R., Piazzon, M.C., Sitja-Bobadilla, A., Estensoro, I., Palenzuela O. *Sparicotyle chrysophrii* experimental infection of gilthead seabream (*Sparus aurata*): Establishment of an *in vivo* model reproducing the pathological

outcomes of sparicotylosis. *Aquaculture*, 573, 1-12. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739588

Rigos, G., Fountoulaki, E., Cotou, E., Dotsika, E., Dourala, N., Karacostas, I. (2013). Tissue distribution and field evaluation of caprylic acid against natural infections of *Sparicotyle chrysophrii* in cage-reared gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Aquaculture*, 408–409 (2013) 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.05.012>

Rigos, G., Mladineo, I., Nikoloudaki, C., Vrbatovic, A., Kogiannou, D. (2016). Application of compound mixture of caprylic acid, iron and mannan oligosaccharide against *Sparicotyle chrysophrii* (Monogenea: Polyopisthocotylea) in gilthead sea bream, *Sparus aurata*. *Folia Parasitologica*, 63: 027, 1-6. doi: 10.14411/fp.2016.027

Rosny, H.S., Mosharraf Hossain, Md. Mer., Hasan-Uj-Jaman Md., Roy, H.S., Aurpa, I.A., Khondoker, S., Biswas, C. (2016). Dietary supplementation of garlic (*Allium sativum*) to prevent *Acanthocephala* infection in aquaculture. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 4, 188–192. <https://doi.org/10.22271/fish.2016.v4.i3c.746>

Sitja Bobadilla, A., Redondo, M.J., Alvarez-Pellitero, P. (2010). Occurrence of *Sparicotyle chrysophrii* (Monogenea: Polyopisthocotylea) in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) from different mariculture system in Spain, *Aquaculture Research*, 41, 939-944. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02369.x>

Schelkle, B., Snellgrove, D., Cable, J. 2013. In vitro and in vivo efficacy of garlic compounds against *Gyrodactylus turnbulli*

infecting the guppy (*Poecilia reticulata*). *Veterinary Parasitology*, 198, 96–101. doi: 10.1016/j.vetpar.2013.08.027

