

Güncel Su Ürünleri Çalışmaları

EdiÖr
DEMET KOCATEPE

BİDGE Yayınları

Güncel Su Ürünleri Çalışmaları

Editör: Prof. Dr. Demet KOCATEPE

ISBN: 978-625-372-336-1

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2024

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



İçindekiler

Su Ürünleri Kaynaklı Algal Toksinler, Semptomları, Toksin Tespit Yöntemleri ve Limit Değerler	4
Tuğde Nur TAN	4
Sonay BAŞKAN.....	4
Demet KOCATEPE	4
Mehmet Emin ERDEM	4
Su Ürünlerinde Akıllı Paket Sistemleri.....	81
Bayram KÖSTEKLİ.....	81
Mehmet Emin ERDEM	81
Deniz Yosunları, Araştırmalardaki Yeni Trendler.....	115
Sonay BAŞKAN.....	115
Demet KOCATEPE	115

BÖLÜM I

Su Ürünleri Kaynaklı Algal Toksinler, Semptomları, Toksin Tespit Yöntemleri ve Limit Değerler

Tuğde Nur TAN¹

Sonay BAŞKAN²

Demet KOCATEPE³

Mehmet Emin ERDEM⁴

Giriş

Su ürünleri yüksek protein, vitamin ve mineral içeriğiyle önemli bir besin kaynağıdır. Ancak, bu ürünler kontamine alanlarda

¹ Tuğde Nur TAN, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı, Sinop/ Türkiye, Orcid: [0009-0007-0455-0076](https://orcid.org/0009-0007-0455-0076), tuğdetan@outlook.com

² Sonay BAŞKAN, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı, Sinop/ Türkiye, Orcid: [0009-0007-0994-5405](https://orcid.org/0009-0007-0994-5405), baskansonay@gmail.com

³ Prof. Dr. Demet KOCATEPE, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı, Sinop/ Türkiye, Orcid: [0000-0002-9234-1907](https://orcid.org/0000-0002-9234-1907), demetkocatepe@hotmail.com, dkocatepe@sinop.edu.tr

⁴ Prof. Dr. Mehmet Emin ERDEM, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı, Sinop/ Türkiye, Orcid: [0000-0002-3245-8177](https://orcid.org/0000-0002-3245-8177), merdem@sinop.edu.tr

avlandığında veya yetiştirildiğinde, algal toksinler nedeniyle insan sağlığı için ciddi riskler oluşturabilir. Çevresel koşulların değişimi ve artan dünya ticareti ile toksik alglerin yayılımı artmakta, bu da gıda güvenliğini ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Fotosentez yoluyla enerji üreten algler, aynı zamanda çeşitli biyotoksinleri de üreterek, sucul ekosistemde çoğalmakta ve deniz canlıları vasıtasıyla insanlarda zehirlenmeye neden olmaktadır.

Küresel iklim değişikliği ve insan faaliyetleri sonucu, pH'ı düşen deniz suyunda besin maddeleri artmış ve bu da toksik alglerin yaygınlığını artırmıştır. Son yıllarda toksik alglerin neden olduğu zehirlenme vakalarında artış gözlemlenmiş, bu da dünya genelinde izleme ve kontrol programlarının önemini artırmıştır. Özellikle AB direktifleri doğrultusunda, kabuklu deniz ürünleri ve su örnekleri toksinler açısından rutin bir şekilde izlenmektedir.

Protein, esansiyel yağ asitleri, vitamin ve mineral maddeler açısından oldukça zengin olan su ürünleri, özellikle biyolojik ve mikrobiyolojik açıdan kontamine sularda avlanmış ya da yetiştirilmiş ise gıda güvenliğini ve insan sağlığını tehdit etmektedir (Kocatepe & ark., 2013). Su ürünlerine olan talep ve üretim arttıkça, su ürünleri güvenliğine de daha fazla dikkat etmek önemli hale gelmiş, bu konudaki çalışmalar hız kazanmıştır. Daha önce yerel ve önemsiz olarak kabul edilen sorunlar, artan dünya ticareti veya denizdeki çevresel değişikliklerin tetiklediği toksik organizmaların çoğalması sonucu diğer bölgelere yayılabilmektedir (Yasumoto, 2000). Temiz su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması tüm dünya için büyük önem taşımaktadır. Okyanus, deniz, tatlı su kaynaklarının ve bu kaynaklarda yaşayan sucul

canlıların tüketim için güvenilir olması öncelikli araştırma konularındandır (Gültekin, 2020).

Son yıllarda, insan faaliyetleri (tarımsal akış, atık su deşarjları ve arazi kullanım değişiklikleri) ile su ekosistemlerine besin maddelerinin girişi, toksik alg çoğalmalarının sıklığını ve coğrafi dağılımını artırarak, sucul ekosistemler ve insan sağlığı için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır (Wurtsbaugh & ark., 2019). Dünya genelinde neredeyse tüm su kaynaklarında yaşayan alglerin neden olduğu toksisite başta insanlar olmak üzere tüm canlıların yaşamı için risk teşkil etmektedir. İçilebilir su kaynaklarında alg popülasyonunun aşırı artışı doğrudan ve dolaylı olarak tüm canlılığı etkilemektedir. Doğrudan etkiler, toplu zehirlenmeler ve ölümdür. Dolaylı etkiler arasında ise su kalitesinde, su altı bitki örtüsünde azalma ve su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisi açısından büyük sosyoekonomik kayıplara neden olması, bulunmaktadır (Gültekin, 2020; Karlson & ark., 2021; Kishore & ark., 2023).

Algler, fotosentez için birincil substrat olarak karbondioksit kullanmalarına, canlı organizmalarda enerji akışını başlatmalarına ve küresel karbon döngüsünde çok önemli rol oynamalarına rağmen, toksinler ve uçucu bileşikler dahil olmak üzere çok çeşitli ikincil metabolitleri üretirler. Bu ikincil metabolitler, besin ağını takip eden ve filtrasyonla beslenen zooplankton, sünger ve kabuklular, toksinli hücreleri su kolonundan direkt olarak alarak, çoğu toksinleri kaslarında biriktirebilirler. Özellikle midye, istiridye ve deniz tarağı gibi kontamine olmuş su ürünlerinin tüketilmesiyle insanlarda alg kaynaklı toksik zehirlenmeler ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca solunumla veya temas gibi diğer bulaşma yolları da bildirilmiştir (Vilarino & ark., 2018; Wang & ark., 2024).

Algler ve toksinleri

Dünyada toksik deniz alglerinden; dinoflagellatlardan 54 tür, diatomlardan 17 tür, diktiyokomitlerden 3 tür, haptofitlerden 6 tür ve rafidofitlerden 4 tür bulunmaktadır (Zingone & ark., 2021). Bugüne kadar 300'den fazla alg toksini tanımlanmış, çözünürlüklerine göre lipolitik ve hidrofilik olarak sınıflandırılmışlardır (Li & ark., 2013; Gerssen & ark., 2018). Deniz biyotoksinlerinin bilinen kimyasal yapılarına göre azaspirasit, brevetoksin, siklik imin, domoik asit, okadaik asit, pektenotoksin, saksitoksin ve yessotoksin gruplarına ayrılırlar. Bunlara ek olarak, palitoksin ve ciguatoksin de tanımlanmıştır (EFSA, 2009a). Isıl işlem ve dondurma işlemine karşı dirençli olan algal toksinler halk sağlığı için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Sebep oldukları semptomların ciddiyeti nedeniyle, bazı alg toksinleri uluslararası alanda potansiyel kimyasal silah olarak kabul edilmiştir (Halme & ark., 2012).

Bu toksinler arasında okadaik asit (OA) ve türevleri, pektenotoksinler (PTX), yessotoksinler (YTX), azaspirasitler (AZA), siklik iminler (CI'ler) ve brevetoksinler (BTX) bulunur. Siklik iminler (spirolitler, gymnodiminler, pinnatoksinler), insan zehirlenmesi vaka kayıtlarının olmamasına rağmen laboratuvar faresi için öldürücü olan başka bir toksin grubudur. Bazı balık ve yengeç türleri gibi su ürünleri tetrodotoksin (TTX), palitoksin (PLTX) ve ciguatoksinler (CTX) ile kontamine olabilirler (Nicolas, 2017; Ansdell, 2024).

Paralitik kabuklu su ürünleri zehirlenmesi (PSP)

Paralitik kabuklu su ürünleri zehirlenmesi (PSP) kabuklu su ürünleri zehirlenmesinin en yaygın ve en şiddetli türüdür. Çift kabuklu yumuşakçalar (istiridye, midye, deniz tarağı), yengeç, ıstakoz, gastropodlar, kafadanbacaklılar, Atlantik somonu, ringa balığı, uskumru, kirpi balığı ve birçok kabuklu su ürünleri PSP'ye neden olabilir, ancak çoğu vakanın insanlarda istiridye veya midye yedikten sonra ortaya çıktığı bildirilmiştir (Vilarino & ark., 2018; Ansdell, 2024). Biyotoksinlerin çoğu ısıtma işlem yöntemlerine dayanıklıdır (Leal & Cristiano, 2022).

Her yıl dünya çapında %15 ölüm oranıyla bildirilen 2000'den fazla paralitik kabuklu su ürünleri zehirlenmesi vakası vardır (Potasman & ark., 2002; Havelaar & ark., 2015). PSP semptomları, kontamine kabuklu su ürünlerinin tüketilmesinden 30 dakika ile birkaç saat sonra başlar. Hafif zehirlenme ağızda (dudaklar, dil ve diş etleri) ve yüzde karıncalanma hissi veya uyuşma ile kendini gösterir (Prakash & ark., 1971). Hafif vakalarda baş ağrısı, baş dönmesi ve bulantı da bildirilmiştir, ancak gastrointestinal semptomlar yaygın görülmemektedir. Şiddetli PSP belirtileri arasında ataksi, konuşma tutarsızlığı, koordinasyon bozukluğunun yer alır. Bu semptomlara halsizlik, kas ağrısı ve solunum güçlüğü eşlik edebilir. Çok şiddetli zehirlenmelerde kas felci ve zor nefes alma, solunum desteği sağlanmadığı takdirde solunum durması ve ölüme dönüşebilir. Ölüm, bulaşın yutulmasından 3-4 saat sonra meydana gelebilir (Etheridge & ark., 2010). PSP'nin klinik tedavi yönetimi olarak, sıvı tedavisi ve ciddi vakalarda solunum desteği de dahil olmak üzere toksin elimine edilene kadar palyatif bakım gerekli olmaktadır (Vilarino & ark., 2018).

PSP toksinleri olarak da bilinen saksitoksinler, esas olarak *Alexandrium* cinsinin dinoflagellatları tarafından üretilen nörotoksik alkaloidlerdir ancak *Pyrodinium bahamense* ve *Gymnodinium catenatum* türleri tarafından da toksin üretildiği bilinmektedir. Çift kabuklu yumuşakçaların yanı sıra kabuklular, gastropodlar ve bazı balıklar da toksin tespiti yapılmıştır. Bu toksinler tatlı su siyanobakterileri tarafından da sentezlenebilir (Deeds & ark., 2008; O'Neill & ark., 2016).

Kuzey Amerika Kıtası'nda PSP ile ilgili ilk kaydedilen ölüm, 15 Haziran 1793'te Britanya'da Vancouver Adası'nda, Kaptan Vancouver'ın denizcilerinden biri olan John Carter'ın kontamine midye yedikten sonra ölmesiyle meydana gelmiştir. Vancouver, mürettebat üyelerinin yaralı denizcilere nasıl davranılacağı konusunda bir fikirleri olduğunu ve böylece önceden bilgi sahibi oldukları yazmaktadır ki bu olay, vakanın PSP'den kaynaklanan ilk ölüm olmadığını düşünmek için geçerli bir nedendir (McFarren & ark., 1961).

PSP toksinleri Alaska dahil Kuzey Amerika'nın Atlantik ve Pasifik kıyılarındaki ılıman sularda yaygındır. Şili, Çin, Filipinler, İrlanda, İskoçya ve Avustralya ile Yeni Zelanda'da vakalar görülmüştür (Ansdell, 2024). Amerika ve Kanada kıyılarındaki PSP olayları *Alexandrium* spp.'ye atfedilebilirken, Meksika'da bu sendrom *Gymnodinium catenatum* ve *Pyrodinium bahamense* türleri nedeni görülmüştür (Lewitus & ark., 2012).

Hindistan'da ilk olarak 1981 yılında Tamil Nadu Eyaletinde, kontamine istiridye tüketimi kaynaklı üç ölüm de dahil olmak üzere 82 ciddi PSP vakası bildirilmiştir (Kaladharan & Asokan, 2011).

2015 yılında, Tamil Nadu Eyaletindeki Cuddalore bölgesinde, ilki Ocak 2015'te ve ikincisi Nisan 2015'te olmak üzere iki kabuklu su ürünleri zehirlenmesi olayı bildirilmiştir. Her iki salgında da semptomlarından dolayı PSP vakası olduğu düşünülmüştür (Velayudhan & ark., 2021).

Son zamanlarda en yaygın toksin üreten dinoflagellatlardan biri olan *Alexandrium tamarense* (Bianchi & ark., 2021) türünden kaynaklı; Avrupa, Amerika, Pasifik ve Atlantik kıyılarında toksik alg patlamaları ve PSP ile kontamine olmuş su ürünlerine bağlı zehirlenme olayları bildirilmiştir (Bazzoni & ark., 2020; Paredes-Mella & ark., 2021). Ayrıca *A. tamarense*'nin neden olduğu toksik alg artışı Bohai Denizi, Sarı Deniz, Doğu Çin Denizi ve Güney Çin Denizi'nde de kaydedilmiştir (Gu & ark., 2022).

Toksinler

PSP'ye neden olan ana biyotoksinler; saksitoksin (STX), neo-STX ve gonyautoksin (GTX) ile analoglarıdır. Bugüne kadar, PSP ile ilişkili en az 58 saksitoksin türevi bileşik bildirilmiştir. Bununla birlikte, yeni STX analoglarının varlığı izleme eylemleri için bir zorluk teşkil etmektedir (Catterall & ark., 2007; Grattan & ark., 2016).

Esas olarak STX'ler, gonyatoksinler (GTX), C toksinleri ve M toksinleri olarak sınıflandırılır (Numano & ark., 2021). M serisi toksinler, yakın zamanda keşfedilen yeni STX analoglarıdır, bu toksinlerin yakın zamanda keşfedilmiş olması ve toksisite hakkında daha az çalışma olması nedeniyle toksisite eşdeğerlik faktörü açıklanmamıştır. Şimdiye kadar toplanan bilgilerden, bu

toksin dizisi için doğrulanmış tek şey, düşük toksite sergiledikleridir (Leal & Cristiano, 2022).

Farklı toksite düzeyleri gösteren PSP'ler karbamil, dekarbamil, N-sülfokarbamil ve hidroksilat saksitoksin (M1-4) olmak üzere dört gruba ayrılır. En toksik grup olan karbamil grubunda saksitoksin (non-sülfat), neosaksitoksin (non-sülfat) ve gonyautoksin, (monosülfat) bulunmaktadır (Numano & ark., 2021).

Toksin tespit yöntemleri ve tüketilebilir sınırı

Avrupa Birliği düzenlemelerine göre, çift kabuklularda PSP miktar tayini için resmi olarak kabul edilen mevcut yöntem, florometrik dedektörlü (FLD) sıvı kromatografisidir (HPLC-FLD) (AOAC, 2012). LC-MS analizi, GB 5009.213-2016 (Kabuklu Su Ürünlerinde Paralitik Kabuklu Su Ürünleri Toksinlerinin Belirlenmesi) standardına göre gerçekleştirilebilir (Deting & ark., 2023).

Saksitoksinin FDA ve EPA yönetmeliklerde ve kılavuzda güvenlik seviyeleri 800 µg/kg saksitoksin eşdeğeri olarak kabul edilmiştir (FDA & EPA, 2021).

Diaretik kabuklu su ürünleri zehirlenmesi (DSP)

Midye, istiridye, deniz tarağı gibi kabuklu su ürünlerinde toksin birikimi sonrası kontamine su ürünlerinin tüketimiyle insanlarda gastrointestinal semptomlara neden olabilir. DSP; ishal, bulantı, kusma ve karın ağrısı ayrıca gastrointestinal semptomların yanı sıra bazen baş ağrısı, titreme ve ateş ile karakterizedir (James & ark., 2010).

DSP tanısı, toksik kabuklu su ürünleri yedikten 30 dakika ila 5 saat sonra başlayan semptomlarla konur (Trainer & ark., 2013). Ölümcül vaka tespit edilmemiştir. İyileşme genellikle tıbbi tedavi ile veya tıbbi tedavi olmadan üç gün içinde gerçekleşir. (Grattan & ark., 2016).

Prorocentrum cinsinin diğer toksijenik üyeleri *P. concavum* ve *P. hoffmannianum* subtropikal ve tropikal sularda yaygındır (Duran-Riveroll & ark., 2019). Üç toksijenik Dinophysis türü: *D. acut*, *D. acuminata* ve *D. norvegica* kuzey Avrupa'daki izleme programlarında en yaygın rapor edilen türlerdir (Karlson & ark., 2021).

DSP'nin dünya çapında; Kanada, Şili, ABD, Uruguay, Çin, Japonya, Belçika, Fransa, İrlanda, İskandinavya, İspanya ve Yeni Zelanda'da bildirilen vakaları mevcuttur (Ansdell, 2024).

Toksinler

Bu zehirlenmeye neden olan, *Dinophysis* ve *Prorocentrum* dinoflagellatları üç grup toksin üretebilir: okadaik asit ve türevleri, pektenotoksinler ve yessotoksinler (FAO, 2004). İnsanların yessotoksinler tarafından zehirlendiği hiç bildirilmemiştir ancak farelerdeki ölümcül etkisinin varlığı nedeniyle potansiyel olarak tehlikeli olduğu düşünülmektedir (Ciminiello & Fattorusso, 2008).

Okadaik asit (OA) ve dinophysistoxinler (DTX), dinoflagellatlardan özellikle *Dinophysis* ve *Prorocentrum* tarafından üretilen lipofilik toksinlerdir. Pişirme ve dondurma işlemlerine karşı dayanıklıdır (Valdiglesias & ark., 2013). Şu anda kontamine kabuklu su ürünlerinin toksinleri etkili bir şekilde azaltmak için yeterli yöntemler mevcut değildir. Bu toksinlerin denatürasyonu

sadece 100°C'de uzun süreli kaynatmadan (yaklaşık 163 dakika) sonra gerçekleşir. Pişirme, kontamine olan kabuklu su ürünlerinin toksisitesini değiştirmemektedir (Scoging, 1991).

DSP toksinlerinin referans birleşigi olan okadaik asit 30'dan fazla doğal olarak oluşan DTX analoglarını içerir ancak bunların hepsi diaretik toksinler değildir veya toksisite tespiti mevcut değildir. Okadaik asit DTX1 ve DTX2, kuzey Avrupa'daki kabuklu su ürünlerinde bulunan toksin grubunun baskın üyeleridir (Blanco, 2018; Duran-Riveroll & ark., 2019).

Toksin tespit yöntemleri ve tüketilebilir sınırı

Avrupa Komisyonu, sıvı kromatografi ve kütle spektrometrisini (LC-MS) toksin tespiti için referans yöntem olarak belirlemiştir (EC, 2011).

İnsan tüketimi için maksimum DSP seviyesi, kabuklu su ürünleri etinin kg'ı başına 160 µg eşdeğerliliği olarak tanımlanmıştır (CODEX Alimentarius, 2008). 160 µg olan maksimum referans değeri, Avustralya ve Yeni Zelanda'da FSANZ (Food Standards Australia New Zealand) tarafından 200 µg olarak belirlenmiştir (EC, 2004; FDA, 2011).

Nörotoksik kabuklu su ürünleri zehirlenmesi (NSP)

Nörotoksik Kabuklu Su Ürünleri Zehirlenmesi (NSP), brevetoksinlerle kontamine olmuş olan kabuklu su ürünlerinin tüketiminden kaynaklanan bir zehirlenmedir; dinoflagellatlar *Karenia brevis* (eski adıyla *Gymnodinium breve* ve *Ptychodiscus brevis* olarak bilinen) tarafından üretilen 10'dan fazla analogu olan doğal nörotoksin grubudur (Duagbjerg & ark., 2001). Midye,

istiridye, salyangoz, deniz tarağı ve bazı planktivor balıkların organlarında toksin tespit edilmiştir (Vilarino & ark., 2018).

NSP, bir dizi gastrointestinal ve nörolojik semptom içerir. Hafif vakalarda baş dönmesi, mide bulantısı, kusma görülmektedir. Ekstremlerde 3-6 saat içinde baş ağrısı, adale gevşemesi, adale ağrıları, mide bulantısı, uyuşma, sıcak ve soğuk karıştırma, nefes zorluğu, çift görme, konuşma ve yutkunma zorluğu gibi belirtileri vardır. Nörolojik semptomlar kısmi felce ilerleyebilir; solunum sıkıntısı da kaydedilmiştir. Ölüm bildirilmemiştir ancak hastaneye yatışlar meydana gelmiştir (Watkins & ark., 2008; EU, 2017). Vakalar 2-3 gün içinde ve çoğunlukla ilk 48 saat içinde iyileşmektedir. Literatürde belgelenen NSP'nin uzun vadeli veya kronik etkileri yoktur ancak vakaların uzun süreli takibi yapılmamıştır (Watkins & ark., 2007).

K. brevis sebepli NSP, ağırlıklı olarak Batı Yarımkürenin (Karayipler, Meksika Körfezi, ABD'nin güneydoğu kıyısı) bir zehirlenmesidir ancak Yeni Zelanda'dan da vakalar bildirilmiştir (Ansdell, 2024). *Karenia brevis*'in toksisitesi felç edici değil ancak nörolojik semptomlarla karakterize olan insan zehirlenmesiyle bağlantılıdır (O'Neill & ark., 2016).

NSP, Kuzey Amerika'nın güney sahili boyunca ve Meksika Körfezinde ciddi bir sorundur. İlk kez 1993 yılında Yeni Zelanda sularında yerel halktaki solunum yolu sorunları salgınıyla eş zamanlı olarak kaydedilmiştir (Botana & ark., 2017).

Toksinler

Nörotoksik kabuklu su ürünleri zehirlenmesi, brevetoksin adı verilen lipofilik toksinle kontamine olan kabuklu su ürünlerinin

tüketiminden kaynaklanmaktadır. Toksin, siklik polieter ve güçlü bir nörotoksindir (Benson & ark., 1993).

Bugüne kadar en az 70 BTX türevi rapor edilmiştir. Bunların sadece yaklaşık yarısı yapısal olarak karakterize edilmiştir (ANSES, 2021; Hort & ark., 2021). BTX türdeşleri, omurga yapılarına (A ve B tipi) göre sınıflandırılır. B tipi toksinler, A tipi toksinlerden daha yaygındır. *K brevis*'te BTX-2 hem çiçeklenme hem de kültür ortamlarında en yaygın olan toksin tipidir (Twiner & ark., 2007; Pierce & ark., 2008; Errera & ark., 2010; Lekan & Tomas, 2010).

Birçok su ürünleri toksini gibi brevetoksinler de yıkama, temizleme, pişirme veya dondurma işlemleri ile azalmaz ve toksinler tat veya koku ile tespit edilemez. Toksinlerin kolayca tespit edilememesi ve insan gıda kaynaklarında (kabuklu su ürünleri ve yüzgeçli balıklar) brevetoksinlerin varlığı kabuklu su ürünleri tüketicilerini önemli bir risk altına sokar (Abdullah & ark., 2022). Bu toksinler, kabuklu su ürünleri de dahil olmak üzere birçok su canlısında hızla metabolize edilir bu nedenle toksisiteden çeşitli toksin profilleri sorumludur (Turner & ark., 2015).

Toksin tespit yöntemleri ve tüketilebilir sınırı

Toksisite meydana gelmesine rağmen insanlarda brevetoksinler için bir sınır değer henüz belirlenmemiştir. Kabuklu su ürünlerindeki brevetoksinler için Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) bulunabilirlik seviyesini, fare deneyleri ile 20 MU/100 gram (MU: Mouse units, 1MU:0.18 µg STX) kabuklu su ürünleri et dokusu olarak belirlemiştir (FDA, 2021).

LC-MS, belirli bir numunede spesifik bir toksinin varlığını doğrulayabilen test iken ELISA ve RBA ise spesifik bir toksin

belirtisi olmadan belirli bir numunedeki genel toksin konsantrasyonunu ölçebilir. Bu diğer yöntemler LC-MS ile birlikte kullanılmalıdır (Twiner & ark., 2007).

Amnezik kabuklu su ürünleri zehirlenmesi (ASP)

Amnezik kabuklu su ürünleri zehirlenmesinden sorumlu domoik asit birikimi yapan, saptanmış olan su ürünleri; istiridye, midye, deniz tarağı, kalamar, sardalya, hamsi, yengeç ve istakozdur. İstiridyeler, toksini doğal ortamda 1 yıla kadar veya işlendikten, konserve edildikten, dondurulduktan birkaç yıl sonra da tutabilmektedir (Lefebvre & ark., 2002; Ferriss & ark., 2017). Toksin, kopepodlardan ve krillerden, deniz salyangozlarından, kafadanbacaklılardan ve poliketlerden deniz kuşlarına, balıklara ve deniz memelilerine transferle dahil olmak üzere çok çeşitli deniz organizmalarında birikir (Bates & ark., 2018).

Hastalık hem gastrointestinal hem de nörolojik bozukluklarla karakterizedir ve ölümcül vakalara da neden olur. Hem gastrointestinal (kusma, ateş, karın ağrısı) hem de nörolojik semptomlar (baş ağrısı, halüsinasyonlar, hafıza kaybı, solunum komplikasyonları), kontamine kabuklu su ürünlerinin tüketiminden kısa bir süre sonra, genellikle sonraki 24-48 saat içinde ortaya çıkabilir (Suresh & ark., 2014). Çoğu hasta 24 saat ile 12 hafta içinde iyileşir ancak tüketiciler ciddi nörolojik hasar geliştirdiğinde can kaybı olabilir (Doucette & ark., 2008).

Bu toksik diatomlar kutupsal, ılıman, subtropikal ve tropikal bölgelerde bulunur (Mos, 2001). ASP salgınları Amerika (Kanada, Şili, Washington, Oregon), Avrupa (Belçika, Fransa, İrlanda, Portekiz, İskoçya, İspanya) ve Pasifik'te (Avustralya, Yeni Zelanda)

bildirilmiştir (Lewitus & ark., 2012; Ansdell, 2024). DA'nın Alaska memelilerinde yaygın olduğuna dair raporlar vardır (Lefebvre & ark., 2016).

Diatom, *Nitzschia pungens* ile ilişkili ilk kabuklu su ürünleri zehirlenmesi, 1987'de Kanada'da ciddi bir ASP salgını meydana geldi ve kontamine midye tüketiminden sonra bildirilen 150 vaka, 19 hastaneye yatış ve 4 ölüm içeriyordu (Bates & ark., 1989; Jeffery & ark., 2004).

Lundholm ve arkadaşları diatom *Pseudo-nitzschia seriata* türünün de aynı zamanda *Pseudo-nitzschia multiseriata* türünde gözlemlenen benzer seviyede domoik asit ürettiklerini kanıtlamışlardır. Şu anda, 24'ten fazla *Pseudo-nitzschia* türünün yanı sıra *Nitzschia bizertensis* ve *Nitzschia navis-varengica* AST üreticileri olarak bilinmektedir (Richardson, 1997; Lundholm, 2009).

Tunus'ta midyelerde *Nitzschia bizertensis* tespit edilmiştir (Bouchouicha-Smida & ark., 2014). Diğer bentik diatom *Halimnophora coffeaeformis*'tir (Shimizu & ark., 1989; Maranda & ark., 1990). *Halimnophora* cinsinin tip türleri, *Halimnophora coffeaeformis*; Avrupa, Güney Afrika ve Güney Amerika'nın acı sularında yaygın dağılım göstermektedir. Ancak Bahia Blanca'da izole edilen *H. coffeaeformis* kültürlerinde Domoik asit tespit edilmemesi sebebi biyoteknolojik uygulamalarının geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir (Guiry & Guiry, 2020; Sala & ark., 2021).

Toksin

Domoik asit; sinir sistemi içerisinde bulunan reseptörlere bağlanan, hidrofilik uyarıcı bir amino asittir (Anderson & ark., 2001). Isıl işlem, pişirme ve dondurma işlemlerine dayanıklıdır (Todd, 1993). Silikat ve fosfat azalması ve artan nitrojen konsantrasyonları, yüksek ısıtım ve bakteri varlığı DA üretimini artırma eğilimindedir; pH, CO₂, tuzluluk ve sıcaklıktaki değişiklikler toksin üretimini etkileyebilir (Bates & ark., 2018).

Yapılan bir çalışmada erkeklerin bu toksine daha duyarlı olduğu ortaya çıkmış ve artan yaşın hem hafıza kaybı hem de hastalığın şiddeti için bir risk faktörü olarak tanımlanmıştır. Bazı klinik ve histopatolojik veriler, insanlarda DA'nın akut zehirlenmesinin birkaç ay sürebilen uzun vadeli olduğuna dair kanıt sağlamıştır (Pulido, 2008).

Toksin tespit yöntemleri ve tüketilebilir sınır

Tür düzeyinde tanımlama, ışık mikroskopuyla mümkündür ve genellikle elektron mikroskobu ve/veya moleküler belirteçlerin kullanılmasını gerektirir (Bates & ark., 2018).

UV algılamalı HPLC, Avrupa Birliği'ndeki kabuklu su ürünlerini izlemek için uygun bir yöntemdir (EC, 2005). Su ürünleri örneklerinin toplam toksisitesini tahmin etmek için, düzenlenmiş DA analoglarının nispi toksisitesinin bilinmesi gerekmektedir (Louzao & ark., 2017).

CODEX Balık ve Balıkçılık Ürünleri Komitesi (CCFFP), Canlı ve Çiğ Çift Kabuklu Yumuşakçalar Standardını geliştirmiştir ve DA için yumuşakça etindeki maksimum seviyeyi 20 mg/kg

kabuklu su ürünleri eti olarak tanımlamıştır (CODEX Alimentarius, 2008).

Azaspirasit zehirlenmesi (AZP)

Midye, istiridye, deniz tarağında gibi su ürünlerinde toksinleri tespit edilmiştir (Vilarino & ark., 2018). Bulantı, kusma, şiddetli ishal ve mide krampları gibi gastrointestinal semptomlarla karakterize olan azaspirasitlerle (AZA) ilgili ilk insan zehirlenmesi vakaları, İrlanda kıyılarından toplanan mavi midye (*Mytilus edulis*) tüketiminden kaynaklanmıştır (McMahon & Silke, 1996). İnsan vücudunda bu toksin beyin hariç tüm vücuda yayılır. İnsanlarda zehirlenme belirtileri şunlardır: ishal, kramplar, mide bulantısı ve kusma. Toksin ayrıca karaciğer, pankreas, dalağın yanı sıra T ve B lenfositlerinde de önemli hasara neden olmuştur (James & ark., 2003). Semptomlar tüketildikten yaklaşık 3 saat sonra ortaya çıkar ve yaklaşık 15 saat sürer. Tam iyileşme 2-5 gün içinde gerçekleşir. Tedavi, esas olarak sıvı ve elektrolit replasmanı olmak üzere destekleyici tedaviden oluşur (James & ark., 2004).

AZA kontaminasyonu kabuklu su ürünleri yetiştiriciliği ve insan sağlığı için küresel olarak bir tehdit olarak görülmektedir. Şu anda 70'ten fazla AZA analogu (Krock & ark., 2019) plankton örneklerinde, bazı Azadinium ve Amphidoma türlerinin dinoflagellat kültürlerinde, kabuklu su ürünlerinde tespit edilmiştir (FDA, 2021).

Azadinium spinosum, *A. poporum*, *A. dexteroporum* ve *Amphidoma languida*, AZP vakalarında rol oynayan AZA'ları üreten türler olarak tanımlanmıştır (Percopo & ark., 2013). Azaspirasitler sadece Azadinium tarafından üretilmez; Azadinium cinsinin

morfolojik ve filogenetik olarak benzeri olan yeni tanımlanan *Amphidoma languida* da AZA üretmektedir (Krock & ark., 2019). Bu türlerin toksinlerinin görüldüğü yerler: Yunanistan, Norveç, Japonya, İsveç, Washington (Ansdell & ark., 2024).

2005 yılında Norveç'te yenilebilir (kahverengi) yengeç *C. pagurus*'un iç organlarında AZA tespit edilmiş ve ertesi yıl Norveç'te AZA içeren yengeçleri yedikten sonra iki kişi hastaneye kaldırılmıştır (Karlson & ark., 2021).

A. dexteroporum'a (Akdeniz'de kaydedilen iki toksik *Azadinium* türünden biri, yani *A. dexteroporum* ve *A. poporum*) maruz kalan *Mytilus galloprovincialis* ile yapılan bir çalışmada düşük konsantrasyonda da olsa toksin tespit edilmiştir (Luo & ark., 2017; Rossi & ark., 2017).

Yunanistan kıyılarında başka bir toksik *Azadinium* olan *A. poporum* bulunmuştur (Luo & ark., 2018). 2018'de AZA *Azadinium* spp. AZA seviyeleri düzenleyici sınırının üzerinde İsveç kıyılarından ilk kez belirlenmiştir (Karlson & ark., 2021).

Japonya'da AZA'ların limit seviyesini aşan çift kabuklu kontaminasyon vakaları ve AZA'larla kontamine olmuş çift kabukluların tüketiminden kaynaklanan insan zehirlenmesi vakaları bildirilmemiştir ancak yakın zamanlarda Japonya'daki kıyı deniz sularından AZA2 üreten *A. poporum* suşlarını izole edilmiştir (Takahashi & ark., 2021).

Azadinium poporum, ABD'nin Washington Eyaleti'nin dış kıyılarında bulunmuş ve kabuklu su ürünlerinde düşük miktarlarda yeni bir AZA (varsayılan AZA-59) tespit edilmiştir (Tebben & ark., 2023).

Toksinler

Azaspirasitler, bir siklik amin, bir tri-spiro halkası, azaspiro halkası ve bir terminal karboksilik asit grubu içeren, polieter bileşiği olan AZA1 olarak tanımlanmıştır (Satake & ark., 1998). AZA1'in ilk keşfinden kısa bir süre sonra, iki analog, 8-metilazaz pirasit (AZA2) ve 22-desmetilazaspirasit (AZA3) keşfedilmiştir (Ofuji & ark., 1999).

Toksin tespit yöntemleri ve tüketilebilir sınır

Azaspirasitin tespiti, LC-MS/MC gibi analitik yöntemlerle yapılabilir (James & ark., 2003).

Avrupa'da 853/2004/EC kapsamında kabuklu su ürünleri etinin kg'ı başına 160 µg AZA-1 eşdeğeri sınırıyla yalnızca üç AZA (AZA-1, -2 ve -3) düzenlenmektedir. (FDA, 2021). Norveç'te 170 µg/kg AZA yengeç iç organı düzenleyici sınırı uygulanmaktadır (Karlson & ark., 2021).

Ciguatera Zehirlenmesi (CP)

Ciguatera Zehirlenmesi (CP), dünya çapında en yaygın su ürünleri zehirlenmeleri arasındadır (FAO & WHO, 2020). Semptomlar nörolojik, gastrointestinal ve kardiyovasküler bozuklukları içerir, bugüne kadar etkili bir tedavi yoktur (Friedman & ark., 2017). Birçok hasta tarafından bildirilen ayırt edici bir semptom ise soğuk yüzeylerin hasta için sıcak olarak algılandığı veya sıcak-soğuk algısının tersine çevrilmesi semptomlarıdır. Bu sıcaklığa bağlı disestezi CP'nin özelliği olarak kabul edilir, ancak tüm hastalarda bu semptom görülmez (Friedman & ark., 2008). CP'nin kişiden kişiye bulaşması son derece nadirdir, ancak hasta bir anneden plasenta yoluyla fetüse/yenidoğana ve emen bir bebeğe

bulaştığına dair raporlar vardır (Blythe & Sylva, 1990; Fleming & ark., 1997).

Semptomların gözlenmesi yarım saat ile 12 saat arasında başlar. Akut faz 2-4 gün sürer. Kronik fazda semptomlar haftalarca veya aylarca devam edebilir (Vilarino & ark., 2018). Hastalığın başlangıcında mannitol tedavisinin semptomları büyük ölçüde iyileştirdiği bildirilmiştir. Ciguatoksin (CTX), güçlü nörotoksinlerden biri olarak kabul edilir ve 0.08 µg / kg kadar düşük bir seviyede tüketilmesi bile insan için ciddi sağlık riski oluşturur. Semptomlara bağlı olarak destekleyici tedavi tavsiye edilir. Hastalığın tamamen önlenmesi, yalnızca kontamine su ürünlerinin tüketiminden kaçınmak ve ciguatoksin içeren biyotadan hasat yapmamaktır. Şu anda, insan tüketimine yönelik su ürünlerinde ciguatoksin seviyesinin rutin kontrolü için herhangi bir yöntem bulunmamaktadır (Lehane & Lewis 2000; Lehane 2000; De Fouw & ark., 2001).

CTX'ler, Gambierdiscus ve Fukuyoa cinslerinin dinoflagellatları tarafından üretilen bir grup nörotoksindir (Yasumoto & ark., 1997; Ikehara & ark., 2017). *Gambierdiscus australes*, *G. pasificus*, *G. polynesiensis*, *G. toxicus*, *G. yasumotoi*, *Ostreopsis heptagona*, *Prorocentrum lima*, *Ostreopsis siamensis*, *Coolia monotis* toksin üreten türlerdendir (Aydın & Uzar, 2009). Yakın zamanda *F. ruetzleri* ve *F. paulensis*'in CTX ürettiği tespit edilmiştir (Laza-Martinez & ark., 2016; Leung & ark., 2018; Rhodes & Smith, 2018).

425'ten fazla balık türü ciguatera olaylarıyla ilişkilendirilmiştir, yaygın olarak yer alan resif balıkları şunlardır:

Sphyraenidae, Seriola, Serranidae, Lutjanidae, Labridae spp., Carangidae spp., Caranx spp., Labridae spp., Acanthuridae spp. (FAO & WHO, 2020).

CP vakaları Karayip Denizi, Hint Okyanusu, Pasifik Okyanusu ve doğu Atlantik Okyanusu gibi dünyanın tropikal ve subtropikal bölgelerinde bildirilmektedir (Lewis, 2001; Boada & ark., 2010). Ciguatera zehirlenmesi ile ilgili ilk tarihi olay 1521'de bildirildi, Gine Körfezi'ndeki İspanyol ordusunun birkaç kaptanını etkilemiştir ve bazılarının ölümüne yol açmıştır (Baeza, 2009). Birkaç rapor, Gambierdiscus'un yeni bölgelerde (Brezilya, Fas veya Tayland) varlığını göstermektedir, ancak bunun iklim değişikliğinden kaynaklandığına dair kesin bir tanı yoktur (FAO & WHO, 2020).

Kanarya Adaları'nda (İspanya) CP ile insan zehirlenmesi vakasıyla bağlantılı bir balık örneğinde CTX'leri karakterize etmek için yaptıkları çalışmada yalnızca bu bölgede daha önce belgelenen ana CTX'lerle birlikte ilk kez, Karayip Denizi'nden gelen *Gambierdisucs silvae* ve *G. caribeaus*, ilk kez doğu Atlantik Okyanusu'ndaki balıklarda tespit edilmiştir. Balıklarda C-CTX5 saptanmıştır (Estevez & ark., 2024).

Toksinler

Ciguatoksinler (CTX'ler), termostabil ve hafif pH değişikliklerine dirençli, polieter merdiven benzeri lipidik bileşiklerin bir sınıfıdır; 13-14 kaynaşmış halka içerirler. Bugüne kadar tanımlanan CTX'lerin temsili omurga yapıları CTX4A, CTX3C ve C-CTX1 ile gösterilmektedir (FAO & WHO, 2020).

Ciguatoksinler (CTX'ler), maitotoksinler (MTX'ler) ve gambieronlar olarak türlere göre isimlendirilir (Gatti & ark., 2018).

Isıya dayanıklıdır, lipofiliktir, renksiz, kokusuzdur, pişirme veya dondurma işlemlerine karşı dayanıklıdır (Darracq, 2014).

Toksin tespit yöntemleri ve tüketilebilir sınır

Yüksek Çözünürlüklü Kütle Spektrometresi (cLC-MS) İspanya’da yapılan bazı çalışmalarda kullanılmıştır (Estevez & ark., 2023; Estevez & ark., 2024).

Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) CP semptomlarını ortaya çıkarma olasılığının düşük olduğu için 0.01 µg/kg balık eti CTX konsantrasyonu önermiştir (FDA, 2021).

Venerupin kabuklu su ürünleri zehirlenmesi (VSP)

Bu zehirlenmeye dinofilagellat grubundan türler neden olur. Alg çoğalması genellikle şiddetli yağmurlardan, deniz suyundaki fosfat, nitrat ve amonyak miktarının artmasından sonra görülmektedir (Sammy & Satyanarayana, 1984).

Anoreksiya, ağız kokusu, bulantı, kusma, mide ağrısı, kabızlık, baş ağrısı ve halsizlik ile karakterize olan bu semptomları artan sinirlilik, hematemez ve burun, ağız ve diş etlerinin mukoza zarlarından kanama takip edebilir. Ciddi vakalarda sarılık görülebilir. Bazen lökositoz, anemi ve kan pıhtılaşma süresinin uzun sürmesi gözlenir. Ölümcül zehirlenmede, karaciğerin akut sarı atrofisi, aşırı uyarılma ve koma meydana gelir (Viviani, 1992). Semptomlar arasında bilinç kaybı da olabilir. Semptomların başlamasından sonraki 24-48 saat içinde meydana gelen ölüm vakası bildirilmiştir (Heil & ark., 2005).

Dünya çapında yaygın olan *Prorocentrum minimum*, ılıman ve subtropikal deniz bölgesinde zararlı alg patlamalarının nedeni olduğu önde gelen türlerden biridir (Heil & ark., 2005).

Venerupis semidecussata ve *Crassostrea gigas* türünün *Prorocentrum minimum* türünün ürettiği alanlardan toplanıp tüketilmesi sonucu Japonya’da bildirilmiştir (Özhan & Alparslan, 2002).

Venerupin ile kontamine su ürünleri ilk olarak 1889'da Japonya'nın Nagai kentinde, istiridye *Crassostrea gigas*'in tüketilmesinin ardından bildirilmiştir, zehirlenen 81 kişiden 51'i ölmüştür (Halstead, 1965). İkinci bir salgın 1941'de meydana gelmiş, 6 hastadan 5'i ölmüş ve 1942'den 1950'ye kadar istiridye tüketilmesinden kaynaklı 455 ek vaka gözlenmiştir. Venerupin kabuklu su ürünleri zehirlenmesi bazı Japonya eyaletlerinde bir halk sağlığı sorunudur ve bu kabuklu su ürünlerinin belirli zamanlarda tüketilmesine izin verilmemiştir (Halstead, 1965; Okaichi & Imatomi, 1979).

Norveç’te 1979 sonbaharında *P. minimum* toksinleriyle kontamine olmuş midyelerden kaynaklı, Venerupin zehirlenmesinin nedeni olduğu düşünülen, 70 kişiden 41'ini etkileyen bir salgın hastalık vakası bildirilmiştir. *Prorocentrum minimum* sıklıkla Obidos Lagünü'nde (Portekiz) gözlenmiştir ve çift kabukluların toksisitesine neden olmuştur (Silva, 1985; Tangen, 1983).

Toksinler

Farelerde de insanlarda gözlemlenenlere benzer semptomlar gösterdiği tespit edilen, azotlu toksik madde üreten, *Prorocentrum minimum*, Akiba ve Hattori (1949), tarafından istiridyenin orta

bağırsağından izole edilen bu maddeye "venerupin" adını verdiler ve ilişkili sendrom Venerupin Kabuklu su Ürünleri Zehirlenmesi (VSP) olarak adlandırıldı (Heil & ark., 2005).

Venerupin zehirlenmesine neden olduğu varsayılan kültürlenmiş *Prorocentrum minimum* sinonimi *mariae-lebouriae*'nin %75 metanol ekstraktlarının toksisitesi, test hayvanları olarak fareler kullanılarak belirlenmiştir. Toksinlerin kimyasal yapısı bu şekilde belirlenmemiştir (Viviani, 1992).

Kirpi Balığı Zehirlenmesi (Tetradotoksin Zehirlenmesi) (PFP)

Tetrodotoksinler (TTX), adını ilk kez karakterize edildikleri Tetraodontidae balık ailesinden (kirpi balığı) alan bir toksin grubudur (Williams, 2010). Kaya balığı, mavi halkalı ahtapot ve yengeçler dahil olmak üzere çeşitli su ürünlerinde bulunmuştur (Sato & ark., 2019). Hem karada hem de denizde, farklı ülkeleri kapsayan çeşitli taksonlarda ve Avrupa'da, özellikle Akdeniz'e kıyısı olanlar yerlerde görülür (EFSA, 2017).

TTX'ler, kontamine olmuş su ürünleri tüketildiğinde nörotoksik ve ölümcül etkilere sahip olabilir (Katikou, 2009). TTX toksisitesi, sinir ve kas iletiminin inhibisyonundan kaynaklanır. Bu güçlü nörotoksin, sindirim sistemi, diyafram ve solunum sistemindeki iskelet kaslarını ve dokularını etkiler. Toksikite belirtileri tüketildikten sonraki 10-45 dakika içinde ortaya çıkabilir, ancak 3-6 saatlik gecikmeli bir vaka da bildirilmiştir (Huang & ark., 2012). Akut zehirlenmesi olan hastalar genellikle kalıntı olmadan iyileşir, ancak bazılarının iyileşmesi birkaç gün sürer. Akut semptomların sırası şunlardır: gastrointestinal semptomları olan veya olmayan perioral uyuşukluk ve parestezi; lingual uyuşukluk,

erken motor felç, koordinasyon bozukluğu, normal reflekslerle konuşma bozukluğu; şiddetli solunum yetmezliği ve hipoksi, hipotansiyon, bradikardi, kardiyak disritmiler ve bilinç kaybı. Ölümcül vakalarda ölüme solunum yetmezliği ve kalp yetmezliği neden olur (Lago & ark., 2015).

TTX zehirlenmesine karşı antidot olmadığı için spesifik bir tedavisi yoktur. Tüm hastalara destek tedavisi uygulanır. Emilmemiş toksinin uzaklaştırılması için, indüklenmiş kusma veya toksine bağlanmak için aktif kömür denenebilir. TTX'in alkali bir ortamda daha az kararlı olması nedeniyle %2 sodyum bikarbonatın damlatılması önerilmiştir. Diğer tedavi seçenekleri arasında sistein, kolinesteraz inhibitörleri, nalokson ve steroidler vardır (Noguchi & ark., 2011).

Avustralya, Bangladeş, Brezilya, Çin, İsrail, Fas, Singapur, Tayvan ve ABD gibi ülkelerde kirpi balığı, gastropodlar, yengeçler ve çift kabuklular dahil olmak üzere diğer su ürünlerinde de tespit edilmiştir. Son zamanlarda, Avrupa Kıyılarında; İspanya, Yunanistan, İngiltere ve Hollanda'da gastropodlarda ve deniz çift kabuklularında TTX'ler bulunmuştur (Rodriguez & ark., 2008; Turner & ark., 2015).

Vakaların büyük çoğunluğu Asya'da görülen ve ana zehirlenme kaynağı balık olarak belirlendikten sonra bunu gastropodlar izlemiştir. Avrupa ile ilgili olarak literatürde sadece birkaç TTX zehirlenmesi vakası bildirilmiştir (Guardone & ark., 2020). Avrupa'da TTX, 2015, 2016 ve 2017 yıllarında Hollanda üretim alanlarında hasat edilen kabuklu su ürünlerinde bulunmuştur. Analiz edilen 1063 örnekten en yüksek konsantrasyonlar 2016

yılında gözlenmiştir: istiridyelerde 253 µg/kg TTX ve midyelerde 101 µg/kg TTX. TTX'in varlığı son üç yılda sabit görünmektedir ve en yüksek konsantrasyonlar her yıl haziran sonunda gözlemlenmektedir (Gerssen & ark., 2018).

Avrupa'daki ilk TTX zehirlenmesi vakası 2006 yılında İspanya'da Portekiz'den ithal gastropod (*Charonia lampas*) yiyen bir insanda meydana gelmiştir. Daha sonra, 2015'ten bu yana Birleşik Krallık, Yunanistan, Hollanda ve İspanya'da TTX tarafından birkaç başka kabuklu su ürünü kontaminasyonu vakası bildirilmiştir (Rodriguez & ark., 2008; Turner & ark., 2015; Vlamis & ark., 2015; Gerssen & ark., 2018). Yakın zamana kadar, TTX'lerin Hint-Pasifik bölgesiyle, özellikle de kirpi balıklarının yakalandığı ve geleneksel bir mutfak lezzeti olan fugu olarak yendiği ve her yıl onlarca şiddetli zehirlenmeye neden olduğu ve bazı durumlarda ölümcül sonuçlara yol açtığı Japonya ile sınırlı olduğu düşünülmektedir (Noguchi & ark., 2011). 2003 yılından bu yana Doğu Akdeniz'de kirpi balığı rapor edilmektedir (Bentur & ark., 2008; Katikou & ark., 2009).

TTX'ler esas olarak tropikal enlemlerdeki deniz organizmaları ile ilişkilendirilse de son yıllarda Avrupa sularında da kaydedilmiştir (Rodriguez & ark., 2008). İtalya'da ithal kirpi balığının neden olduğu 13 tarihli zehirlenme meydana geldi (Guardone & ark., 2020).

İngiltere sularından çift kabuklular, *Mytilus edulis* ve *Crassostrea gigas*'ta tetrodotoksin kaydedilmiştir, daha sonra 2012 yılında Yunanistan'da midyelerde (*Mytilus galloprovincialis*) bildirmiştir (Turner & ark., 2015; Vlamis & ark., 2015).

Son on yılda, Yunanistan ve Kıbrıs'tan, *L. sceleratus* etinin tüketilmesinden kaynaklı zehirlenme belirtileri olan kişilerde

ölümcül olmayan vakalar hakkında başka raporlar da olmuştur. Türkiye'de 2020 yazında kirpi balığı eti tüketen kişilerde ölümcül vakaların kaydedilmiştir (Antonelli & ark., 2021).

Toksinler

Sadece kirpi balığında değil, aynı zamanda deniz gastropodlarında ve çift kabuklularda da bilinen 30'dan fazla analog bulunabilir (Guardone & ark., 2020).

Toksin tespit yöntemleri ve tüketilebilir sınır

Toksin analizi için kullanılan ilk yöntemler, ticari kitler olarak kullanılabilen fare bioassay (MBA), doku kültürü bioassay ve ELISA gibi biyolojik testlerdi. Biyoassaylar, örneğin toksisitesinin değerlendirilmesine izin verir ancak alt tip toksini tanımlamak mümkün değildir. Kimyasal yöntemlerden sıvı kromatografisi–kütle spektrometrisi (LC–MS) ve türevleri kullanılmaktadır. Sıvı kromatografisi electrospray iyonizasyonu–çoklu reaksiyon izleme kütle spektrometresi (LC–ESI-MRM-MS) bunları tanımlamak için yaygın olarak kullanılabilir (Jang & ark., 2010; McNabb & ark., 2010). Son yıllarda TTX toksini tespiti için UPLC-MS/MS kullanılmaktadır (Antonelli & ark., 2021).

TTX'ler henüz AB içinde resmi olarak izlenen canlı çift kabuklu yumuşakçalar listesine dahil edilmemiştir (Antonelli & ark., 2021). Avrupa Yönetmelikleri, insan tüketimi için piyasaya sürülen canlı çift kabuklu yumuşakçaların su ürünleri biyotoksinleri için sınırları aşmaması gerektiğini belirlemiştir, ancak TTX'ler için herhangi bir sınır belirlenmemiştir. Avrupa'da düzenlenmeyen toksinler için maksimum seviyelerin yokluğunda, Avrupa Gıda

Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından TTX için kılavuz seviyesi 44 µg/kg TTX kabuklu su ürünleri eti verilmektedir (EFSA, 2017).

Palitoksin zehirlenmesi

Palitoksin zehirlenmeleri esas olarak tropikal Hint-Pasifik kıyı topluluklarında dağılmıştır. Yalnızca çeşitli kontamine su ürünleri türlerinin tüketiminden değil, aynı zamanda dermal ve oküler maruziyet ve hatta deniz aerosollerinden veya akvaryumda tutulan mercanlarla ilişkili maddelerin solunması ile de yüzlerce insanda zehirlenme vakası görülmüştür (Aligizaki & ark., 2011).

Palitoksin; ağızda acı ve metalik bir tat, nörolojik ve gastrointestinal rahatsızlıklar, karın krampları, bulantı, kusma, ishal, kas krampları, kardiyak işlev bozuklukları, parestezi, bradikardi, hipertansiyon, solunum sıkıntısı, böbrek yetmezliği, siyanoz, koma ve ölüm gibi çeşitli klinik etkilere neden olabilir (Nordt & ark., 2009; Tubaro & ark., 2012).

İnsanlarda tedavi semptomatik ve destekleyicidir. Oral uygulamadan sonra gastrik lavaj, suni solunum ve sıvı uygulaması gibi tedaviler uygulanır, ancak bazı durumlarda ölümler önlenemez (Tubaro & ark., 2012). Solunma ve dermal maruziyetten sonra, semptomları hafifletmek için kortikosteroidler, histamin antagonistleri ve oksijen tedavisi uygulanabilir ve iyileşme süresi birkaç saatten günlere kadar sürebilir (Tubaro & ark., 2011). Bazı hastalarda maruziyetten sonra 1-3 ay boyunca nefes darlığı ve yorgunluğun bildirildiği göz önüne alındığında, ciddi vakalarda iyileşme yavaş olduğu tespit edilmiştir (Wieringa & ark., 2014).

Palitoksin ilk olarak Hawaii'deki mercan *Palythoa toxica*'dan ve daha sonra deniz yosunları ve kabuklu su ürünleri gibi diğer

birçok organizmadan izole edilmiştir (Tubaro & ark., 2012). Yakın zamanlarda, palitoksin bentik bir dinoflagellat olan *Ostreopsis siamensis*'te de bulunmuştur (Fernández & ark., 2013). *Ostreopsis ovata* ve *Ostreopsis siamensis*, tropikal ve subtropikal kıyı sularında, Avrupa kıyılarında ve Akdeniz'de bulunan tek hücreli alglerdir (Rhodes, 2011).

Filipinler'de kontamine yengeçlerin, Brezilya'da deniz kestanelerinin ve Japonya, Madagaskar ve ABD'de balıkların tüketilmesi nedeniyle palitoksinden kaynaklanan ölüm ve hastalık vakaları bildirilmiştir (Alcala & ark., 1998; Okano & ark., 1998; Graneli & ark., 2002).

2003 yılından bu yana, İtalya ve İspanya'daki toksik mikroalg hücreleriyle temas halinde olan kişilerde solunum problemleri ve cilt / mukoza tahrişi raporları bildirilmiştir (Tichadou & ark., 2010).

Akdeniz'de, Yunanistan, Fransa ve İtalya kıyılarından toplanan bazı çift kabukluların (midye ve istiridye) ve diğer deniz faunasının dokularında toksin bulunmuştur, ancak insanlarda bu su ürünleri ürünleri kaynaklı zehirlenmeler tespit edilmemiştir (Aligizaki & ark., 2008; Ciminiello & ark., 2015).

Ostreopsis spp. çoğalmalarının meydana geldiği bazı bölgelerdeki (Cezayir, Hırvatistan, Fransa, İtalya ve İspanya) plajlarda solunum ve deri tahrişleri, genel halsizlik ve diğer hafif semptomlar belgelenmiştir (Brescianini & ark., 2006; Pfannkuchen & ark., 2012). Bununla birlikte bentik deniz faunasının toplu ölümleri de yüksek konsantrasyonlarda *Ostreopsis* türleri ile eş zamanlı olarak bulunmuştur. Bu nedenle, yaz aylarında turistik bölgelerde *Ostreopsis* çoğalmalarının tekrarlaması ve potansiyel

gıda zehirlenmesi riski, insan sağlığı üzerindeki etkileri önlemek için endişe yaratmış ve izlemeyi teşvik etmiştir (Pavaux & ark., 2020; Berdalet & ark., 2022).

Toksinler

Palitoksin hem lipofilik hem de hidrofilik kısımlara sahip çok büyük ve karmaşık kimyasal yapıya sahip bir su ürünleri biyotoksinidir (Munday, 2011).

Tropikal kökenli bir cins olan *Ostreopsis*'in 21. yüzyılın başından beri ılıman sulara dağılımı artırmaktadır. Bazı *Ostreopsis* türleri tam olarak tespit edilmemiş olsa da ilişkili olan palitoksin analogları (ovatoksinler- OVTX'ler, OST'ler ve izo-PLTX) tespit edilmiştir (Ciminiello & ark., 2006; García-Altares, & ark., 2015; Pavaux & ark., 2020).

Toksin tespit yöntemleri ve tüketilebilir sınır

PLTX analogları kullanılarak UHPLC ile kromatografik olarak ayrılır ve elektrosprey iyonizasyonu (ESI) ve kütle spektrometrisi ile tespit edilir (Ciminiello & ark., 2012). En sık uygulanan yöntemlerden biri LC-MS/MS ve fonksiyonel testlerdir (Daguer & ark., 2018).

Tüm test hayvanı çalışmalarına dayanarak, insanlar için tahmini palitoksin dozunun, ortalama ağırlığı 60 kg olan bir kişi için ARfD'nin 64 µg olduğu önerilmiştir (Riobó & ark., 2006). İnsanlarda palitoksin toksisitesi hakkında güvenilir nicel verilerin bulunmaması sebebiyle, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi tarafından kabuklu su ürünleri etinde tolerans sınırı olarak 30 µg/kg önerilmiştir (EFSA, 2009b).

Siklik iminler

Siklik iminler (spiroлитler, gymnodiminler, pinnatoksinler), insan zehirlenmesi kayıtlarının olmamasına rağmen, laboratuvar faresi için öldürücü olan başka bir toksin grubudur (Nicolas & ark., 2017). İnsanlarda bugüne kadar bildirilen spiroлитlerin toksik etkilerinin olmamasına rağmen, bu toksinler, farelerde akut toksisite nedeniyle "hızlı etkili toksinler" olarak kabul edilir (Hu ve diğerleri, 1995). Deneysel veriler ve etki biçimleri hakkındaki bilgiler, pinnatoksinlerin insan sağlığı için tehlike oluşturabileceği sonucuna yol açmaktadır (Uemura, 2006; Selwood & ark., 2010; Arnich & ark., 2020). Semptomları; gastrointestinal, kas ve kutanöz problemler yaratabilir. Henüz iyi karakterize edilmemiştir, ancak fare deneylerinde toksiktirler (Vilarino & ark., 2018).

İnsanları etkileyen çeşitli doğal toksinler üretebilse de siklik imin toksinlerinin üretiminde yer alanlar esas olarak Alexandrium, Karenia (eski adıyla Gymnodinium), Vulcanodinium ve Prorocentrum türleri ile sınırlıdır (Molgo & ark., 2014; Stivala & ark., 2015).

Siklik iminler, tipik bir siklik imin parçası ile bir makrosiklal yapısını paylaşan bir grup lipofilik toksin oluşturur (Hu & ark., 1996; Molgo & ark., 2007). Şu anda, kabuklu su ürünlerinde biriken sırasıyla *Alexandrium ostenfeldi*, *Karenia selliformis* ve *Vulcanodinium rugosum* tarafından üretilen spiroлитler (SPX'ler), gymnodiminler (GYM'ler) ve pinnatoksinlerdir (PnTX'ler) (Aasen & ark., 2005; Hess & ark., 2013).

İlk kez 2005 yılında, Arcachon Körfezi'ndeki kabuklu su ürünlerinde bir grup siklik imin toksini olan spirolitler tespit edilmiştir (Amzil & ark., 2007).

Bugüne kadar, sadece bir çalışma, *A. ostenfeldii* maruziyetinin çift kabuklular üzerindeki etkisini belgelemiş ve bu dinoflagellatın Pasifik istiridyesi *Crassostrea gigas* tarafından tüketilmesiyle spirolit biriktiren ana organ olan sindirim bezinde bir tepkiye neden olduğunu göstermiştir (Medhioub & ark., 2012).

İtalya'da toplanan midye örneklerinde spirolitler, gymnodiminler ve pinnatoksinler kaydedilmiştir. Yaygın dinoflagellatlar *Alexandrium ostenfeldii* ve *A. peruvianum*, bugüne kadar bilinen tek spirolit (SPX) ve GYM üreticisi türler olarak tespit edilmiştir (Cembella & ark., 1999; Cembella & ark., 2000; Van Wagoner & ark., 2011; Harju & ark., 2016). SPX'in İtalya'daki ilk kaydı 2003 yılında, Emilia-Romagna kıyılarında bir *A. ostenfeldii* çiçeklenmesinin ardından meydana gelmiştir (Ciminiello & ark., 2006; Pigozzi & ark., 2006).

Siklik iminler, İtalya'da, 2014 ve 2015 yıllarında Marche'de toplanan midye örneklerinde sırasıyla 31 ve 14 µg kg kadar spirolitler ve gymnodiminler tespit edilmiştir (Bacchiocchi & ark., 2020). Mayıs 2016'da Sardunya'da örneklenen midyelerde (6.8 µg kg) pinnatoksin kaydedilmiştir (Varriale & ark., 2021).

Avrupa'da SPX, Norveç, İspanya ve İtalya'da kabuklu su ürünlerinde bulunurken (Aasen & ark., 2005; Villar Gonzalez & ark., 2006; Pigozzi & ark., 2008), PnTX, Norveç kıyılarının çeşitli yerlerindeki midyelerde bulunmuştur (EFSA, 2010; Miles & ark., 2010). Son zamanlarda, Yunanistan'da kabuklu su ürünlerinin siklik

iminler tarafından kontaminasyonu üzerine bir LC-MS/MS yöntemi uygulanarak üç yıllık bir araştırma (2019-2021) gerçekleştirilmiştir. Analiz edilen 6911 örnekten sırasıyla 1123, 585 ve 3085 örnekte gymnodiminler, spirolitler ve pinnatoksinler ölçülmüştür. Bulunan maksimum konsantrasyonlar sırasıyla GYM, SPX ve PnTXx için 74, 69 ve 64 µg/kg'dır (Amzil & ark., 2023).

Toksinler

Spirolidler ilk olarak 1990'larda Kanada'daki Nova Scotia'nın Atlantik kıyısında, midye ve tarak ekstraktlarında fare biyo-tahlili ile olağandışı toksisiteler tespit edildiğinde keşfedildi. Spirolidler, gymnodiminler, pinnatoksinler, pteriatoksinler, portimin, spiro-prorosentrimin ve prorosentrolidleri de içeren siklik imin nörotoksin grubuna aittir (Stivala & ark., 2015).

Siklik imin toksinlerinin jenerik kimyasal yapısı, halka boyutu 14 ile 27 arasında olan bir makro döngü ve iki alt birim içeren iki korunmuş özellik ile temsil edilir; siklik imin grubu (çoğu durumda bir spiroimin olarak bulunur) ve spiroketal halka sistemi. Beş üyeli (portimine), altı üyeli (gymnodimines, spiro-prorosentimine, prorocen trolides) veya yedi üyeli (spirolidler, pinnatoksinler, pteriatoksinler) halka, birçok durumda bir veya iki metil grubu ile ikame edilir (Finch & ark., 2024).

Yeni Zelanda'da pinnatoksinler E ve F, Güney Avustralya'da pinnatoksinler A, E, F ve/veya G ve Japonya'da pinnatoksin G üretiminden dinoflagellatların suşlarının sorumlu olduğu gösterilmiştir (Rhodes & ark., 2011). Yakın zamanlarda, yeni bir pinnatoksin analogu olan pinnatoksin H, Güney Çin Denizi'nden gelen bir dinoflagellat *Vulcanodinium rugosum* kültüründen

saflaştırılmıştır (Selwood & ark., 2014). Kanada midyelerinden izole edilen pinnatoksinler A ve G'nin yağ asidi esterlerinin, dinoflagellattan ziyade kabuklu su ürünlerinden kaynaklandığı bildirilmiştir (McCarron & ark., 2012).

Toksin tespit yöntemleri ve tüketilebilir sınır

Toksin tespit yöntemleri için en sık uygulanan yöntemler LC-MS/MS ve fonksiyonel testlerdir (Daguer & ark., 2018).

Bu bileşiklerin hiçbiri şu anda AB içinde düzenleyici sınırlara tabi değildir, ancak ortaya çıkan veya potansiyel toksinler olarak izleme listesinde yer almaktadırlar (Karlson & ark., 2021).

Sonuç

Küresel iklim değişikliğinin baskısı ve insan faaliyetlerinin etkisi altında, kıyı deniz suyundaki pH'nın azalması, besin maddelerinin artması toksik alglerin bolluğunu artırabilir. Bu sebeple deniz ıslah endüstrileri ve insan sağlığı için ciddi tehditlere neden olabilir (He & ark., 2019). Kontamine gıdalardan veya alg toksinleriyle doğrudan temastan kaynaklanan insan zehirlenmesi vakaları son 10 yılda artmıştır (Hallegraeff & ark., 2021).

Bu türlerin yayılması AB Üye Devletleri arasında endişe yaratmış, tespit yöntemlerinin yanı sıra izleme programlarının geliştirilmesine ve doğrulanmasına yol açmıştır (Solino & Costa, 2020).

Alg biyotoksinleri için izleme programı, 91/492/EEC sayılı Kabuklu Su Ürünleri Hijyen Direktifi'nin bir gerekliliği olan bu mevzuata göre, AB üye devletlerinin üretim ve aktarma alanlarında toksin üreten planktonların ve canlı çift kabuklu yumuşakçalarda

biyotoksinlerin varlığını izlemesini gerektirmektedir. İzleme, 1992 yılında AB Direktifinin doğrudan bir sonucu olarak başlayan pilot program iki kısma ayrılır:

1. Kabuklu su ürünleri örneklerinin ticari olarak aktif hasat alanlarından toplandığı ve alg biyotoksinleri için test edildiği et izleme
2. Seçilen hasat alanlarından su örneklerinin toplandığı ve potansiyel olarak toksik alg türleri için incelendiği su izleme programıdır.

Amacı: Kabuklu su ürünleri etinde biriken toksinler konusunda önceden uyarı vermek ve kontamine kabuklu deniz canlılarının yaygın insan sağlığı sorunlarına neden olmadan önce dağılımını sınırlamaktır. İngiltere ve Galler'de bu direktife uyum, Gıda Standartları Ajansı'nın sorumluluğundadır (CEFAS, 2004).

İklim değişikliği, kirlilik ve kıyı sömürüsü geri döndürülemez. Bu nedenle çalışmalar hayvan ve insan sağlığına karşı zararlı etkilerini azaltmak için sucul ortamlar üzerindeki etkilerinin etkili bir şekilde izlenmesine yönlendirilmelidir (Castello & ark., 2024). Su ürünleri yetiştiricileri tarafından toksik alglerin etkisini en aza indirmek için başka yöntemler geliştirilmiştir (otomatik beslenmeyi durdurmak, yosun konsantrasyonunu seyreltmek için su pompalamak, erken su ürünü hasadı ve toksik maruziyetten önce pazarlamak, vb.) (Lassus & ark., 2016). Araştırmacılar ve kontrol kurumları arasında bir anlaşma gerekliliği kaçınılmazdır. Belirli bir coğrafi bölgede meydana gelen ana toksinlerin yanı sıra o bölgede tüketilen ve üretilen ana türlerinin analizine yönlendirilme yapılmalıdır. Su ürünleri ve deniz suyu kontrol programları, halk

sağlığını korumanın ve kontamine alanların kapatılması nedeniyle balıkçılık ekonomisine zarar vermekten kaçınmanın bir yolu olarak tüm üretici ülkeler tarafından uygulanmalı ve yoğunlaştırılmalıdır. Toksik alg çoğalmaları sırasında su ürünleri hasadından kaçınmak gibi önleyici tedbirler alınmalıdır. Yeni toksinlerin tanımlanmasına dikkat edilmeli ve bu ciddi halk sağlığı sorununun su ürünleri güvenilirliğini etkilemeden daha az maliyetli kontrolün alternatif yolları aranmalıdır (Daguer & ark., 2018). Tablo 1’de su ürünleri kaynaklı zehirlenme türleri, toksin tipi ve neden olan türler ile zehirlenmelerin görüldüğü bölgeler farklı literatürler taranarak özetlenmiştir.

Tablo 1. Zehirlenme Türleri, Toksin Tipleri, Toksin Üreten Türler ve Görülen Bölgeler:

Zehirlenme Türü	Toksin Tipi	Türler	Görülen Bölgeler
PSP	Saksitoksin Neosaksitoksin Gonyautoksin C serisi toksin M serisi toksin	<i>Alexandrium</i> spp. <i>Gymnodinium</i> spp. <i>Pyrodinium</i> spp. <i>Lingulodinium polyedrum</i>	Alaska dahil Kuzey Amerika'nın Atlantik ve Pasifik kıyıları, Şili, Çin, Filipinler, İrlanda, İskoçya, Avustralya, Yeni Zelanda
DSP	Okadaik asit Dinofisistoksin	<i>Dinophysis</i> spp. <i>Prorocentrum</i> spp. <i>Phalacroma</i> spp.	Kanada, Şili, ABD, Uruguay, Çin, Japonya,

	Pektenotoksin	<i>Dinophysis</i> spp. Prorocentrum spp.	Belçika, Fransa, İrlanda, İskandinavya, İspanya, Yeni Zelanda
	Yessotoksin	<i>Protoceratium reticulatum</i> <i>lingulodinium polyedrum</i> <i>Gonyaulax spinifera</i>	
NSP	Brevetoksin	<i>Gymnodinium breve</i> <i>Pfiesteria piscicida</i> <i>P. shumwayae</i> <i>Kerenia brevis</i> <i>Chatonella marina</i> <i>C. antiqua</i> <i>Fibrocapsa japonica</i> <i>Heterosigma akashiwo</i>	Karayipler, Meksika, ABD, Yeni Zelanda
ASP	Domoik asit	<i>Pseudo-nitzshia</i> spp.	Kanada, Şili, Washington, Oregon, Belçika, Fransa, İrlanda, Portekiz, İskoçya, İspanya, Avustralya, Yeni Zelanda,

			Tunus, Alaska
AZP	Azaspirasit	<i>Azadinium</i> spp. <i>Amphidoma</i> <i>languida</i>	Yunanistan, Norveç, Japonya, İsveç, Washington
CFP	Ciguatoksin	<i>Gambierdiscus</i> spp. <i>Fukuyoa</i> spp. <i>Ostreopsis</i> <i>heptagona</i> , <i>Prorocentrum</i> <i>lima</i> , <i>Ostreopsis</i> <i>siamensis</i> , <i>Coolia</i> <i>monotis</i>	Brezilya, Fas, Tayland, İspanya
	Maitotoksin	<i>Gambierdiscus</i> spp. <i>Fukuyoa</i> spp	
	Gambieron	<i>Gambierdiscus</i> spp.	
VSP	Venerupin	<i>Prorocentrum</i> <i>minimum</i>	Japonya, Norveç, Portekiz, Çin
PFP	Tetrodotoksi n	<i>Gastropodla</i> <i>r</i>	Avustralya, Bangladeş, Brezilya, Çin, Fas, Singapur, Tayvan, ABD, İspanya, Yunanistan, İngiltere, Hollanda,

			Portekiz, İtalya
Palitoksin Zehirlenmesi	Palitoksin Ovatoksin	<i>Palythoa</i> spp. <i>Ostreopsis</i> spp.	Rusya, Fransa, İspanya, Yeni Zelanda, Japonya, Madagaskar , Filipinler, İtalya, Yunanistan, ABD, Brezilya, Hırvatistan
Siklik İminler	Spirolitler	<i>Alexandrium</i> <i>ostenfeldii</i> , <i>Alexandrium</i> <i>peruvianum</i>	İtalya, Norveç, İspanya, Yunanistan, Kanada
	Pinnatoksinler	<i>Pinna</i> <i>attenuata</i> <i>Vulcanodinium</i> <i>rugosum</i>	
	Gymnodininler	<i>Karenia</i> <i>selliformis</i> , <i>Alexandrium</i> <i>ostenfeldii</i> , <i>Alexandrium</i> <i>peruvianum</i>	

Kaynak: Aydın & Uzar, 2009; EFSA, 2010; Gatti & ark., 2018; Zingone & ark., 2021; Ansdell & ark., 2024.

Tablo 2’de algal su ürünlerin zehirlenmesine neden olan kaynaklar, zehirlenme semptom başlangıç zamanı ve süresi, akut semptomlar ve tedavi yöntemleri literatürlerden özetlenmiştir.

Tablo 2. Algal Su Ürünleri Zehirlenmeleri, Kaynak, Semptom Başlangıç Zamanı ve Süresi, Akut Semptomlar, Tedavi Yöntemleri

Zehir lenme Türü	Kayna k	Semp tom Başlangıç Zamanı ve Süresi	Akut Semptomlar	Tedavi
Paralitik Kabuklu Su Ürünleri Zehirlenmesi (PSP)	Çift kabuklu yumuşakçalar (istiridye, midye, deniz tarağı), yengeç, ıstakoz, gastropodlar, kafadanbacaklılar, Atlantik somonu, ringa balığı, uskumru, kirpi balığı	Semptomlar 30 dakikadan birkaç saate kadar başlar ve 24 saatten fazla sürebilir	Nörolojik semptomlar (dudaklarda ve dilde karıncalanma, parestezi, halsizlik, ataksi, baş dönmesi, nefes darlığı)	Destekleyici bakım: sıvı tedavisi, solunum desteği.
Diaretik Kabuklu Su Ürünleri Zehirlenmesi (DSP)	Midye, ıstiridye, deniz tarağı	Semptomlar 30 dakika ila 5 saat arasında ortaya çıkar ve yaklaşık 2-3 gün devam eder	İshal, gastrointestinal sıkıntı, bulantı, kusma ve karın ağrısı	Elektrolit ve sıvı takviyesi

Nörotoksin Kabuklu Su Ürünleri Zehirlenmesi (NSP)	Midye, istiridyeye, salyangoz, deniz tarağı, bazı planktivor balıkların organları	Belirtiler 15 dakika ila 3 saat arasında başlar ve birkaç gün sürer	Nörolojik (parestezi, periferik karıncalanma, ataksi, kas ağrısı, ciddi vakalarda koordinasyon kaybı ve koma) ve gastrointestinal semptomlar (bulantı, kusma, karın ağrısı ve ishal). Solunum problemleri ve göz tahrişi meydana gelebilir	Genel destekleyici bakım, bronkodilatörler, sıvı takviyesi, aktif kömür ile gastrointestinal dekontaminasyon. Sakinleştiricilerin uygulanması ve ağrı hafifletme
Amnezik Kabuklu Su Ürünleri Zehirlenmesi (ASP)	İstiridye, midye, deniz tarağı, kalamar, sardalya, hamsi, yengeç ve istakoz	Semptomlar 15 dakikadan 48 saate kadar başlar ve şiddetli zehirlenmelerde birkaç ay sürebilir	Gastrointestinal (bulantı, kusma, ishal) ve nörolojik semptomlar (konfüzyon, oryantasyon bozukluğu, hafıza kaybı, nöbetler)	Solunum desteği ve kardiyak disritmilerin ve hemodinamik instabilitenin düzeltilmesi
Azapsitirasi Zehirlenmesi (AZP)	Midye, istiridyeye, deniz tarağı	3 saat içerisinde başlar ve 15 saat sürer	İshal, mide bulantısı, kusma ve	Elektrolit ve sıvı takviyesi

			karın krampları	
Ciguatera Zehirlenmesi (CP)	Balık, yumuşakçalar	Semptomlar yarım saat ile 12 saat arasında başlar. Akut faz 2-4 gün sürer. Kronik fazda semptomlar haftalarca veya aylarca devam eder.	Gastrointestinal, nörolojik semptomlar (soğuk allodini, kaşıntı, baş dönmesi, ataksi, yorgunluk), kardiyovasküler (hipotansiyon, bradikardi)	İntravenöz mannitol ve destekleyici bakım
Venerupin Kabuklu Zehirlenmesi (VSP)	Midye, istiridye	Belirtiler 24-48 saat arası sürmektedir	Mide bulantısı, kusma, mide ağrısı, sıkışma, baş ağrısı, iştahsızlık	-
Kirpi Balığı Zehirlenmesi (PFP)	Kirpi balığı, kaya balığı, gastropodlar, yengeçler ve çift kabuklular	Semptomlar 10-45 dakika içinde ortaya çıkar, bazen 3-6 saate kadar gecikir ancak iyileşme	Ölümcül vakalarda uyuşma, parestezi, koordinasyon bozukluğu, ciddi solunum yetmezliği, hipotansiyon, kardiyak	Spesifik bir panzehir yoktur. Tedavi, emilmemiş toksinin uzaklaştırılmasıyla destekleyicidir. Tedavi seçenekleri

		ile ilgili insan verileri çok değişkendir	disritmiler ve ölüm	arasında sistein, kolinesteraz inhibitörleri, nalokson ve steroid vardır
Palitoksine Zehirlenmesi	Balık, deniz kestanesi, yumuşakçalar, yengeçler, ahtapot	Başlangıç: Dakika ila birkaç saat	Acı tat, ağız ve uzuv uyuşması, baş dönmesi, kas ağrısı, rabdomiyoliz	Destekleyici bakım, gastrik lavaj, suni solunum ve sıvı uygulaması
Siklik İminler	Çift kabuklular	-	Gastrointestinal, kas ve kutanöz problemler olabilir. Henüz iyi karakterize edilmemiş, ancak fareler için toksik	-

Kaynak: Vilarino & ark., 2018; Daguer & ark., 2018; Finch & ark., 2024.

Tablo 3 de ise toksin tespit yöntemleri ve tüketilebilir sınır değerleri derlenmiştir.

Tablo 3. Toksin Tespit Yöntemleri ve Tüketilebilir Sınır Değerleri

Zehirlenme	Toksin	Toksin Tespit Yöntemleri	Tüketilebilir Sınır Değer
PSP	Saksitoksin Neosaksitoksin Gonyautoksin C serisi M serisi	HPLC-FLD LC-MS	STX: 800 µg/kg
DSP	Okadaik asit Pektenotoksin Yessotoksin İhtiyotoksin	LC-MS	OA: 160 µg/kg YTX: 3,75 mg/kg
NSP	Brevetoksin	LC-MS ELISA	BTX: 800 µg/kg
ASP	Domoik asit	HPLC-UV	DA: 20 mg/kg
AZP	Azaspirasit	LC-MS/MS	AZA: 160 µg/kg
CFP	Ciguatoksin Maiototoksin Gambieron	LC-MS cLC- MS	CTX: 0,01 µg/kg
VSP	Venerupin		-
PFP	Tetrodotoksin	ELISA LC-MS UPLC-MS/MS	EFSA: TTX: 44 µg/kg
Palitoksin Zehirlenmesi	Palitoksin Ovatoksin	LC-MS/MS UHPLC-ESI-MS	EFSA: 30 µg/kg
Siklik İminler	Spirolitler Pinnatoksinler Gymnodiminler	LC-MS/MS	-

Kaynak: James & ark., 2003; Twiner & ark., 2007; CODEX Alimentarius, 2008; EFSA, 2009b; Jang & ark., 2010; McNabb & ark., 2010; AOAC, 2011; EC, 2011; Yogi & ark., 2011; EFSA,2017; Louzao & ark., 2017; Daguer & ark., 2018; Antonelli & ark., 2021; FDA, 2021; Karlson & ark., 2021; Estevez & ark., 2023; Estevez & ark., 2024.

Çalışma kapsamında farklı toksinlerin genel yapısı, görüldüğü bölgeler, toksin tespit yöntemleri, insanlarda neden olduğu semptomlar ve tüketilebilir limit değerler hakkında literatürler derlenmiştir. Dünya genelinde özellikle açık denize kıyısı olan bölgelerde görülen bu zehirlenme vakalarının ithal ürünlerle de tüketicileri etkileyebileceği unutulmamalıdır. Bulaş ürünlerdeki toksinler ısıtıl işlem, marinasyon, tuzlama, dumanlama gibi farklı işleme yöntemleri ile inaktif hale gelmemektedir bu nedenle temiz sulardan avlanan ya da temiz sularda yetiştirilen ürünler tüketilmelidir. Özellikle kabuklu su ürünlerinin ithalatında hassasiyet gösterilmesi halk sağlığı açısından önemlidir.

KAYNAKÇA

Aasen, J., Mackinnon, S.L., Le Blanc, P., Walter, J.A., Hovgaard, P., Aune, T. & Quilliam, M.A. (2005). Detection and identification of spirolides in Norwegian shellfish and plankton. *Chem. Res. Toxicol.*18, 509–515.

Abdullah, L., Ferguson, S., Niedospial, D., Patterson, D., Oberlin, S. & ... Mullan, M. (2022). Exposure-response relationship between *K. brevis* blooms and reporting of upper respiratory and neurotoxin-associated symptoms. *Harmful Algae*. 117, 102286. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102286>

Akiba, T. & Hattori, Y. (1949). Food poisoning caused by eating asari and oyster-toxic substance, venerupin. *Jpn. J. Exp. Med.* 20, 271–284.

Alcala, A.C., Alcala, L.C., Garth, J.S., Yasumura, D. & Yasomoto, T. (1988). Human fatality due to ingestion of the crab *Demania reynaudii* that contained a palytoxin-like toxin. *Toxicon*. 26,1,105-107.

Aligizaki, K., Katikou, P., Milandri, A. & Diogene, J. (2011). Occurrence of palytoxin-group toxins in seafood and future strategies to complement the present state of the art. *Toxicon*. 57(3):390-399.

Aligizaki, K., Katikou, P., Nikolaidis, G. & Panou, A. (2008). First episode of shellfish contamination by palytoxin-like compounds from *Ostreopsis* species (Aegean Sea, Greece). *Toxicon*. 51, 418–427.

CODEX Alimentarius, C. (2008). Standard for Live and Raw Bivalve Molluscs. In Codex Alimentarius, Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.

Amzil, Z., Derrien, A., Terre Terrillon, A., Savar, V., Bertin, T., Peyrat, M., Duval, A., Lhaute, K., Arnich, N., Hort, V. & Nicolas, M. (2023). Five Years Monitoring the Emergence of Unregulated Toxins in Shellfish in France (EMERGTOX 2018–2022). *Mar. Drugs*. 21, 435. <https://doi.org/10.3390/md21080435>

Amzil, Z., Sibat, M., Royer, F., Masson, N. & Abadie, E. (2007). Report on the first detection of pectenotoxin-2, spirolide-A and their derivatives in French shellfish. *Mar. Drugs*. 5, 168–179.

Anderson, M. D., Andersen, P., Bricelj, V. M., Cullen, J. J. & Rensel, J. E. J. (2001). Monitoring and Management Strategies for HAB in Coastal Waters. *IOC Technical Series*. 59, 280.

Ansdell Vernon, E. (2024). Food Poisoning from Marine Toxins. 2024 Yellow Book | Travelers' Health CDC. <https://wwwnc.cdc.gov/travel/yellowbook/2024/environmental-hazards-risks/food-poisoning-from-marine-toxins>

ANSES. (2021). Opinion of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety of 2 March 2021 on the State of Knowledge on Brevetoxins in Shellfish, Data on Toxicity, Occurrence and Brevetoxin-Producing Microalgae. Request No 2020-SA-0020).

Antonelli, P., Salerno, B., Bordin, P., Peruzzo, A., Orsini, M., Arcangeli, G., Barco, L. & Losaso, C. (2021). Tetrodotoxin in live bivalve mollusks from Europe: Is it to be considered an emerging

concern for food safety?. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 21, 719–737. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12881>

AOAC. (2012). Official Method 2011.02. Paralytic Shellfish Toxins in Mussels, Clams, Oysters, and Scallops. Post-Column Oxidation (PCOX) Method. In Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th ed., AOAC:Gaithersburg, MD, USA.

Arnich, N., Abadie, E., Delcourt, N., Fessard, V., Fremy, J.M., Hort, V., Lagrange, E., Maignien, T., Molgo, J., Peyrat, M.B., Vernoux, J.P. & Mattei, C. (2020). Health risk assessment related to pinnatoxins in French shellfish. *Toxicon*. 180, 1–10.

Aydn, H. & Uzar, S. (2009). Denizel Mikroalg Biyotoksinleri ve Etkileri. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*. 5.1, 87 – 100.

Bacchiocchi, S., Siracusa, M., Campacci, D., Ciriaci, M., Dubbini, A., Tavoloni, T., Stramenga, A., Gorbi, S. & Piersanti, A. (2020). Cyclic Imines (CIs) in mussels from north-central Adriatic sea: first evidence of gymnodimine a in Italy. *Toxins*. 12, 370. <https://doi.org/10.3390/toxins12060370>.

Baeza, F. (2009). V Centenario del nacimiento de Andrés de Urdaneta. *Cuaderno monografico*. 58. <https://es.scribd.com/document/374151978/V-CENTENARIO-DEL-NACIMIENTO-DE-ANDRES-DE-URDANETA>

Bates, S.S., Bird, C.J., Freitas, A.S.W., Foxall, R., Gilgan, M., Hanic, L.A., Johnson, G.R., McCulloch, A.W., Odense, P., Pocklington, R. & ... Wright, L.C. (1989). Pennate Diatom *Nitzschia pungens* as the Primary Source of Domoic Acid, a Toxin in Shellfish

from Eastern Prince Edward Island, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 46,1203–1215. <https://doi.org/10.1139/f89-156>

Bates, S.S., Hubbard, K.A., Lundholm, N., Montresor, M. & Leaw, C.P. (2018). *Pseudo-nitzschia*, *Nitzschia*, and domoic acid: new research since 2011. *Harmful Algae*. 79, 3-43.

Bazzoni, A.M., Cangini, M., Mudadu, A.G., Lorenzoni, G., Arras, I., Sanna, G., Pino, F., Milandri, A. & Virgilio, S. (2020). Recent findings of paralytic shellfish toxins linked to the genus *Alexandrium* halim in mediterranean mollusc production areas. *Toxicon*., 174, 48–56.

Benson, J.M., Tischler, D.L. & Baden, D.G. (1993). Uptake, tissue distribution, and excretion of brevetoxin 3 administered to rats by intratracheal instillation. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 57, 5, 345-355. <https://doi.org/10.1080/009841099157656>

Bentur, Y., Ashkar, J., Lurie, Y., Levy, Y., Azzam, Z.S., Litmanovich, M., Golik, M., Gurevych, B., Golani, D. & Eisenman, A. (2008). Lessepsian migration and tetrodotoxin poisoning due to *Lagocephalus sceleratus* in the eastern Mediterranean. *Toxicon*., 52, 8, 964–968. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2008.10.001>.

Berdalet, E., Pavaux, A. S., Abos-Herrandiz, R., Travers, M., Appere, G., Vila, M., Thomas, J., Haro, L., Estrada, M., Medina-Perez, N. I., Viure, L., Karlson, B. & Lemee, R. (2022). Environmental, human health and socioeconomic impacts of *Ostreopsis* spp. Blooms in the NW Mediterranean. *Harmful Algae*, 119, 102320.

Bianchi, V.A., Bickmeyer, U., Tillmann, U., Krock, B., Müller, A. & Abele, D. (2021). In vitro effects of paralytic shellfish toxins and lytic extracellular compounds produced by *Alexandrium* strains on hemocyte integrity and function in *mytilus edulis*. *Toxins*, 13, 544.

Blanco, J. (2018). Accumulation of Dinophysis Toxins in Bivalve Molluscs. *Toxins*, 10, 11, 453.

Blythe, D. G. & Sylva, D. P. (1990). Mother's milk turns toxic following fish feast. *J. Am. Med. Assoc.*, 264, 16, 2074. DOI: [10.1001/jama.264.16.2074b](https://doi.org/10.1001/jama.264.16.2074b)

Boada, L.D., Zumbado, M., Luzardo, O.P., Almeida-González, M., Plakas, S.M., Granade, H.R., Abraham, A., Jester, E.L.E. & Dickey, R.W. (2010). Ciguatera Fish Poisoning on the West Africa Coast: An Emerging Risk in the Canary Islands (Spain). *Toxicon.*, 56, 1516–1519.

Botana, L., Hess, P., Munday, R., Nathalie, A., DeGrasse, S., Feeley, M., Suzuki, T., Van den Berg, M., Fattori, V., Gamarro, E. & ... Karunasagar, I. (2017). Derivation of toxicity equivalency factors for marine biotoxins associated with Bivalve Molluscs. *Trends Food Sci. Technol.*, 59, 15–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.015>

Bouchouicha-Smida, D., Lundholm, N., Kooistra, W.H., Sahraoui, I., Ruggiero, M.V., Kotaki, Y., Ellegaard, M., Lambert, C., Mabrouk, H.H. & Hlaili, A.S. (2014). Morphology and molecular phylogeny of *Nitzschia bizertensis* sp. nov. A new domoic acid-producer. *Harmful Algae*, 32, 49–63.

Brescianini, C., Grillo, C., Melchiorre, N., Bertolotto, R., Ferrari, A., Vivaldi, B., Icardi, G., Gramaccioni, L., Funari, E. & Scardala, S. (2006). *Ostreopsis ovata* algal blooms affecting human health in Genova, Italy, 2005 and 2006. *Eurosurveillance*, 11, 36, 03040.

Castello, A., Alio, V., Cammilleri, G., Sciortino, S., Macaluso, A., Ferrantelli, V., Dall'Ara, S., Pino, F., Servadei, I., Oliveri, G. & Costa, A. (2024). Microbiological and Toxicological Investigations on Bivalve Molluscs Farmed in Sicily. *Foods*, 13, 552. <https://doi.org/10.3390/foods13040552>

Catterall, W.A., Cestele, S., Yarov-Yarovoy, V., Yu, F.H., Konoki, K. & Scheuer, T. (2007). Voltage-gated ion channels and gating modifier toxins. *Toxicon.*, 49, 124–141.

CEFAS 2004. Toxic and Nuisance Algae Monitoring Programme. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cefas.co.uk/publications/posters/30965web.pdf](https://www.cefas.co.uk/publications/posters/30965web.pdf)

Cembella, A.D., Lewis, N.I. & Quilliam, M.A. (1999). Spirolide composition of micro- extracted pooled cells isolated from natural plankton assemblages and from cultures of the dinoflagellate *Alexandrium ostenfeldii*. *Nat. Toxins.*, 7, 197–206. DOI: [10.1002/1522-7189\(200009/10\)7:5<197::aid-nt62>3.0.co;2-h](https://doi.org/10.1002/1522-7189(200009/10)7:5<197::aid-nt62>3.0.co;2-h)

Cembella, A.D., Lewis, N.I. & Quilliam, M.A. (2000). The marine dinoflagellate *Alexandrium ostenfeldii* (Dinophyceae) as the causative organism of spirolide shellfish toxins. *Phycologia*, 39, 1, 67–74. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-39-1-67.1>.

Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Fattorusso, E., Magno, S., Tartaglione, L., Cangini, M., Pompei, M., Guerrini, F., Boni, L. & Pistocchi, R. (2006). Toxin profile of *Alexandrium ostenfeldii* (Dinophyceae) from the Northern Adriatic Sea revealed by liquid chromatography-mass spectrometry. *Toxicon.*, 47, 5, 597–604.

Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Dello Iacovo, E., Fattorusso, E., Forino, M., Grauso, L. & Tartaglione, L. (2012). High resolution LC-MSn fragmentation pattern of palytoxin as template to gain new insights into ovatoxin-A structure. The key role of calcium in MS behavior of palytoxins. *J. Am. Soc. Mass Spectrom.*, 23, 952–963.

Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Dello Iacovo, E., Forino, M. & Tartaglione, L. (2015). Liquid chromatography–high-resolution mass spectrometry for palytoxins in mussels. *Anal. Bioanal. Chem.*, 407, 1463-1473. <https://doi.org/10.1007/s00216-014-8367-6>

Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Fattorusso, E., Forino, M., Magno, G. S., Tartaglione, L., Grillo, C. & Melchiorre, N. (2006). The Genoa 2005 outbreak. Determination of putative palytoxin in Mediterranean *Ostreopsis ovata* by a new liquid chromatography tandem mass spectrometry method. *Anal. Chem.*, 78, 6153–6159.

Ciminiello, P. & Fattorusso, E. (2008). Chemistry, metabolism, and chemical analysis. Seafood and Freshwater Toxins. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton. London. New York, 2008. 287-288.

Daguer, H., Hoff, R.B., Molognoni, L., Kleemann, C.R. & Felizardo, L.V. (2018). Outbreaks, toxicology, and analytical methods of marine toxins in seafood, *Current Opinion in Food Science*, 24, 43-55. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.10.006>

Darracq, M.A. (2014). Ciguatera. Encyclopedia of Toxicology (Third Edition). 963-965.

De Fouw, J.C., Van Egmond, H.P. & Speijers, G.J.A. (2001). Ciguatera fish poisoning: a review. RIVM Report No. 388802021.

Deeds, J.R., Landsberg, J.H., Etheridge, S.M., Pitcher, G.C. & Longan, S.W. (2008). Non-traditional vectors for paralytic shellfish poisoning. *Mar. Drugs*, 6, 308–348.

Deting, M., Jiaoxia, S., Moli, L., Zhongcheng, W., Yangrui, w., Yiqiang, X. & ... Xiaoli, H. (2023). Identification of Monitoring Organ in Bivalves for Early Warning of Paralytic Shellfish Toxins Accumulation. *J. Ocean Univ. China*, 22, 251–257. <https://doi.org/10.1007/s11802-023-5402-2>

Doucet, E., Ross, N.N. & Quilliam, M.A. (2007). Enzymatic hydrolysis of esterified diarrhetic shellfish poisoning toxins and pectenotoxins. *Anal. Bioanal. Chem.*, 389, 335–342.

Doucette, T.A. & Tasker, R.A. (2008). Domoic acid: Detection methods, pharmacology and toxicology. In *Seafood and Freshwater Toxins: Pharmacology, Physiology and Detection*, 2nd. ed., Botana, L.M., Ed., CRC Press: Boca Raton, FL, USA. 397–429.

Duagbjerg, N., Hansen, G., Larsen, J. & Moestrup, O. (2001). Phylogeny of Some of the Major Genera of Dinoflagellates Based on Ultrastructure and Partial LSU rDNA Sequence Data, Including the Erection of Three New Genera of Unarmored Dinoflagellates. *Phycologia*, 39, 302-317.

Duran-Riveroll, L.M., Cembella, A.D. & Okolodkov, Y.B. (2019). A review on the biodiversity and biogeography of toxigenic

benthic marine dinoflagellates of the coasts of Latin America. *Front. Mar. Sci.*, 6, 148.

EC (2005). Commission Regulation (EC) No. 2074/2005 of 5 December 2005 laying down implementing measures for certain products under Regulation (EC) No. 853/2004 of the European Parliament and of the Council and for the organisation of official controls under Regulation (EC) No. 854/2004 of the European Parliament and of the Council and Regulation (EC) No. 882/2004 of the European Parliament and of the Council, derogating from Regulation (EC) No. 852/2004 of the European Parliament and of the Council and amending Regulations (EC) No. 853/2004 and (EC) No. 854/2004. *Off. J. Eur. Comm.* 2005, L338, 27

EC (2011). Commission regulation (EC). No. 15/2011 of 10 January 2011 amending Regulation (EC) No. 2074/2005 as regards recognised testing methods for detecting marine biotoxins in live bivalve molluscs. *Off. J. Eur. Commun.* 2011, L6, 3–9.

EFSA (European Food Safety Authority). (2009). Scientific opinion on marine biotoxins in shellfish-palytoxin group. *EFSA J.* 1393, 1-38.

EFSA. (2017). Scientific opinion on the risks for public health related to the presence of tetrodotoxin (TTX) and TTX analogues in marine bivalves and gastropods. *EFSA J.* 15, 4752.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2009a). Scientific Opinion on marine biotoxins in shellfish—palytoxin group. *EFSA J.* 7, 12, 1393.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2010). Scientific Opinion on marine biotoxins in shellfish—Cyclic imines (spirolides, gymnodimines, pinnatoxins and pteriatoxins). *EFSA J.* 8, 1628.

Errera, R.M., Bourdelais, A., Drennan, M.A., Dodd, E.B., Henrichs, D.W. & Campbell, L. (2010). Variation in brevetoxin and brevenal content among clonal cultures of *Karenia brevis* may influence bloom toxicity. *Toxicon.*, 55, 2–3, 195–203.

Estevez, P., Osés Prieto, J., Burlingame, A. & Gago Martinez, A. (2023). Characterization of the Ciguatoxin Profile in Fish Samples from the Eastern Atlantic Ocean Using Capillary Liquid Chromatography-High Resolution Mass Spectrometry. *Food Chem.*, 418, 135960.

Estevez, P., Osés-Prieto, J., Castro, D., Penin, A., Burlingame, A. & Gago-Martinez, A. (2024). First Detection of Algal Caribbean Ciguatoxin in Amberjack Causing Ciguatera Poisoning in the Canary Islands (Spain). *Toxins*, 16, 189.

Estrada, N., Nunez-Vazquez, E.J., Palacios, A., Ascencio, F., Guzman-Villanueva, L. & Contreras, R.G. (2021). In vitro Evaluation of Programmed Cell Death in the Immune System of Pacific Oyster *Crassostrea gigas* by the Effect of Marine Toxins. *Front. Immunol.*, 12, 634497. 26.

Etheridge, S.M. (2010). Paralytic shellfish poisoning: Seafood safety and human health perspectives. *Toxicon.*, 56, 108–122.

EU. Commission Regulation 2017/1980 of 31 October 2017 amending Annex III to Regulation (EC) No. 2074/2005 as regards

paralytic shellfish poison (PSP) detection method. *Off. J. Eur. Union.*, 2017, L285, 8.

EC. (2004). European Parliament. Regulation No. 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin. *Off. J. Eur. Commun.*, L139, 55–206.

FAO and WHO. (2020). Report of the Expert Meeting on Ciguatera Poisoning. Rome, 19–23 November 2018. Food Safety and Quality No. 9. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8817en>

FAO. (2004). FAO Food and nutrition paper 80. Marine biotoxins. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

FDA. (2011). (Food and Drug Administration). Fish and Fisheries Products Hazard and Control Guidance, Chapter 6: Natural Toxins (a Chemical Hazard), Food and Drug Administration: Silver Spring, MD, USA.

FDA & EPA. (2021). Safety Levels in Regulation and Guidance. Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance. <https://www.fda.gov/media/80400/download>

Fernandez, D.A., Louzao, M.C., Vilarino, N., Espina, B., Fraga, M. & ... Botana, L.M. (2013). The kinetic, mechanistic and cytomorphological effects of palytoxin in human intestinal cells (Caco-2) explain its lower-than parenteral oral toxicity. *FEBS J.*, 280, 16, 3906-3919.

Ferriss, B.E., Marcinek, D.J., Ayres, D., Borchert, J. & Lefebvre, K.A. (2017). Acute and chronic dietary exposure to

domoic acid in recreational harvesters: A survey of shellfish consumption behavior. *Environ. Int.*, 101, 70–79.

Finch, S.C., Harwood, D.T., Boundy, M.J. & Selwood, A.I. (2024). A Review of Cyclic Imines in Shellfish: Worldwide Occurrence, Toxicity and Assessment of the Risk to Consumers. *Mar. Drugs.*, 22, 129.

Fleming, L. E., Blythe, D. G. & Baden, D. G. (1997). ciguatera fish poisoning. *Shoreman's Travel Medicine Monthly*. 1, 1-5.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization. Report of the Expert Meeting on Ciguatera Poisoning: Rome, 19–23 November 2018, Food Safety and Quality Series, 9, World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2020.

Friedman, M. A., Fleming, L. E., Fernandez, M., Bienfang, P., Schrank, K., Dickey, R. & ... Reich, A. (2008). Ciguatera fish poisoning: treatment, prevention and management. *Marine drugs*, 6(3), 456-479. <https://doi.org/10.3390/md6030456>

Friedman, M.A., Fernandez, M., Backer, L.C., Dickey, R.W., Bernstein, J., Schrank, K., Kibler, S., Stephan, W., Gribble, M.O., Bienfang, P. & Fleming, L.E. (2017). An Updated Review of Ciguatera Fish Poisoning: Clinical, Epidemiological, Environmental, and Public Health Management. *Mar. Drugs.*, 15, 72.

Garcia-Altare, M., Tartaglione, L., Dell'Aversano, C., Carnicer, O., de la Iglesia, P., Forino, M., Diogene, J. & Ciminiello, P. (2015). The novel ovatoxin-g and isobaric palytoxin (so far

referred to as putative palytoxin) from *Ostreopsis cf. ovata* (NW Mediterranean Sea): structural insights by LC-high resolution MS. *Anal. Bioanal. Chem.*, 407, 1191e1204.

Gatti, C.M.I., Lonati, D., Darius, H.T., Zancan, A., Roué, M., Schicchi, A., Locatelli, C.A. & Chinain, M. (2018). *Tectus niloticus* (Tegulidae, Gastropod) as a novel vector of ciguatera poisoning: Clinical characterization and follow-up of a mass poisoning event in Nuku Hiva Island (French Polynesia). *Toxins.*, 10, 102.

Gerssen, A., Bovee, T.H.F., Klijnsstra, M.D., Poelman, M., Portier, L. & Hoogenboom, R.L.A. P. (2018). First report on the occurrence of tetrodotoxins in bivalve mollusks in the Netherlands. *Toxins.*, 10, 11, 450. <https://doi.org/10.3390/toxins10110450>.

Graneli, E., Ferreira, C.E.L., Yasumoto, T., Rodrigues, E. & Neves, M. (2002). Sea urchins poisoning by the benthic dinoflagellate *Ostreopsis ovata* on the Brazilian coast. In: Book of Abstracts of Xth International Conference on Harmful Algae. St. Petersburg, Florida.

Grattan, L.M., Holobaugh, S. & Morris, J.G., Jr. (2016). Harmful Algal Blooms and Public Health. *Harmful Algae*, 57, 2–8.

Gu, H.F., Wu, Y.R., Lü, S.H., Lu, D.T., Tang, Y.Z. & Qi, Y.Z. (2022). Emerging harmful algal bloom species over the last four decades in China. *Harmful Algae*, 111, 102059.

Guardone, L., Maneschi, A., Meucci, V., Gasperetti, L., Nucera, D. & Armani, A. (2020). A Global Retrospective Study on Human Cases of Tetrodotoxin (TTX) Poisoning after Seafood Consumption. *Food Rev. Int.*, 36, 645–667.

Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2020). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>, searched on 13 March 2020.

Gültekin, S. K. (2020). Deniz ürünleri kaynaklı paralitik zehirlenme. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 6(2), 95-99.

Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M., Belin, C., Bottein, M.Y.D., Bresnan, E. & ... Zingone, A. (2021). Perceived global increase in algal blooms is attributable to intensified monitoring and emerging bloom impacts. *Communications Earth & Environment*, 2, 117.

Halme, M., Rapinoja, M.L., Karjalainen, M. & Vanninen, P. (2012). Verification and quantification of saxitoxin from algal samples using fast and validated hydrophilic interaction liquid chromatography-tandem mass spectrometry method. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci.*, 880, 50–57.

Halstead, B.W. (1965). Poisonous and Venomous Marine Animals of the World, 3 vols, US Govt. Printing Office, Washington, D.C.

Harju, K., Koskela, H., Kremp, A., Suikkanen, S., De La Iglesia, P., Miles, C.O., Krock, B. & Vanninen, P. (2016). Identification of gymnodimine D and presence of gymnodimine variants in the dinoflagellate *Alexandrium ostenfeldii* from the Baltic Sea. *Toxicon.*, 112, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2016.01.064>.

Havelaar, A.H., Kirk, M.D., Torgerson, P.R., Gibb, H.J., Hald, T., Lake, R.J. & ... Devleesschauwer, B. (2015). Group on behalf of WHO FDBER. World Health Organization global estimates and regional comparisons of the burden of foodborne disease in 2010. *PLoS Med.*, 12, e1001923.

Heil, C.A., Glibert, P.M. & Fan, C. (2005). *Prorocentrum minimum* (Pavillard) Schiller: A review of a harmful algal bloom species of growing worldwide importance. *Harmful Algae.*, 4, 449–470.

Hess, P., Abadie, E., Herve, F., Berteaux, T., Sechet, V., Araoz, R., Molgo, J., Zakarian, A., Sibat, M., Rundberget, T. & ... Amzil, Z. (2013). Pinnatoxin Gis responsible for atypical toxicity in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) and clams (*Venerupis decussata*) from Ingril, a French Mediterranean lagoon. *Toxicon.*, 75, 16–26.

Hort, V., Abadie, E., Arnich, N., Dechraoui Bottein, M.Y. & Amzil, Z. (2021). Chemodiversity of brevetoxins and other potentially toxic metabolites produced by *Karenia* spp. and their metabolic products in marine organisms. *Mar. Drugs*, 19, 12, 656. <https://doi.org/10.3390/md19120656>.

Hu, T., Curtis, J.M., Oshima, Y., Quilliam, M.A., Walter, J.A., Watson-Wright, W.M. & Wright, J.L.C. (1995). Spirolides B and D, two novel macrocycles isolated from the digestive glands of shellfish. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 97, 2159–2161.

Hu, T., Curtis, J.M., Walter, J.A. & Wright, J.L.C. (1996). Characterization of biologically inactive spirolides E and F:

Identification of the spirolides pharmacophore. *Tetrahedron Lett.*, 37, 7671–7674.

Huang, C.J., Schild, L. & Moczydlowski, E.G. (2012). Use-dependent block of the voltage-gated Na⁺ channel by tetrodotoxin and saxitoxin: Effect of pore mutations that change ionic selectivity. *J. Gen. Physiol.*, 140, 435–454.

Ikehara, T., Kuniyoshi, K., Oshiro, N. & Yasumoto, T. (2017). Biooxidation of Ciguatoxins Leads to Species-Specific Toxin Profiles. *Toxins.*, 9, 205

James, K.J., Carey, B., O'Halloran, J., van Pelt, F.N. & Skrabakova, Z. (2010). Shellfish toxicity: Human health implications of marine algal toxins. *Epidemiol. Infect.*, 138, 927–940.

James, K.J., Fidalgo Saez, M.J., Furey, A. & Lehane, M. (2004). Azaspiracid poisoning, the food-borne illness associated with shellfish consumption. *Food Addit. Contam.*, 21, 879–892.

James, K.J., Moroney, C., Roden, C., Satake, M., Yasumoto, T., Lehane, M. & Furey A. (2003). Ubiquitous „benign“ alga emerges as the cause of shellfish contamination responsible for the human syndrome, azaspiracid poisoning. *Toxicon*, 43: 143-151. DOI: [10.1016/s0041-0101\(02\)00244-1](https://doi.org/10.1016/s0041-0101(02)00244-1)

Jang, J.H., Lee, J.S. & Yotsu-Yamashita, M. (2010). LC/MS analysis of tetrodotoxin and its deoxy analogues in the marine puffer fish *Fugu niphobles* from the southern coast of Korea, and in the brackishwater puffer fishes *Tetraodon nigroviridis* and *Tetraodon biocellatus* from Southeast Asia. *Mar Drugs*, 8, 1049–1058.

Jeffery, B., Barlow, T., Moizer, K., Paul, S. & Boyle, C. (2004). Amnesic shellfish poison. *Food and Chemical Toxicology*, 42, 4, 545-557.

Kaladharan, P. & Asokan, K. (2011). India: Shellfish Poisoning. 9th Indian Fisheries Forum. Calicut Research Centre of CMFRI. ISBN 978-81-901219-9-6.

Karlson, B., Andersen, P., Arneborg, L., Cembella, A., Eikrem, W., John, U. & ... Suikkanen, S. (2021). Harmful algal blooms and their effects in coastal seas of Northern Europe. *Harmful Algae*, 102, 101989. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.101989>

Katikou, P., Georgantelis, D., Sinouris, N., Petsi, A. & Fotaras, T. (2009). First report on toxicity assessment of the Lessepsian migrant pufferfish *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin, 1789) from European waters (Aegean Sea, Greece). *Toxicon.*, 54, 1, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.03.012>.

Kishore, P., Minimol, V. A., Kumar, A., Mohan, C. O., Uchoi, D., Chatterjee, N. S., & Panda, S. K. (2023). Impact of Climate Change on Emergence of Biotxin in Fish and Shellfish. In *Outlook of Climate Change and Fish Nutrition* (pp. 179-194). Singapore: Springer Nature Singapore.

Kocatepe D., Erkoyuncu, İ. & Turan, H. (2013). Su Ürünleri Kaynaklı Patojen Mikroorganizmalar ve Zehirlenmeler. *Yunus Araştırma Bülteni*, 3, 47-56.

Krock, B., Tillmann, U., Tebben, J., Trefault, N. & Gu, H. (2019). Two novel azaspiracids from *Azadinium poporum*, and a

comprehensive compilation of azaspiracids produced by Amphidomataceae, (Dinophyceae). *Harmful Algae*, 82, 1–8.

Lago, J., Rodriguez, L.P., Blanco, L., Vieites, J.M. & Cabado, A.G. (2015). Tetrodotoxin, an Extremely Potent Marine Neurotoxin: Distribution, Toxicity, Origin and Therapeutical Uses. *Mar. Drugs.*, 13, 6384–6406.

Lassus, P., Chomerat, N., Hess, P. & Nezan, E. (2016). Toxic and Harmful Microalgae of the World Ocean / Microalgues toxiques et nuisibles de l’océan mondial. Denmark, International Society for the Study of Harmful Algae / Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. IOC Manuals and Guides. 68. (Bilingual English/French).

Laza-Martinez, A., David, H., Riobo, P., Miguel, I. & Orive, E. (2016). Characterization of a strain of *Fukuyoa paulensis* (Dinophyceae) from the Western Mediterranean Sea. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 63, 481–497.

Leal, J.F. & Cristiano, M.L.S. (2022). Marine paralytic shellfish toxins: chemical properties, mode of action, newer analogues, and structure–toxicity relationship†. *Natural Product Reports*, 39, 1, 33–57. <https://doi.org/10.1039/d1np00009h>

Lefebvre, K., Silver, M., Coale, S. & Tjeerdema, R. (2002). Domoic acid in planktivorous fish in relation to toxic *Pseudo-nitzschia* cell densities. *Mar. Biol.*, 140, 3, 625–631.

Lefebvre, K.A., Quakenbush, L., Frame, E., Huntington, K.B., Sheffield, G., Stimmelmayer, R., Bryan, A., Kendrick, P., Ziel, H. & Goldstein, T. (2016). Prevalence of algal toxins in Alaskan marine

mammals foraging in a changing arctic and subarctic environment. *Harmful Algae*, 55, 13–24.

Lehane, L. (2000). Ciguatera update. *Med J Aust.*, 172, 4, 176–179.

Lehane, L. & Lewis, R.J. (2000). Ciguatera: recent advances but the risk remains. *Int J Food Microbiol.*, 61, 2–3, 91–125.

Lekan, D.K. & Tomas, C.R. (2010). The brevetoxin and brevenal composition of three *Karenia brevis* clones at different salinities and nutrient conditions. *Harmful Algae*, 9, 1, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2009.07.004>.

Leung, P.T.Y., Yan, M., Lam, V.T.T., Yiu, S.K.F., Chen, C.Y., Murray, J.S., Harwood, D.T. & ... Wai, T.C. (2018). Phylogeny, morphology and toxicity of benthic dinoflagellates of the genus *Fukuyoa* (Goniodomataceae, Dinophyceae) from a subtropical reef ecosystem in the South China Sea. *Harmful Algae*, 74, 78–97.

Lewis, R.J. (2001). The Changing Face of Ciguatera. *Toxicon.*, 39, 97–106.

Lewitus, A.J., Horner, R.A., Caron, D.A., Garcia Mendoza, E., Hickey, B.M., Hunter, M., Huppert, D.D. & ... Tweddle, J.F. (2012). Harmful algal blooms along the North American west coast region: history, trends, causes, and impacts. *Harmful Algae*, 19: 133–159. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2012.06.009>

Li, Z.Y., Chen, J.H., Li, X., Zhang, R.T., Chen, C., Shi, Q., Wang, S., Zheng, L. & Wang, X.R. (2013). Rapid screening and identification of paralytic shellfish poisoning toxins in red tide algae using hydrophilic interaction liquid chromatography-high resolution

mass spectrometry with an accurate-mass database. *Chin. J. Anal. Chem.*, 41, 979–985.

Louzao, M.C., Abal, P. & Vilarino, N. (2017). Toxicity equivalence factor for regulated and non-regulated marine toxins. *Curr. Opin. Food Sci.*, 18, 64–70.

Lundholm, N., Churro, C., Escalera, L., Fraga, S., Hoppenrath, M., Iwataki, M., Larsen, J., Mertens, K., Moestrup, Ø., Murray, S., Tillmann, U. & Zingone, A. (Eds) (2009 onwards). IOC-UNESCO Taxonomic Reference List of Harmful Micro Algae. Bacillariophyceae. Accessed at: <https://www.marinespecies.org/hab/aphia.php?p=taxdetails&id=148899> on 2024-06-03

Luo, Z., Krock, B., Giannakourou, A., Venetsanopoulou, A., Pagou, K., Tillmann, U. & Gu, H. (2018). Sympatric occurrence of two *Azadinium poporum* ribotypes in the Eastern Mediterranean Sea. *Harmful Algae*, 78, 75–85.

Luo, Z., Krock, B., Mertens, K.N., Nezan, E., Chomerat, N., Bilien, G., Tillmann, U. & Gu, H. (2017). Adding new pieces to the *Azadinium* (Dinophyceae) diversity and biogeography puzzle: non-toxigenic *Azadinium zhuanum* sp. nov. from China, toxigenic *A. poporum* from the Mediterranean, and a non-toxigenic *A. dalianense* from the French Atlantic. *Harmful Algae*, 66, 65–78.

Maranda, L., Wang, R., Masuda, K. & Shimizu, Y. (1990). Investigation of the source of domoic acid in mussels. In: Graneli E, Sundstrom E, Edler L, Anderson DM (eds). Toxic marine phytoplankton. Elsevier, NY, 300–304.

McCarron, P., Rourke, W.A., Hardstaff, W., Pooley, B. & Quilliam, M.A. (2012). Identification of pinnatoxins and discovery of their fatty acid ester metabolites in mussels (*Mytilus edulis*) from Eastern Canada. *J Agric Food Chem.*, 60, 1437–46.

Mcfarren, E.F., Schafer, M., Campbell, J.E., Lewis, K.H., Jensen, E.T. & Schantz, E.J. (1961). Public Health Significance of Paralytic Shellfish Poison. *Advances in Food Research*, 10, 135-179. [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60137-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60137-8)

McMahon, T. & Silke, J. (1996). West coast of Ireland: winter toxicity of unknown aetiology in mussels. *Harmful Algae News*. 14, 2.

McNabb, P., Selwood, A.I., Munday, R., Wood, S.A., Taylor, D.I., Mackenzie, L.A. & ... King, C. (2010). Detection of tetrodotoxin from the grey side-gilled sea slug -Pleurobranchaea maculata and associated dog neurotoxicosis on beaches adjacent to the Hauraki Gulf, Auckland, New Zealand. *Toxicon.*, 56, 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2010.04.017>

Medhioub, W., Lassus, P., Truquet, P., Bardouil, M., Amzil, Z., Sechet, V., Sibat, M. & Soudant, P. (2012). Spirolide uptake and detoxification by *Crassostrea gigas* exposed to the toxic dinoflagellate *Alexandrium ostenfeldii*. *Aquaculture*, 358-359, 108–115.

Miles, C.O., Rundberget, T., Sandvik, M., Aasen, J.A.B. & Selwood, A.I. (2010). The Presence of Pinnatoxins in Norwegian Mussels. National Veterinary Institute's Report series · 07b – 2010. Oslo: National Veterinary Institute, 2009.

Molgo, J., Araoz, R., Benoit, E. & Iorga, B.I. (2014). Cyclic imine toxins: chemistry, origin, metabolism, pharmacology, toxicology, and detection. In: Botana LM, editor. Seafood and freshwater toxins. Pharmacology physiology and detection. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.

Molgo, J., Girard, B. & Benoit, E. (2007). Cyclic imines: An Insight into this Emerging Group of Bioactive Marine Toxins. In Phycotoxins, Chemistry and Biochemistry, Botana, L.M., Ed., Blackwell Publishing: Oxford, UK. 319–335.

Mos, L. (2001). Domoic acid: A fascinating marine toxin. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 9, 79–85.

Munday, R. (2011). Palytoxin toxicology: Animal studies. *Toxicon*, 57, 3, 470–477.

Nicolas, J., Hoogenboom. R.L.A.P., Hendriksen, P.J.M., Boderó, M., Bovee, T.F.H., Rietjens, I.M.C.M. & Gerssen, A. (2017). Marine biotoxins and associated outbreaks following seafood consumption: Prevention and surveillance in the 21st century. *Glob Food Security*.
<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.03.002>

Noguchi, T., Onuki, K. & Arakawa, O. (2011). Tetrodotoxin poisoning due to pufferfish and gastropods, and their intoxication mechanism. *ISRN Toxicol.*, 276939.
<https://doi.org/10.5402/2011/276939>

Nordt, S.P., Wu, J., Zahller, S., Clark, R.F. & Cantrell, F.L. (2009). Palytoxin poisoning after dermal contact with Zoanthid coral. *J Emerg Med.*, 40, 4, 397–399.

Numano, S., Kudo, Y., Cho, Y., Konoki, K., Kaga, Y., Nagasawa, K. & Yotsu-Yamashita, M. (2021). Two new skeletal analogues of saxitoxin found in the scallop, *Patinopecten yessoensis*, as possible metabolites of paralytic shellfish toxins. *Chemosphere*, 278, 130224. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130224>

O'Neill, K., Musgrave, I.F. & Humpage, A. (2016). Low dose extended exposure to saxitoxin and its potential neurodevelopmental effects: A review. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 48, 7–16.

Ofuji, K., Satake, M., McMahon, T., Silke, J., James, K.J., Naoki, H., Oshima, Y. & Yasumoto, T. (1999). Two analogs of azaspiracid isolated from mussels, *Mytilus edulis*, involved in human intoxication in Ireland. *Nat. Toxins.*, 7, 99–102.

Okaichi, T. & Imatomi, Y. (1979). In: D.L. Taylor, H.H. Seliger (Eds), *Toxic Dinoflagellate Blooms*. Elsevier/North Holland, New York, 385.

Okano, H., Masuoka, H., Kamei, S., Seko, T., Koyabu, S., Tsuneoka, K., Tamai, T. & ... Nakano, T. (1998). Rhabdomyolysis and myocardial damage induced by palytoxin, a toxin of blue humphead parrotfish. *Int Med.*, 37, 3, 330-333.

Orellana, G., Van Meulebroek, L., De Rijcke, M., Janssen, C.R. & Vanhaecke, L. (2017). High resolution mass spectrometry-based screening reveals lipophilic toxins in multiple trophic levels from the North Sea. *Harmful Algae*, 64, 30–41.

Özhan, E. & Alparslan, N. (2002). Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları 4. Ulusal Konferansı Bildiriler Kitabı. 1, 15-19.

Paredes-Mella, J., Mardones, J.I., Norambuena, L., Fuenzalida, G., Labra, G., Espinoza-Gonzalez, O. & Guzman, L. (2021). Toxic *Alexandrium catenella* expanding northward along the Chilean coast: new risk of paralytic shellfish poisoning off the Bío–Bío region (36° S). *Mar Pollut Bull.*, 172, 112783.

Pavaux, A., Berdalet, E. & Lemee, R. (2020). Chemical ecology of the benthic dinoflagellate genus *Ostreopsis*: Review of Progress and Future Directions. *Frontiers in Marine Science*, 7, 498.

Pavaux, A.S., Ternon, E., Dufour, L., Marro, S., Gemin, M.P., Thomas, O.P. & Lemee, R. (2020). Efficient, fast and inexpensive bioassay to monitor benthic microalgae toxicity: Application to *Ostreopsis* species. *Aquat. Toxicol.*, 223, 105485.

Percopo, I., Siano, R., Rossi, R., Soprano, V., Sarno, D. & Zingone, A. (2013). A new potentially toxic *Azadinium* species (Dinophyceae) from the Mediterranean Sea, *A. dexteroporum* sp. nov. *J. Phycol.*, 49, 5, 950–966.

Pfannkuchen, M., Godrijan, J., Maric Pfannkuchen, D., Ivesa, L., Kruzic, P., Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Dello Iacovo, E., Fattorusso, E., Forino, M., Tartaglione L. & Godrijan, M. (2012). Toxin-Producing *Ostreopsis* cf. *ovata* are Likely to Bloom Undetected along Coastal Areas. *Environ. Sci. Technol.*, 46, 5574–5582.

Pierce, R., Henry, M. & Blum, P. (2008). Brevetoxin abundance and composition during ECOHAB-Florida field monitoring cruises in the Gulf of Mexico. *Continental Shelf Res.*, 28, 1, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.04.012>.

Pigozzi, S., Bianchi, L., Boschetti, L., Cangini, M., Ceredi, A., Magnani, F., Milandri, A., Montanari, S., Pompei, M., Riccardi, E. & Rubini, S. (2006). First evidence of spirolide accumulation in northwestern Adriatic shellfish. In: 12th Int. Conf. Harmful Algae. 319–322.

Pigozzi, S., Bianchi, L., Boschetti, L., Cangini, M., Ceredi, A., Magnani, F., Milandri, A., Montanari, S., Pompei, M., Riccardi, E. & ...Rubini, S. (2008). First evidence of spirolide accumulation in northwestern Adriatic shellfish. In Proceedings of the 12th International Conference on Harmful Algae. 319–322.

Potasman, I., Paz, A. & Odeh, M. (2002). Infectious outbreaks associated with bivalve shellfish consumption: A worldwide perspective. *Clin Infect Dis.*, 35, 921-8.

Prakash, A., Medcof, J.C. & Tennant, A.D. (1971). Paralytic shellfish poisoning in eastern Canada. *Fish. Board Res. Can. Ott. Bull.*, 177, 1–87.

Pulido, O.M. (2008). Domoic acid toxicologic pathology: A review. *Mar. Drugs.*, 6, 180–219.

Rhodes, L. (2011). World-wide occurrence of the toxic dinoflagellate genus *oxyropsis* Schmidt. *Toxicon.*, 57, 3, 400-407.

Rhodes, L., Munday, R. & Briggs, L. (2008). *Ostreopsis siamensis* and palytoxin-related compounds in New Zealand: a risk to human health? In: Moestrup Ø, ed. Proceedings of the 12th International Conference on Harmful Algae., Copenhagen: ISSHA and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. 326-329.

https://www.researchgate.net/publication/283649641_Toxic_potential_of_palytoxin

Rhodes, L. & Smith, K. (2018). A checklist of the benthic and epiphytic marine dinoflagellates of New Zealand, including Rangitahua/Kermadec Islands. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 53, 1–20.

Rhodes, L., Smith, K., Selwood, A., McNabb, P., Munday, R., Suda, S., Molenaar, S. & Hallegraeff, G. (2011). Dinoflagellate *Vulcanodinium rugosum* identified as the causative organism of pinnatoxins in Australia, New Zealand and Japan. *Phycologia*, 50, 624–8.

Richardson K., (1997). Harmful or Exceptional Phytoplankton Blooms in the Marine Ecosystem. *Advances in Marine Biology*, 31, 301-385.

Riob, P., Paz, B. & Franco, J.M. (2006). Analysis of palytoxin-like in *Ostreopsis* cultures by liquid chromatography with precolumn derivatization and fluorescence detection. *Anal Chim Acta.*, 566, 2, 217-223.

Rodriguez, P., Alfonso, A., Vale, C., Alfonso, C., Vale, P., Tellez, A. & Botana, L.M. (2008). First Toxicity Report of Tetrodotoxin and 5,6,11-TrideoxyTTX in the Trumpet Shell *Charonia lampas lampas* in Europe. *Anal. Chem.*, 80,14. <https://doi.org/10.1021/ac800769e>

Rossi, R., Dell'Aversano, C., Krock, B., Ciminiello, P., Percopo, I., Tillmann, U., Soprano, V. & Zingone, A. (2017). Mediterranean *Azadinium dexteroporum* (Dinophyceae) produces

six novel azaspiracids and azaspiracid-35: a structural study by a multi-platform mass spectrometry approach. *Anal. Bioanal. Chem.*, 409, 4, 1121–1134.

Sala, S.E., Vouilloud, A.A., Popovich, C.A., Sanchez-Puerta, M.V., Almandoz, G.O. & ... Leonardi, P. (2021). Molecular, morphological, and toxinological characterizations of an Argentinean strain of *Halamphora coffeaeformis* with potential biotechnological applications. *Journal of Applied Phycology*, 33, 799-806. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02353-4>

Sammy, M.R. & Satyanarayana, R.K. (1984). Çift kabuklu yumuşakçalarda deniz toksinleri ve kabuklu deniz ürünleri sanitasyonunun genel değerlendirmesi hakkında el kitabı. CMFRI Özel Yayını. 16, 104.

Satake, M., Ofuji, K., Naoki, H., James, K.J., Furey, A., McMahon, T., Silke, J. & Yasumoto, T. (1998). Azaspiracis, a new marine toxin having unique spiro ring assemblies, isolated from Irish mussels. *J. Am. Chem. Soc.*, 120, 9967–9968.

Sato, S., Takaishi, S., Yasumoto, K. & Watabe, S. (2019). Novel Polyclonal Antibody Raised against Tetrodotoxin Using Its Haptenic Antigen Prepared from 4,9-anhydrotetrodotoxin Reacted with 1,2-Ethanedithiol and Further Reacted with Keyhole Limpet Hemocyanin. *Toxins*. 11, 551.

Scoging, A.C. (1991). Illness associated with seafood. *Communicable Disease Report*, 1, 11, 117–128.

Selwood, A.I., Miles, C.O., Wilkins, A.L., Van Ginkel, R., Munday, R., Rise, F. & McNabb, P. (2010). Isolation, structural

determination and acute toxicity of pinnatoxins E, F and G. *J. Agric. Food Chem.*, 58, 6532–6542.

Selwood, A.I., Wilkins, A.L., Munday, R., Gu, H., Smith, K.F., Rhodes, L.L. & Rise, F. (2014). Pinnatoxin H. A new pinnatoxin analogue from a South China Sea *Vulcanodinium rugosum* isolate. *Tetrahedron Lett.* 55, 5508–10.

Shimizu, Y., Gupta, S., Masuda, K., Maranda, L., Walker, C.K., & Wang, R. (1989). Dinoflagellates and other microalgal toxins: chemistry and biochemistry. *Pure Appl Chem.*, 61, 513–516.

Silva, E.S. (1985). In: D. Anderson et al. (Eds), *Toxic Dinoflagellates*. Elsevier, Amsterdam, 251.

Solino, L. & Costa, P.R. (2020). Global impact of ciguatoxins and ciguatera fish poisoning on fish, fisheries and consumers. *Environmental Research*, 182, 109111.

Stivala, C.E., Benoit, E., Araoz, R., Servent, D., Novikov, A., Molgo, J. & Zakarian, A. (2015). Synthesis and biology of cyclic imine toxins, an emerging class of potent, globally distributed marine toxins. *Nat Prod Rep.*, 32, 411–35.

Suresh, S.P., Gauri, S., Desai, S., Kavitha, M. & Padmavathy, P. (2014) Marine biotoxins and its detection. *Afr J Environ Sci Technol.*, 8, 6, 350–365.

Takahashi, K., Benico, G., Lum, W.M., Uchida, H., Ozawa, M., Oikawa, H., Suzuki, T., Nguyen, N.V., Ha, D.V. & Iwataki, M. (2021). Toxigenic strains of *Azadinium poporum* (*Amphidomataceae, dinophyceae*) from Japan and Vietnam, with

first reports of *A. poporum* (ribotype A) and *A. trinitatum* in Asian Pacific. *Phycol. Res.*, 69.

Tangen, K. (1983). Shellfish poisoning and the occurrence of potentially toxic dinoflagellates in Norwegian waters, *Sarsia*, 68, 1, 1-7.

Tebben, J., Zurhelle, C., Tubaro, A., Samdal, I.A., Krock, B., Kilcoyne, J., & ... Tillmann, U. (2023). Structure and toxicity of AZA-59, an azaspiracid shellfish poisoning toxin produced by *Azadinium poporum* (Dinophyceae). *Harmful Algae*, 124, 102388. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2023.102388>

Tichadou, L., Glaizal, M., Armengaud, A., Grossel, H., Lemee, R., Kantin, R. & ...Haro, L. (2010). Health impact of unicellular algae of the *Ostreopsis* genus blooms in the Mediterranean Sea: experience of the French Mediterranean coast surveillance network from 2006 to 2009. *Clin Toxicol.*, 48, 8, 839-844.

Todd, E.C.D. (1993). Domoic Acid and Amnesic Shellfish Poisoning - A Review. *Journal of Food Protection*, 56, 1, 69-83. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-56.1.69>

Trainer, V. L., Moore, S. K., Hallegraeff, G., Kudela, R. M., Clement, A., Mardones, J. I. & Cochlan, W. P. (2020). Pelagic harmful algal blooms and climate change: Lessons from nature's experiments with extremes. *Harmful Algae*, 91, 101591.

Trainer, V.L., Moore, L., Bill, B.D., Adams, N.G., Harrington, N., Borchert, J., da Silva, D.A. & Eberhart, B.T. (2013). Diarrhetic

shellfish toxins and other lipophilic toxins of human health concern in Washington State. *Mar. Drugs*, 11, 1815–1835.

Tubaro, A., Del Favero, G., Beltramo, D., Ardizzone, M., Forino, M. & ... Sosa, S. (2011). Acute oral toxicity in mice of a new oalytoxin analog: 42-hydroxy palytoxin. *Toxicon*, 57,5, 755-763.

Tubaro, A., Sosa, S. & Hungerford, J. (2012). Toxicology and diversity of marine toxins. In: Gupta RC, ed. *Veterinary Toxicology: Basic and Clinical Principles*. Amsterdam: Academic Press. 896-934.

Turner, A.D., Higgins, C., Davidson, K., Veszelszki, A., Payne, D., Hungerford, J. & Higman, W. (2015). Potential threats posed by new or emerging marine biotoxins in UK waters and examination of detection methodology used in their control: Brevetoxins. *Mar. Drugs*, 13, 1224–1254.

Turner, A.D., Powell, A., Schofield, A., Lees, D.N. & Baker-Austin, C. (2015). Detection of the pufferfish toxin tetrodotoxin in European bivalves, England, 2013 to 2014. *Eurosurveillance*, 20, 2, 21009. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2015.20.2.21009>.

Twiner, M.J., Bottein Dechraoui, M.Y., Wang, Z., Mikulski, C.M., Henry, M.S., Pierce, R. H. & Doucette, G.J. (2007). Extraction and analysis of lipophilic brevetoxins from the red tide dinoflagellate *Karenia brevis*. *Anal. Biochem*, 369, 1, 128–135.

Uemura, D. (2006). Bioorganic studies on marine natural products—Diverse chemical structures and bioactivities. *Chem. Rec.*, 6, 235–248.

Valdiglesias, V., Prego-Faraldo, M.V., Pasaro, E., Mendez, J. & Laffon, B. (2013). Okadaic acid: More than a diarrheic toxin. *Mar. Drugs*, 11, 4328–4349.

Van Wagoner, R.M., Misner, I., Tomas, C.R. & Wright, J.L.C. (2011). Occurrence of 12- methylgymnodimine in a spirolide-producing dinoflagellate *Alexandrium peruvianum* and the biogenetic implications. *Tetrahedron Lett.*, 52, 4243–4246.

Varriale, F., Tartaglione, L., Cinti, S., Milandri, A., Dall’Ara, S., Calfapietra, A. & Dell’Aversano, C. (2021). Development of a data dependent acquisition-based approach for the identification on unknown fast-acting toxins and their ester metabolites. *Talanta*, 224, 121842.

Velayudhan, A., Nayak, J., Murhekar, M.V., Dikid, T. & Sodha, S.V. (2021). Shellfish poisoning outbreaks in Cuddalore District, Tamil Nadu, India. *Indian J Public Health*, 65, 29-33.

Vilarino, N., Louzao, M.C., Abal, P., Cagide, E., Carrera, C., Vieytes, M.R. & Botana, L.M. (2018). Human Poisoning from Marine Toxins: Unknowns for Optimal Consumer Protection. *Toxins*, 10,8, 324. <https://doi.org/10.3390/toxins10080324>

Villar Gonzalez, A., Rodriguez-Velasco, M.L., Ben-Gigirey, B. & Botana, L.M. (2006). First evidence of spirolides in Spanish shellfish. *Toxicon.*, 48, 1068–1074.

Viviani, R. (1992). Eutrophication, marine biotoxins, human health. *Proceedings of an International Conference*. 631-662. DOI: [10.1016/b978-0-444-89990-3.50056-0](https://doi.org/10.1016/b978-0-444-89990-3.50056-0)

Vlami, A., Katikou, P., Rodriguez, I., Rey, V., Alfonso, A., Papazachariou, A., Zacharaki, T., Botana, A.M. & Botana, L.M. (2015). First Detection of Tetrodotoxin in Greek Shellfish by UPLC-MS/MS Potentially Linked to the Presence of the Dinoflagellate *Prorocentrum minimum*. *Toxins*, 7, 1779-1807. <https://doi.org/10.3390/toxins7051779>

Wang, S., Yang, S., Chen, H. & Lin, Q. (2024). The Role of Ferrate (VI) in the Pretreatment of Algal Cells and Algal Organic Matters: A Review. *Water*, 16, 1361.

Watkins, S.M., Reich, A., Fleming, L.E. & Hammond, R. (2008). Neurotoxic Shellfish Poisoning. *Marine Drugs*, 6, 431-455.

Watkins, S.M., Reich, A., South, R., Terzagian, R., Hammond, R., Blackmore, C & ... Landsberg, J. (2007). Features of Neurotoxic Shellfish Poisoning from Recreationally Harvested Clams in Florida 2006: Epidemiologic and clinical factors (manuscript in progress).

Wieringa, A., Bertholee, D., Ter Horst, P., van den Brand, I., Haringman, J. & Ciminiello, P. (2014). Respiratory impairment in four patients associated with exposure to palytoxin containing coral. *Clin. Toxicol.*, 52, 150–151.

Williams, B.L., Hanifin, C.T., Brodie Jr, E.D. & Brodie III, E.D. (2010). Tetrodotoxin affects survival probability of rough-skinned newts (*Taricha granulosa*) faced with TTX-resistant garter snake predators (*Thamnophis sirtalis*). *Chemoecology*, 20, 285-290.

Wurtsbaugh, W.A., Paerl, H.W. & Dodds, W.K. (2019). *Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the*

freshwater to marine continuum. Wires Water, 6, e1373.
<https://doi.org/10.1002/wat2.1373>

Yasumoto, T. (2000). 'Historic Considerations Regarding Seafood Safety'. *Seafood and Freshwater Toxins*. ed. Luis M. Botana. 1-17. Spain: Mercel Dekker.
<http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/5210/1/252.pdf>

Yasumoto, T., Nakajima, I., Bagnis, R. & Adachi, R. (1997). Finding of a Dinoflagellate as a Likely Culprit of Ciguatera. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 43, 1021–1026.

Zingone, A., Escalera, L., Aligizaki, K., Fernández-Tejedor, M., Ismael, A., Montresor, M., Mozetič, P., Taş, S. & Totti, C. (2021). Toxic marine microalgae and noxious blooms in the Mediterranean Sea: a contribution to the global HAB status report. *Harmful Algae*, 102, 101843.

BÖLÜM II

Su Ürünlerinde Akıllı Paket Sistemleri

Bayram KÖSTEKLİ¹
Mehmet Emin ERDEM²

Giriş

Gıda ürünleri, kendilerine özgü fiziksel, kimyasal ve fiziko-kimyasal çevre gereksinimlerini karşılamak üzere özel olarak tasarlanmış ambalajlar gerektiren karmaşık sistemlerdir. Gıda paketlenme sistemleri, gıda ürününün tazeliğini ve yapısal bütünlüğünü koruyarak gıdayı uzun süreli depolama için muhafaza edebilmeye olanak sağlamasının yanında ürünün taşınması ve raf ömrü hakkında bilgi verme gibi amaçlara sahiptir (Kocatepe, 2010; Thirupathi Vasuki, Kadirvel & Pejavara Narayana, 2023). Gıda ambalajı, tüketici açısından ürünün en önemli unsurlarından birisidir ve modern ticarete de çok önemlidir. Ürünün başarılı bir şekilde

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Sinop Üniversitesi, bkostekli@sinop.edu.tr

² Prof. Dr., Sinop Üniversitesi, merdem@sinop.edu.tr

korunmasını sağlamak için paketleme sistemlerinin kolaylık, koruma, muhafaza ve iletişim gibi önemli faktörlere uyması gerekmektedir (Alizadeh-Sani & ark., 2020).

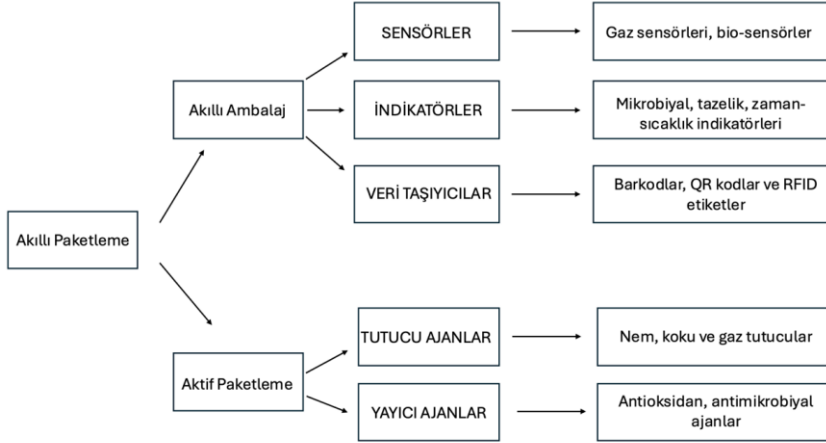
Gıda tedariki, işlemenin karmaşıklığı, tüketici ihtiyaçları ve davranışlarındaki değişiklikler, yeni yasa ve yönetmeliklerin uygulanması ile güvenlikle ilgili konular nedeniyle bazı önemli zorluklarla karşılaşan karmaşık ve dinamik bir zincirdir. Bu zorlukları yönetmek için bir yaklaşım, özellikle gıda paketlemede akıllı bir gıda tedarik zinciri geliştirmektir (Tirtashi & ark., 2019). Ambalaj teknolojisinde ilerlemelerle birlikte, farklı özelliklere ve yapılaraya sahip çeşitli ambalaj materyalleri geliştirilmektedir. Gıda endüstrisinde cam, kâğıt, karton, mukavva, alüminyum gibi geleneksel malzemelerin yanı sıra çeşitli plastik türleri de yaygın olarak ambalaj materyali olarak kullanılmaktadır. Bu materyallerin her biri, sahip oldukları fizikokimyasal özelliklere bağlı olarak belirli düzeylerde gıda ile etkileşime girerek kimyasal madde geçişine (migrasyon) yol açabilmektedir. (Kosikowski, 1970). Gıda paketleme sistemlerindeki son gelişmeler, genellikle “akıllı paketleme teknolojisi” olarak adlandırılan ve gıda ürününün içinde meydana gelen değişiklikleri hassas bir şekilde izleyen mekanizmaları içeren yenilikçi paketleme yöntemlerinin önünü açmıştır (Thirupathi Vasuki, Kadirvel & Pejavara Narayana, 2023). Nüfus artışı ve yoğun yaşam tarzları nedeniyle taze ve güvenli gıda ürünlerine yönelik artan talep, gıda tedarikçilerini bu gereksinimi karşılamaya zorlamıştır (Almasi, Forghani & Moradi, 2022). Son yıllarda, bilim insanlarının motivasyonları, tüketicinin ortaya çıkan çeşitli beklenti ve tercihlerine bir yanıt olarak, geleneksel ambalajlamadan, aktif ve akıllı ambalajlama gibi gelişmiş

işlevselliğe sahip yenilikçi gıda ambalajlamasına kaymıştır; bunlar çoğunlukla daha az koruyucu madde ile işlenmiş gıda ürünlerinin geliştirilmesi ve ayrıca nakliye sırasında gıda ürününün saklama koşullarını ve olası bozulmayı izlemek için göstergeler sunmakla ilgili olmuştur (Abedi-Firoozjah & ark., 2023a).

Et ürünlerinin yüksek bozulabilirliği, özellikle ekonomik ve teknik açıdan temel bir pazarlama sorunudur. Bu nedenle, güvenli ve yüksek kaliteli paketlenmiş gıdalar sunmak için aktif ve akıllı paketlenme gibi çeşitli paketlenme yöntemleri kullanılmaktadır. Şu anda, akıllı paketlenme sensörleri/göstergeleri en son teknolojinin ön saflarında yer almakta ve et ve deniz ürünlerinin güvenliğini ve kalitesini gösterebilmektedir (Mohammadalinejad, Almasi & Moradi, 2020; Soltani Firouz, Mohi-Alden & Omid, 2021).

Modern paketlenme sistemlerinden olan Akıllı paketlenme sistemi Şekil 1'de gösterildiği gibi iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Akıllı paketlenme, gıdanın tüketiciye ulaşmadan önce güvenliğini sağlamak amacıyla çeşitli teknikler kullanılarak (polimerik akıllı paketlenme ağına nem, sıcaklık veya tazelik göstergesi olarak hareket eden bileşenlerin dahil edilmesi) ürünün dağıtım zincirinde ve saklama koşullarındaki geçirdiği değişiklikleri ve dolayısıyla olası bozulma ve potansiyel sorunları tespit edip veri sağlayarak tüketicileri uyaran geleneksel ambalaja sensörler gibi modernize edilmiş elektronik algılama cihazlarının entegre edilmesidir. Aktif paketlenme ise gıdanın raf ömrü boyunca stabilitesini ve kalitesini artırmak, oksidasyon reaksiyonlarını önlemek ve mikrobiyal büyümeyi baskılayarak paketin gıda kalitesini korumasını sağlamak amacıyla geleneksel ambalaj malzemelerine antioksidanlar gibi aktif bileşimlerin veya özel katkı

maddelerinin (örneğin, esansiyel yağlar veya doğal özler) dahil edilmesiyle geliştirilmiştir (Drago & ark., 2020; Khezerlou & ark., 2021; Tavassoli & ark., 2022).



Şekil 1. Akıllı paketleme sistemleri

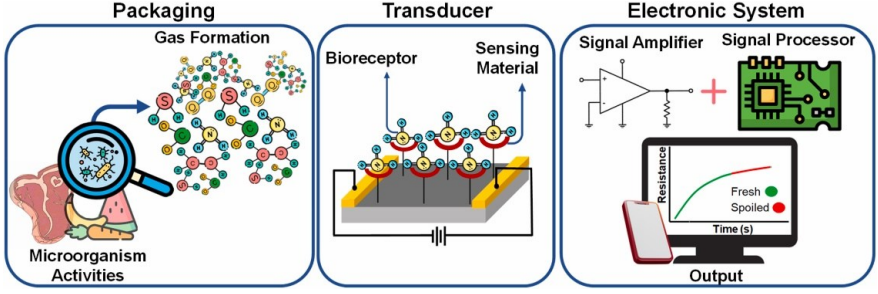
Akıllı ambalaj sistemlerinde kullanılan sensörler

Gıda paket sistemlerinde kullanılan sensörler, gıdaların tazelik düzeyi, mikrobiyal bozulma, yağların acılaşması ve sıcaklık dalgalanmalarından kaynaklanan kalite değişimleri hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayan izleme cihazlarıdır. (Kerry & Papkovsky, 2002). Bu sensörler, genellikle iki ana bileşenden oluşur: reseptörler ve çevirgeçler (transducer). Sensörlerin doğru ölçüm yapabilmeleri için kaynaktan kesintisiz sinyal alması zorunludur. Reseptörler, kaynaktan aldıkları fiziksel ve kimyasal verileri, çevirgeçlerin ölçüm yapabilmesi için uygun enerji biçimlerine dönüştürürler. Sensörler, elektriksel, optik, termal ve kimyasal sinyalleri algılayabilen farklı sistemlerle donatılmıştır. (Kress-Rogers, 2001). Akıllı ambalaj

sistemlerinde kullanılan sensörler; gaz sensörleri ve biyosensörler olmak üzere 2 kısma ayrılmaktadır.

Gaz sensörleri

Gıda paketleme sistemlerinde kullanılan gaz sensörleri, özellikle modifiye atmosfer paketleme uygulamalarında tercih edilen, paket içeriğinde veya depolama ortamında bulunan gazların türünü, miktarını ve dağılımını belirleyen izleme cihazlarıdır. Bu sensörler, ambalaj bütünlüğünü değerlendirme ve olası sızıntıları tespit etme işlevi görür. Kimyasal ve enzimatik reaksiyonlara tepki olarak renk değiştirebilme özellikleri sayesinde görsel bir uyarı mekanizması sunarlar. Gaz sensörleri, tablet, etiket ve baskılı yüzey formatlarında üretilebildiği gibi, polimer film kaplamalar şeklinde de tasarlanabilmektedir. (Karagöz & Demirdöven 2017). Sensörlerin etkili bir şekilde ölçüm gerçekleştirebilmesi, kaynaktan sürekli olarak sinyal alma gerekliliğine dayanır. Temel olarak, sensörler: reseptör ve dönüştürücü adlı iki ana bileşenden oluşmaktadır. Reseptörler, kaynaktan gelen fiziksel ve kimyasal verileri, dönüştürücüde kullanılabilir enerji biçimine dönüştürme işlevini üstlenir. Sensörler, elektriksel, optik, termal ve kimyasal sinyalleri algılayarak çeşitli çevresel parametreleri izleme kapasitesine sahiptir. Bu yapı ve işlevsellik, sensörlerin farklı uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (Şekil 2) (Erdem & ark., 2022; Çelik & Tümer, 2016).

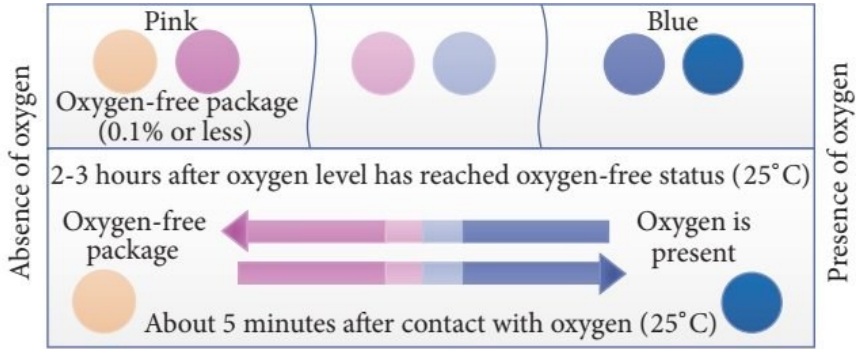


Şekil 2. Gaz sensörü çalışma mekanizması (Nami & ark., 2024)

Sensör teknolojisi, amperometrik oksijen sensörleri, potansiyometrik karbondioksit sensörleri ve genel oksijen sensörleri gibi çeşitli algılama sistemlerini içermektedir. Gıda kalitesini izlemek amacıyla en yaygın olarak oksijen ve karbondioksit sensörleri kullanılmaktadır. Geleneksel elektrokimyasal oksijen sensörlerinin sınırlı performansı nedeniyle, optik tabanlı oksijen sensörlerine olan ilgi artmıştır. Optokimyasal sensörler, gıdalarda mikrobiyal kontaminasyon veya kimyasal bozunma süreçleri sonucunda ortaya çıkan hidrojen sülfür, karbondioksit ve amin bileşiklerini tespit ederek ürün kalitesine ilişkin kritik veriler sunmaktadır. Bu sensörler; pH değişimlerine duyarlı floresan tabanlı sistemler, renk değişimiyle çalışan sensörler ve fluorometrik tabanlı algılama cihazları olarak kategorize edilmektedir. Özellikle floresan tabanlı gaz sensörleri, paketlenmiş gıdaların ambalaj içindeki gaz kompozisyonunu uzaktan izlemeye olanak tanıyan etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu yenilikçi algılama sistemleri, gıda güvenliği ve kalitesinin korunmasında kilit bir rol oynamaktadır. (Erdem & ark., 2022; Gök, 2007).

Ticarileşmiş oksijen göstergelerine örnek olarak Ageless-Eye® markalı etiketler verilebilir (Şekil 3). Bu etiketler, ambalaj

içindeki oksijen seviyesinin %0,1'in altına düşmesi durumunda pembe renge, %0,5'in üzerine çıkması halinde ise mavi renge dönüşerek oksijen varlığını görsel olarak belirtir. Benzer şekilde, Vitalon, Samso-Checker ve OxySense Inc. gibi markalar da oksijen izleme sistemleri kapsamında ticari olarak geliştirilen diğer ürünlerdir. (Öksüztepe & Beyazgül, 2015).



Şekil 3. Gaz indikatörü (Ageless-eye) (Sari, Warsiki & Kartika, 2021)

Biyosensörler

Ambalajlı gıdalarda meydana gelen biyolojik reaksiyonları izleyen, kaydeden ve ileten cihazlar biyosensörler olarak tanımlanmaktadır. Biyosensör, bir biyolojik bileşen (hücre, enzim, antijen, hormon, nükleik asit veya antikör gibi) ile bir dönüştürücünün birleşiminden oluşan bir cihazdır ve hedef parametreyi algılamakla görevlidir. Bu sensörler, ölçmek ve tanımlamak istenen maddelere ilişkin hücresel ve moleküler değişiklikleri tespit etme yeteneğine sahiptir. Düşük konsantrasyonlardaki maddeleri bile etkili bir şekilde algılayabilirler. Test edilen materyal, biyolojik bileşen ile etkileşime

girdiğinde, dönüştürücü, bu materyalin miktarına orantılı bir sinyal üretmektedir. Örneğin, bir gıda örneğinde bakteri konsantrasyonu yüksekse, biyosensör, gıdanın güvenli olmadığına işaret eden güçlü bir sinyal yaymaktadır (Demirbilek, 2015).

Gıda ürünlerine depolama, nakliye ya da başka bir süreçte sonradan kontamine olan *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Listeria* spp. ve *Campylobacter* spp. gibi patojen mikroorganizmaların tespiti için patojen indikatörleri sıklıkla kullanılmaktadır. Toxin Alert Inc. tarafından üretilen Toxin Guard® ticari etiketi, bu tür indikatörlere örnek olarak gösterilebilir. Bu etiketler, polietilen bazlı ambalaj materyallerinden yapılmaktadır ve ambalajın içinde yer alan immobilize antikorlar sayesinde, ürünün kontamine olması durumunda antikorlar patojenlerle reaksiyona girer. Reaksiyon sonucunda, gıda paketinin dış yüzeyinde ürünü alacak tüketiciler için görülebilen bir uyarı işareti belirir (Şekil 4). Bu sistemde, barkodun bir kısmı olarak antikorlar membran formunda yerleştirilir. Eğer ortamda kontamine olmuş bakteri varsa, immüno kimyasal reaksiyonlar meydana gelir ve reaksiyon sonucunda barkod rengi koyu bir hale geçerek okunamaz hale gelir. Bu değişiklik, tüketiciler tarafından gözlemlenebilir ve ürünü tüketmenin tehlikeli olduğu anlaşılacağından satışa sunulmaz (Yam, Takhistov & Miltz, 2005; Kerry, Hogan & O'Grady, 2006).



Şekil 4. Biyosensör etiket (Samsudin & Hani, 2017)

Gıdalardaki bozulmalar sonucunda oluşan biyojenik aminlerin tespiti için çeşitli enzimatik biyosensörler tasarlanmıştır. Örneğin, amperometrik hidrojen peroksit elektrotlarıyla entegre edilen putresin oksidaz reaktörleri, kanatlı etlerdeki diaminleri (putresin, kadaverin ve spermidin) algılamak için kullanılmaktadır. Ayrıca, balık kaslarındaki biyojenik aminleri, özellikle de gökkuşağı alabalığında histamin varlığını tespit edebilmek amacıyla amperometrik bir enzim elektrodu geliştirilmiştir. Tiramin oksidaz bazlı biyosensörler ise belirli et ürünlerinin kalite kontrolünde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. (Smolander, 2003; Han, Ho & Rodrigues, 2005; Gök, 2007).

Akıllı ambalaj sistemlerinde kullanılan indikatörler

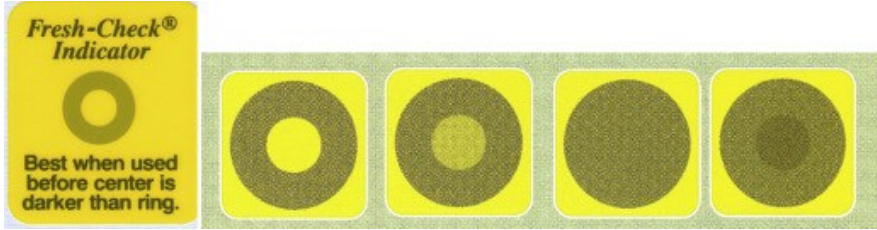
Zaman-sıcaklık indikatörleri (time-temperature indicator (TTI))

Gıda ambalaj etiketlerinde yer alan “tavsiye edilen tüketim tarihi (TETT)” gibi etiket ifadeleri, sadece bilgi vermesi için konumlandırılmıştır ve ürünlerin lojistik ve depolama süreçlerinde karşılaşılabileceği sıcaklık değişimlerini dikkate almamaktadır. Sıcaklık, bu süreçlerde gıdaların raf ömrü, kalitesi ve güvenliği üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, sıcaklık koşullarının izlenmesi ve kayıt altına alınması, gıda güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır (Yüceer & Caner, 2023). Sıcaklık değişiklikleri, bozulmaya yol açan reaksiyonları hızlandırabilir ve mikroorganizma üremesini teşvik edebilir. Ancak, sıcaklık geçmişinin izlenmesi ve kontrolündeki zorluklar, gıdaların raf ömrünü doğru bir şekilde öngörmeyi güçleştirmektedir (Pereira de Abreu & ark., 2012; Janjarasskul & Suppakul, 2018). Soğuk zincirin kesintiye uğrayıp uğramadığını belirlemek için nakliye, dağıtım ve depolama süreçlerinde ortam sıcaklığının izlenmesi önemlidir. Bununla birlikte, sıcaklık geçmişini eksiksiz bir şekilde tespit etmenin zorlukları, raf ömrü tahminini daha karmaşık hale getirmektedir (Brizio & Prentice, 2015). Zaman-sıcaklık göstergeleri, gıda güvenliği ve kalitesinin korunmasına yardımcı olan, dağıtım ve depolama sürecindeki soğuk zincir boyunca sıcaklık geçmişinin görsel olarak sunulmasını sağlayan yenilikçi bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Genel anlamda, zaman-sıcaklık indikatörleri, gıdanın tüm dağıtım zinciri boyunca yaşadığı sıcaklık değişimlerini geri dönüşümsüz reaksiyonlarla görsel olarak gösteren küçük ölçüm cihazlarıdır. Bu göstergeler, depolama, dağıtım ve tüketim

aşamalarında gıdanın kalan raf ömrünü izlemek için kullanılmaktadır. (Shimoni, Anderson & Labuza, 2001; Wang & ark., 2015).

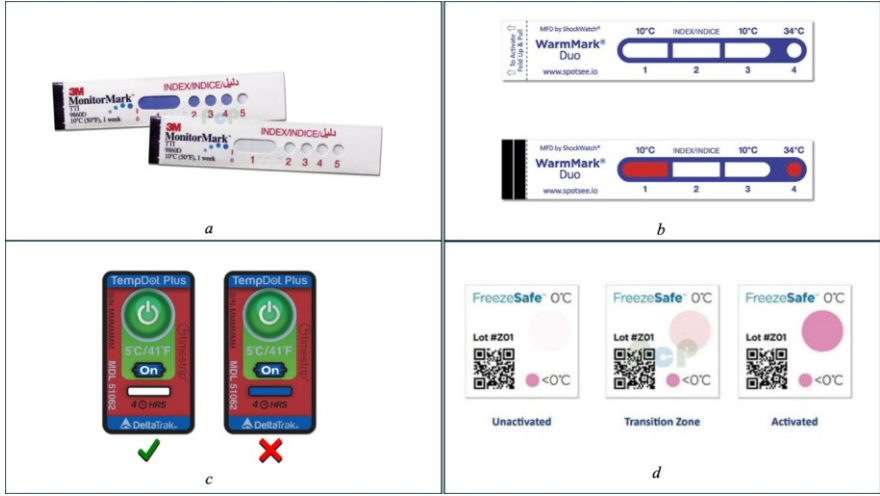
Zaman-sıcaklık göstergeleri (TTI), özellikle taze balık, tavuk, et ve süt ürünleri gibi bozulmaya duyarlı gıdalar ile dondurulmuş meyve, sebze ve et gibi denatürasyona eğilimli gıdalar için yaygın olarak kullanılmaktadır (Fu, Taoukis & Labuza, 1991; Giannakourou & Taoukis, 2002; Vainionpää ve ark., 2004). Uygun ürün tipine göre seçildiklerinde, bu göstergeler aynı zamanda bir "tazelik indikatörü" olarak da işlev görebilmektedir (Riva, Piergiovanni & Schiraldi, 2001; Yam, Takhistov & Miltz, 2005). Sıcaklık geçmişinin izlenmesi, ürünlerin raf ömrünü daha doğru bir şekilde tahmin etmeye olanak tanırken, bazı durumlarda son kullanma tarihi yerine geçebilmektedir (Bobelyn, Hertog & Nicolaï, 2006). Zaman-sıcaklık göstergeleri, diğer izleme sistemlerine kıyasla düşük maliyetli olmaları ve ambalaj üzerine kolayca entegre edilebilmeleri gibi önemli avantajlara sahiptir. Ayrıca, bu göstergeler, stok yönetiminde geleneksel "ilk giren ilk çıkar" (FIFO) stratejisinin ötesinde, "en kısa raf ömrüne sahip ürünlerin önce tüketilmesi" gibi yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır (Riva, Piergiovanni & Schiraldi, 2001). TTI'lar, dağıtım sürecindeki sıcaklık değişimlerini mekaniksel, kimyasal, elektrokimyasal, enzimatik veya mikrobiyal reaksiyonlarla ilişkilendirilen renk değişimleriyle görsel olarak ifade etmektedir (Riva, Piergiovanni & Schiraldi, 2001). Bu göstergeler, bireysel ambalajlarda yer alabileceği gibi, bir parti üzerinde tek bir örnek olarak da kullanılabilir (Purma & Serdaroğlu, 2006). Zaman-sıcaklık göstergeleri, çalışma prensiplerine göre polimer bazlı, difüzyon bazlı

ve enzimatik bazlı olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Şekil 5'te yer alan örnekte, ürüne entegre edilen zaman-sıcaklık indikatörü, ilk referans halkasında sıcaklık değişimiyle zamanla koyulaşarak, son halkada görsel bir uyarı ile tüketiciye ürünün tazeliğini kaybettiğini göstermektedir.



Şekil 5. Polimer bazlı zaman-sıcaklık indikatörü (Taoukis & Tsironi, 2016)

Şekil 6’da görülen zaman-sıcaklık indikatörleri farklı erime noktalarına sahip olan kimyasalların, kurutma kağıdından oluşan fitil üzerinde difüzyon prensibiyle çalışmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak renk değişimi gösteren bu etiket, sıcaklık sapmalarını tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. İndikatör olarak kullanılan ester bazlı boyaların türü ve konsantrasyonu optimize edilerek, farklı sıcaklık ve süre aralıklarına duyarlı, çeşitli gıda ürünlerine özel etiketler geliştirilebilmektedir. Bu etiketler, özellikle 10°C ve altındaki sıcaklıklarda saklanması gereken gıdaların sıcaklık takibini sağlamak için etkili bir çözüm sunmaktadır. (Gök, 2007).



Şekil 6. Difüzyon bazlı zaman-sıcaklık indikatörleri (**a:** Biegańska & ark, 2014, **b:** Pirsá, Sani & Mirtalebi, 2022, **c:** Thirupathi Vasuki, Kadirvel & Pejavara Narayana, 2023, **d:** Spotsee, 2023)

Şekil 7'deki zaman-sıcaklık indikatörü, iki küçük kesecikten oluşmaktadır. Bu keseciklerden birinde, sıvı bir süspansiyon içinde lipaz substratı ve pH göstergesi bulunan bir boya, diğerinde ise lipaz enzimi yer almaktadır. Sıcaklık arttıkça, içsel bir basınç oluşur ve aktifleşen enzim, bariyeri aşarak lipit bileşenleriyle etkileşime girer. Bu etkileşim sonucu, lipit bileşenleri hidrolize olur ve kaproik asit gibi asidik bileşikler meydana gelir. Bu bileşikler pH düşüşüne neden olarak, pH göstergesinin rengini yeşilden parlak sarıya dönüştürür. Ürüne özel sıcaklık gereksinimlerine göre, enzim ve lipit bileşenlerinin konsantrasyonları optimize edilir.



Şekil 7. Enzimatik bazlı zaman sıcaklık indikatörü (Dodero & ark., 2021)

Tazelik indikatörleri

Gıda kalite sensörü olarak da adlandırılan tazelik indikatörleri, gıda ürünün tazeliği, depolama esnasındaki güvenliği ve yapısında değişikliklere sebep olan biyokimyasal süreçlerin veya mikrobiyal büyümenin sonuçlarını doğrudan izlemektedir. Sıcaklığın kontrol altında olduğu lojistik ve tedarik zincirindeki kesintiler veya ambalaj bütünlüğünde fark edilmeyen bozulmalar durumunda, şüpheli olabilecek gıda ürünlerinin gerçek durumunun izlenmesine olanak sağlar. Tazelik göstergeleri, belirtilen son kullanma tarihine rağmen tüketiciyi gıda bozulması konusunda uyarabilir (Yüceer & Caner, 2023). Mikrobiyal bozulma sırasında oluşan enzimler, toksinler, uçucu azot bileşikler, glikoz, etanol, organik asitler, kükürtlü bileşikler ve karbondioksit gibi metabolitlerin etkisiyle paket içindeki indikatörün renk değiştirmesine dayalı olarak çalışmaktadır. İndikatörler, su ürünleri gibi hızlı bozulabilen gıdalarda, ürünlerin depolama sırasında meydana gelen koşul ihlalleri veya mikrobiyal bozulmalar sonucu oluşan metabolitlerin (örneğin, CO₂, SO₂, NH₃, H₂S, aminler, organik asitler, etanol, toksinler veya enzimler) ve değişen gaz konsantrasyonlarının izlenmesine dayalı olarak

çalışmaktadır (Takma & Nadeem, 2019). Bu bozulma bileşenleriyle etkileşime girebilmesi için tazelik göstergelerinin ambalaj içine yerleştirilmesi gerekmektedir. Gösterge sistemine bağlı olarak, bu veriler çeşitli yöntemlerle algılanabilir. (Lee, Park & Ha, 2019; Muller & Schmid, 2019).

Bu sistemler, modifiye atmosfer paketlenme (MAP) uygulanan ürünlerde yaygın şekilde kullanılmakla beraber çalışma prensiplerine göre:

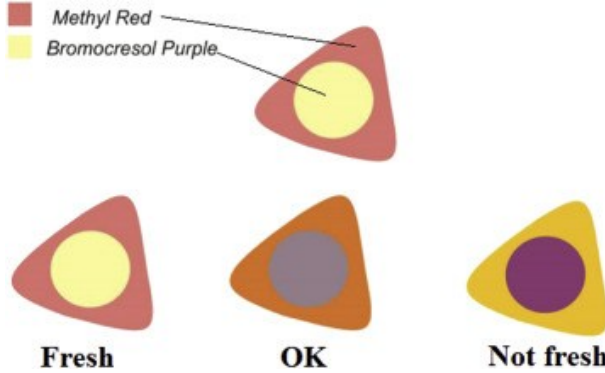
- pH değişikliklerine duyarlı indikatörler,
- uçucu azot bileşiklere duyarlı indikatörler,
- hidrojen sülfüre (H_2S) duyarlı indikatörler,
- mikrobiyal metabolitlere duyarlı indikatörler

olmak üzere 4 temel gruba ayrılmaktadır (Öksüztepe & Beyazgül, 2015; Erdem & ark., 2022).

pH değişimine duyarlı tazelik indikatörleri

pH tazelik Bromokresol moru, bromotimol mavisi, kresol kırmızısı, ksilenol mavisi, metil kırmızısı, alizarin, fenol kırmızısı ve bromokresol yeşili gibi çeşitli kimyasal boyalar ile doğal bitki kökenli boyalar kullanılarak hazırlanan indikatörlerdir (Almasi, Forghani & Moradi, 2022) (Şekil 8). Gıdanın depolanması sürecinde paket tepe boşluğunda biriken uçucu aminler veya sülfidler gibi bileşiklerin etkisiyle ortamın pH değeri değişmektedir. Bu pH değişiklikleri, paket içerisinde yer alan tazelik indikatörlerinin renk değişimi göstermesiyle tespit edilebilmektedir. Örneğin, asidik ortamda kırmızı, bazik ortamda ise sarı renk gözlemlenerek pH değişimi hakkında tüketiciye görsel bilgi sağlamaktadır. Bu tür

etiketler, özellikle et ve deniz ürünlerinde kullanılan “It’s Fresh” gibi akıllı etiket uygulamalar ile gıda tazeliğinin izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Kerry, O’Grady & Hogan, 2006; Robertson, 2005; Turhan, 2009).

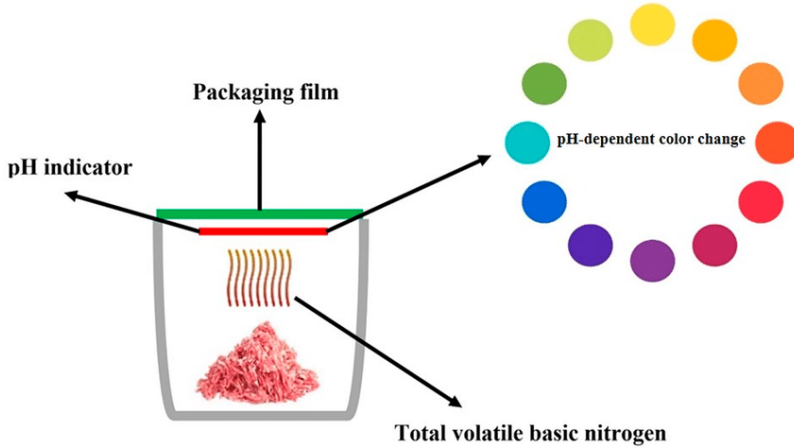


Şekil 8. pH değişimine duyarlı tazelik indikatörü (Kuswandi & Nurfawaidi, 2017).

Uçucu azot bileşiklerine duyarlı tazelik indikatörleri

Bu indikatörler deniz ürünleri, tavuk ve diğer et grubu ürün paketlerinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Uçucu azot bileşiklerine duyarlı etiketler, plastik yapıda olup çip taşıyan ve reaktif bir madde içeren fitilden oluşur. Fitol, ambalajın içine entegre edilerek, çengel şeklindeki ucu ambalajın içerisine yerleştirilir. Böylece, ambalajın üst kısmında biriken uçucu azot bileşenleri fitilden geçer ve fitil boyunca renk değişimi meydana gelir. (Şekil 9). Genellikle, renk değişimi açık pembe renge dönüşür ve bu durum ürünün bozulduğuna dair bir uyarı olarak tüketicilere iletilir. Özellikle balıkların bozulması sırasında oluşan uçucu azot bileşenleri, fitildeki asidokromik boya ile reaksiyona girerek renk

değişimine neden olur ve bu değişiklik, ürünün tazelik durumu hakkında bilgi verir (Smolander, 2003; Üçüncü, 2011).



Şekil 9. Uçucu azot bileşiklerine duyarlı tazelik indikatörü (Priyadarshi, Ezati, & Rhim, 2021)

Hidrojen sülfüre (H₂S) duyarlı tazelik indikatörleri

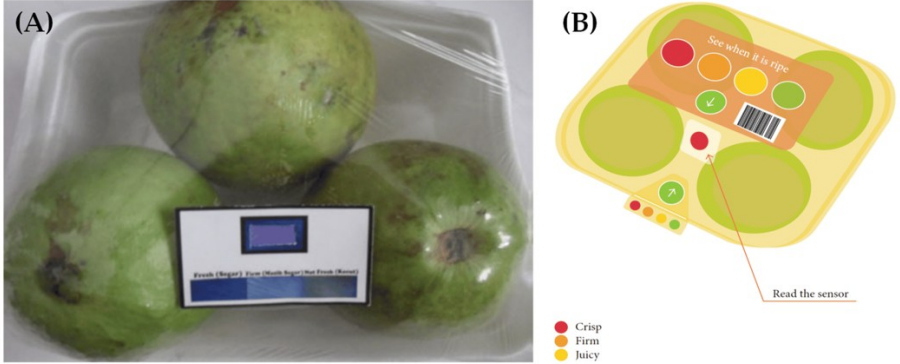
Modifiye atmosfer paketlenme (MAP) yöntemiyle paketlenen kanatlı gıda ürünleri kalite kontrolünde sıklıkla kullanımına başvurulmuş bir indikatör etikettir. Bu indikatörler, hidrojen sülfür ile miyogloblin arasında gerçekleşen reaksiyonlardan faydalanılarak hazırlanır. Ticari miyoglobin, sodyum fosfat çözeltisinde çözülür ve bu çözeltinin Agarose üzerine immobilize edilmesi sağlanır. Agarose üzerine yerleştirilen çözelti, renk değişimini izlemek için kullanılır ve bu değişim, ürünün tazeliği hakkında bilgi verir (Şekil 10) (Özçandır & Yetim, 2010; Üçüncü, 2011).



Şekil 10. Hidrojen sülfüre (H_2S) duyarlı tazelik indikatörü (Chemteq, 2024)

Mikrobiyal metabolitlere duyarlı tazelik indikatörleri

Bu tür tazelik göstergeleri, iki farklı bileşiğe duyarlıdır. İlk bileşik etanol, diğeri ise mikrobiyal metabolitlerden biri olan diasetildir. Etanole duyarlı göstergeler, ambalajın üst kısmında biriken etanol miktarını, alkoloksidaz, peroksidaz enzimleri ve bir kromojenik substrat kullanarak algılamaya dayanır. Diasetile duyarlı göstergeler ise, diasetil içeren boya sistemleri olup, diasetil varlığında renk değiştirir. Bu göstergeler, gaz geçirebilen ambalajların yüzeyine yerleştirilir ve ambalaj içindeki diasetil, göstergede renk değişikliğine yol açarak, bu değişim tüketiciler tarafından gözlemlenebilir. Tazelik göstergelerine örnek olarak, Ripe Sense® markalı etiketler verilebilir. Şekil 11’de gösterildiği gibi, bu tür göstergeler, farklı olgunluk seviyelerinde tüketicilerin tercih ettiği armutlar üzerinde test edilmiştir. Şekil 11(b)’deki armut örneğinde, kırmızı renk, ürünün sert olduğunu, sarı renk ise ürünün daha olgun ve sulu olduğunu belirtmektedir (Robertson, 2005; Özçandır & Yetim, 2010).



Şekil 11. Mikrobiyal metabolitlere duyarlı indikatör (Alam & ark., 2021)

Akıllı ambalaj sistemlerinde kullanılan veri taşıyıcılar

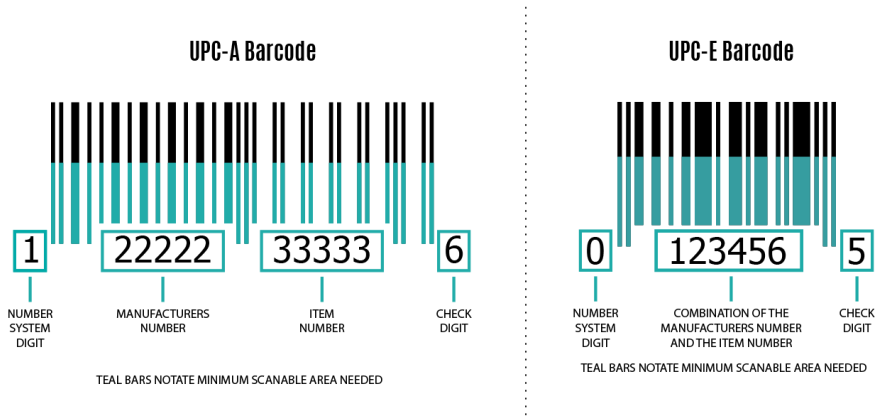
Gıda ürünlerinin tedarik zincirindeki transfer ve dağıtım süreçlerinde izlenmesi, bilgilerin kaydedilmesi ve gerektiğinde bu verilere erişim sağlanması amacıyla kullanılan teknolojiler, gıda izlenebilirliği olarak tanımlanabilir. Gıda endüstrisinin küreselleşmesiyle birlikte, izlenebilirlik önem kazanmış ve bu alanda güvenilir tanımlama ve izleme sistemlerine duyulan ihtiyaç artmıştır. Bu tür sistemler, tüketiciye ulaşan gıdaların güvenliğini ve kalitesini temin etmenin yanı sıra, tedarik zinciri verimliliği, ürün emniyeti ve tüketici güveni ile geniş pazar erişimi gibi pek çok avantaj sunmaktadır. Gıda izlenebilirliği, özellikle tedarik zincirinde olası aksaklıklar meydana geldiğinde, hızlı ve etkili düzeltici önlemlerin alınmasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, Barkod ve RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama) sistemleri gibi teknolojiler önemli bir rol oynamaktadır (Anaza & ark., 2016).

Barkodlar

Barkodlar, ürün ve malzeme tanımlama amacıyla birbirinden ayrı kalınlıkta ve genişlikte dik çizgiler ve aralarında yer alan boşluklardan oluşan, dijital kayıtların otomatik ve hatasız biçimde başka bir dijital ortama aktarılması için kullanılan ekonomik ve yaygın veri taşıyıcılarıdır (Yam, 2000; Ghaani & ark., 2016). Evrensel Ürün Kodu (UPC) barkodları, 12 basamaktan oluşan doğrusal bir sembol olup, sınırlı veri depolama kapasitesine sahip oldukları için yalnızca sınırlı sayıda bilgi barındırabilir (Şekil 12). Daha fazla bilgi depolamak için ise RSS (Reduced Space Symbology) barkodları, PDF-417 gibi barkodlar, doğrusal barkod ile 2 boyutlu barkodların kombinasyonu ile oluşturulmuş ve "kompozit barkod" adıyla geliştirilmiştir. Bu tür teknolojiler, tek boyutlu barkodlarla mümkün olmayan, besin içeriği, pişirme talimatları ve üretici web adresi gibi bilgilerin eklenmesini mümkün kılar. Özellikle PDF-417 gibi barkodlar içeren paketli gıdaların, mikrodalga fırınlar için akıllı pişirme özellikleri sunduğu belirtilmektedir. Genel ısıtma önerileriyle optimal gıda kalitesine ulaşmak zordur; ancak barkod tarama sistemi, gıda türüne göre ısıtma önerileri sunarak manuel ısıtma komutları girme ihtiyacını ortadan kaldırır. Ayrıca, pişirme talimatlarını okumakta zorlanan ya da görme engelli bireyler için faydalı bir çözüm sunmaktadır. Barkod sistemleri, Perakende alanında önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Bu sistemler, envanter doğruluğunu artırarak stok yönetimini iyileştirir, zamandan tasarruf sağlar ve işletmelere maliyet avantajı sunar. Ayrıca, kullanımı son derece basit olan barkod teknolojisi, stok takibi, envanter kaydının tutulması ve ödeme işlemlerinin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini mümkün

kılar. Bu yönleriyle barkod sistemleri, perakende işletmelerinde verimliliği artıran ve operasyonel süreçleri kolaylaştıran önemli bir araçtır (Yam, 2000; Yam, Takhistov & Miltz, 2005; Ghaani & ark., 2016).

Barkod sistemi, kullanıcı hatalarını en aza indirerek bilgilerin doğru, güvenilir ve ayrıntılı bir şekilde toplanmasını mümkün kılar. Bu teknoloji, istenen bilgilerin hızlı ve doğru bir şekilde elde edilmesine olanak tanır, böylece işleme süreci hızlanır ve iletim daha verimli hale gelir. Ayrıca, doğruluk ve veri giriş hızı üzerinde sağladığı iyileştirmeler, işçilik maliyetlerini azaltırken, sistemin ekonomik olmasını sağlar. Barkod sistemleri, ürün satış verilerini anında kaydederek stok seviyelerindeki eksiklikleri tespit eder ve sipariş taleplerine hızlı cevap verme imkânı sunar. Kullanım kolaylığı ve sağladığı verimlilik ile barkod teknolojisi, işletmeler için önemli avantajlar sunmaktadır. (Yüceer & Caner, 2023).



Şekil 12. UPC bardod sistemi (PaperRoo, 2017)

İki boyutlu (2D) barkodlar, geleneksel dikey çizgi ve boşluklardan farklı olarak verileri, nokta ve boşluklardan oluşan bir

matris yapısında düzenleyerek daha yüksek veri kapasitesi sunar. Bu barkodlar, sadece alfasayısal bilgiler değil, aynı zamanda görseller, internet bağlantıları, ses dosyaları ve diğer ikili veri türlerini de taşıma imkânı verir. Yapısal olarak, 2D barkodlar fiziksel olarak daha küçük olsalar da 1D barkodlara kıyasla (2000 karaktere kadar) çok daha fazla veri (karakter) depolama kapasitesine sahiptir. Veriler hem dikey hem de yatay düzlemdeki düzenine göre kodlanarak, bu barkodlar her iki yönden de okunabilir (Şekil 13).



Şekil 13. QR kod ile paketlenmiş balık örneği (İms, 2014)

Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID) Etiketleri

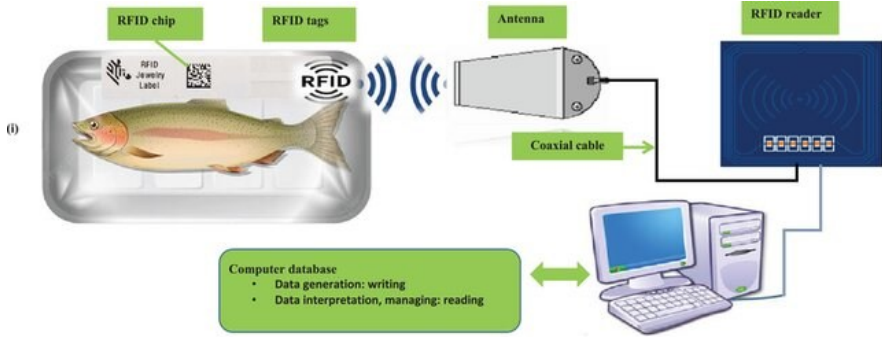
RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama), ürün tanıma ve izlenebilirlik sağlamak amacıyla kullanılan kablosuz bir sistemdir ve son yıllarda özellikle paketlenme uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır (Yam, Takhistov & Miltz, 2005). RFID etiket sistemleri yapısal olarak anten, etiket, okuyucu, sorgulayıcı ve denetleyici bileşenleri olmak üzere beş ana kısımdan oluşmaktadır (Şekil 14) (Yüksel & Zaim, 2009). Bu etiketler içinde antene bağlı bir mikroçip bulundurulur. Etiketler, kullandıkları güç kaynağına göre aktif ve pasif olmak üzere iki kısma ayrılır. Pasif olanlar batarya içermezken

okuyucu tarafından aktive edilirler, aktif etiketler ise kendi bataryalarına sahip olup, enerjilerini kendileri üreterek okuyucu sisteme sinyal gönderirler. Bu sistemler haricinde hem batarya bölümünden hem de okuyucu kısmından gelen dalgaları kullanan ve işleyen yarı-pasif RFID etiket sistemleri de mevcuttur (Angeles, 2005). Pasif etiketlerde okuma mesafesi 4-5 metre kadar olabilirken, aktif RFID etiketlerde bu okuma mesafesi 30 metreye kadar ulaşabilmektedir. Fakat, gerçekleşecek okuma mesafesi, okuyucu sistemin gücü ve çevresel faktörler gibi unsurlara bağlı olarak değişiklik gösterebilir. RFID etiketler, 1 megabayta kadar bilgi depolama kapasitesine sahiptir (Yam, Takhistov & Miltz, 2005).

RFID etiket ve okuyucu arasında gerçekleşen veri ve enerji transferi, bir temas olmaksızın gerçekleşmektedir. Okuyucu sistemin gönderdiği elektromanyetik dalgalar, etiket sisteminde yer alan antenle etkileşime girer ve mikroçipi aktive eder. Mikroçip ise gelen bu elektromanyetik dalgaları düzenleyerek okuyucuya geri iletir ve okuyucu gelen elektromanyetik dalgayı dijital verilere dönüştürerek internet veya ağ bağlantısına sahip bir bilgisayara iletir (Angeles, 2005). RFID etiketler şekil itibarıyla; cam kapsül, disk veya etiket gibi farklı şekillerde olabilir. Ayrıca, etiketler, sıcaklık-zaman sensörleri veya diğer sensörlerle birleştirilebilir özellikte olabilmektedir (Yam, Takhistov & Miltz, 2005). RFID etiketler hızlı bir şekilde eş zamanlı olarak okunabilir ve aynı anda 10-100 etiketin okunabilmesi sağlanır. Ortalama okuma süresi 0,5 saniye civarındadır (Üstündağ, 2005).

RFID teknolojisinin kullanımı, tedarik zincirindeki olası sorunlara karşı önlem almayı, ürünlerin depo ve dağıtım alanlarındaki yerleşiminin etkin bir şekilde düzenlenmesini, ürünlerin giriş/çıkış kontrol sürelerinin kısılmasını, ürün satışlarının

anında belirlenmesi sayesinde raf düzeninin etkinleştirilmesini, son kullanım tarihlerinin izlenmesini, firelerin azaltılmasını, işgücü maliyetlerinin düşürülmesini ve müşteri hizmetlerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. RFID sisteminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için, tedarik zincirindeki tüm paydaşların bu teknolojiye adapte olması ve sistemin doğru bir şekilde tasarlanması büyük önem taşımaktadır (Angeles, 2005).



Şekil 14. RFID etiket çalışma mekanizması (Abedi-Firoozjah & ark., 2023b)

KAYNAKÇA

Abedi-Firoozjah, R., Chabook, N., Rostami, O., Heydari, M., Kolahdouz-Nasiri, A., Javanmardi, F., ... & Khaneghah, A. M. (2023a). PVA/starch films: An updated review of their preparation, characterization, and diverse applications in the food industry. *Polymer testing*, 118, 107903. Doi: 10.1016/j.polymertesting.2022.107903

Abedi-Firoozjah, R., Salim, S. A., Hasanvand, S., Assadpour, E., Azizi-Lalabadi, M., Prieto, M. A., & Jafari, S. M. (2023b). Application of smart packaging for seafood: A comprehensive review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 22(2), 1438-1461. Doi: 10.1111/1541-4337.13117

Alam, A. U., Rath, P., Beshai, H., Sarabha, G. K., & Deen, M. J. (2021). Fruit quality monitoring with smart packaging. *Sensors*, 21(4), 1509. Doi: 10.3390/s21041509

Alizadeh-Sani, M., Mohammadian, E., Rhim, J. W., & Jafari, S. M. (2020). pH-sensitive (halochromic) smart packaging films based on natural food colorants for the monitoring of food quality and safety. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 93-144. Doi: 10.1016/j.tifs.2020.08.014

Almasi, H., Forghani, S., & Moradi, M. (2022). Recent advances on intelligent food freshness indicators; an update on natural colorants and methods of preparation. *Food Packaging and Shelf Life*, 32, 100839. Doi: 10.1016/j.fpsl.2022.100839

Anaza, S. O., Abdulazeez, M. S., Anugboba, I., Anako, S. I., & Abdullahi, K. U. (2016). A review of radio frequency

identification (RFID) system. *International Journal of Electrical and Electronics Research*, 4(4), 79-86.

Angeles, R. (2005). RFID technologies: Supply-chain applications and implementation issues. *Information systems management*, 22(1), 51-65. Doi: 10.1201/1078/44912.22.1.20051201/85739.7

Biegańska, M., Gwiazdowska, D., Kozak, W., & Marchwińska, K. (2014, September). The use of TTI indicators for quality monitoring of freshly squeezed juices. In *Proceedings of The International Forum on Agri-Food Logistics II Domestic Scientific Conference AGROLOGISTYKA*.

Bobelyn, E., Hertog, M. L., & Nicolaï, B. M. (2006). Applicability of an enzymatic time temperature integrator as a quality indicator for mushrooms in the distribution chain. *Postharvest Biology and Technology*, 42(1), 104-114. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2006.05.011

Brizio, A. P. D. R., & Prentice, C. (2015). Development of a new time temperature indicator for enzymatic validation of pasteurization of meat products. *Journal of Food Science*, 80(6), M1271-M1276. Doi: 10.1111/1750-3841.12889

Chemteq, (2024). *BTIS: Filters Change Indicators Stickers*. Erişim adresi: <https://www.chemteq.net/product/hydrogen-sulfide-breakthrough-indicator-sticker-sewer-manhole-filters/>

Çelik, İ., & Tümer, G. (2016). Gıda ambalajlamada son gelişmeler. *Akademik Gıda*, 14(2), 180-188.

Demirbilek, M. E. (2015). Tarımda ve gıdada nanoteknoloji. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, 15, 46-53.

Dodero, A., Escher, A., Bertucci, S., Castellano, M., & Lova, P. (2021). Intelligent packaging for real-time monitoring of food-quality: Current and future developments. *Applied Sciences*, 11(8), 3532. Doi: 10.3390/app11083532

Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., & Perego, P. (2020). Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review. *Foods*, 9(11):1628. Doi: 10.3390/foods9111628

Erdem, M. E., Tunçtaş, N., Köstekli, B., & Keskin, İ. (2022). Su Ürünlerinde Kullanılan Paketleme Yöntemleri: Vakum Paketleme, MAP, Biosensörler, Oksijen Emici Etiketler. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 7(2), 128-137. Doi: 10.35229/jaes.1068174

Fu, B., Taoukis, P. S., & Labuza, T. P. (1991). Predictive microbiology for monitoring spoilage of dairy products with time-temperature integrators. *Journal of Food Science*, 56(5), 1209-1215. Doi: 10.1111/j.1365-2621.1991.tb04736.x

Ghaani, M., Cozzolino, C. A., Castelli, G., & Farris, S. (2016). An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 51, 1-11. Doi: 10.1016/j.tifs.2016.02.008

Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. S. (2002). Systematic application of time temperature integrators as tools for control of frozen vegetable quality. *Journal of food science*, 67(6), 2221-2228. Doi: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb09531.x

Gök, V. (2007). Gıda paketlenme sanayinde akıllı paketlenme teknolojisi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1), 45-58.

Han, Y. H., Ho, C. H. L., Rodrigues, E. T. (2005). Intelligent Packaging, In: Innovations in Food Packaging, Edited by Han, J.H., Elsevier Academic Press, London, pp. 138-153.

Janjarasskul, T., & Suppakul, P. (2018). Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(5), 808-831. Doi: 10.1080/10408398.2016.1225278

Karagöz, Ş., & Demirdöven, A. (2017). Gıda ambalajlamada güncel uygulamalar: modifiye atmosfer, aktif, akıllı ve nanoteknolojik ambalajlama uygulamaları. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(1), 9-21.

Kerry, J. P., & Papkovsky, D. B. (2002). Development and use of non-destructive, continuous assessment, chemical oxygen sensors in packs containing oxygen sensitive foodstuffs. *Research Advances in Food Science*, 3, 121-140.

Kerry, J. P., O'grady, M. N., & Hogan, S. A. (2006). Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat science*, 74(1), 113-130. Doi: 10.1016/j.meatsci.2006.04.024

Khezerlou, A., Tavassoli, M., Alizadeh Sani, M., Mohammadi, K., Ehsani, A., & McClements, D. J. (2021). Application of nanotechnology to improve the performance of biodegradable biopolymer-based packaging materials. *Polymers*, 13(24), 4399. Doi: 10.3390/polym13244399

Kocatepe, D. (2010). Farklı modifiye atmosfer koşullarında paketlenen ve buzdolabı sıcaklığında depolanan levrek balığının (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus 1758) fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik yönden incelenmesi. (Yayın No. 275715) [Yayınlanmış Doktora Tezi, Sinop Üniversitesi].

Kosikowski, F. V. (1970). *Cheese and fermented milk foods*. (Vol. 711). New York.

Kress-Rogers E. (2001). Instrumentation for food quality assurance. In: Kress-Rodgers E, Brimelow CJB. (Editors). Instrumentation and Sensors for the Food Industry. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd. pp. 581-669.

Kuswandi, B., & Nurfawaidi, A. (2017). On-package dual sensors label based on pH indicators for real-time monitoring of beef freshness. *Food Control*, 82, 91-100. Doi: 10.1016/j.foodcont.2017.06.028

Lee, E. S., Park, S. Y., & Ha, S. D. (2019). Application of combined UV-C light and ethanol treatment for the reduction of pathogenic *Escherichia coli* and *Bacillus cereus* on Gwamegi (semidried Pacific saury). *Journal of Food Safety*, 39(6), e12712. Doi: 10.1111/jfs.12712

Mohammadalinejhad, S., Almasi, H., & Moradi, M. (2020). Immobilization of *Echinium amoenum* anthocyanins into bacterial cellulose film: A novel colorimetric pH indicator for freshness/spoilage monitoring of shrimp. *Food Control*, 113, 107169. Doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107169

Müller, P., & Schmid, M. (2019). Intelligent packaging in the food sector: A brief overview. *Foods*, 8(1), 16. Doi: 10.3390/foods8010016

Nami, M., Taheri, M., Deen, I. A., Packirisamy, M., & Deen, M. J. (2024). Nanomaterials in chemiresistive and potentiometric gas sensors for intelligent food packaging. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 117664. Doi: 10.1016/j.trac.2024.117664

Öksüztepe, G., & Beyazgül, P. (2015). Akıllı ambalajlama sistemleri ve gıda güvenliği. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 29(1), 67-74.

Özçandır, S., & Yetim, H. (2010). Akıllı ambalajlama teknolojisi ve gıdalarda izlenebilirlik. *Electronic Journal of Food Technologies*, 5(1), 1-11.

PaperRoo, (2017, 9 Kasım). Understanding UPC and EAN Bar Codes for Packaging. Erişim adresi: <https://paperroo.com/understanding-upc-and-ean-barcodes-for-packaging/>

Pereira de Abreu, D. A., Cruz, J. M., & Paseiro Losada, P. (2012). Active and intelligent packaging for the food industry. *Food Reviews International*, 28(2), 146-187. Doi: 10.1080/87559129.2011.595022

Pirsa, S., Sani, I. K., & Mirtalebi, S. S. (2022). Nanobiocomposite based color sensors: Investigation of structure, function, and applications in intelligent food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100789. Doi: 10.1016/j.fpsl.2021.100789

Priyadarshi, R., Ezati, P., & Rhim, J. W. (2021). Recent advances in intelligent food packaging applications using natural food colorants. *ACS Food Science & Technology*, 1(2), 124-138. Doi: 10.1021/acsfoodscitech.0c00039

Purma, Ç., & Serdaroğlu, M. (2006). *Akıllı ambalajlama sistemlerinin gıda sanayinde kullanımı*. Türkiye 9.Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs. Bolu

Riva, M., Piergiovanni, L., & Schiraldi, A. (2001). Performances of time-temperature indicators in the study of temperature exposure of packaged fresh foods. *Packaging Technology and Science: An International Journal*, 14(1), 1-9. Doi: 10.1002/pts.521

Robertson, G. L. (2005). *Food packaging: principles and practice*. CRC press.

Samsudin, H., & Hani, N. M. (2017). Use of starch in food packaging. In *Starch-based materials in food packaging* (pp. 229-256). Academic Press.

Sari, A. N. A., Warsiki, E., & Kartika, I. A. (2021, May). Innovation of oxygen indicator for packaging leak detector: A review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 749, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.

Shimoni, E., Anderson, E. M., & Labuza, T. P. (2001). Reliability of time temperature indicators under temperature abuse. *Journal of Food Science*, 66(9), 1337-1340. Doi: 10.1111/j.1365-2621.2001.tb15211.x

Smolander, M. (2003). The use of freshness indicators in packaging. In: *Novel Food Packaging Techniques*, Edited by Ahvenainen, R., Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 127-143

Soltani Firouz, M., Mohi-Alden, K., & Omid, M. (2021). A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Research International*, 141, 110113. Doi: 10.1016/j.foodres.2021.110113

Spotsee, (2023). *Freeze Indicator Case Study*. Erişim adresi: https://spotsee.io/wp-content/uploads/2023/08/Freeze-Indicator-Case-Study_REBRAND_08-14-2023_INTERACTIVE.pdf

Takma, D. K. & Nadeem, H. Ş. (2019). Gıdalarda akıllı ambalajlama teknolojisi ve güncel uygulamalar. *Gıda*, 44(1),131-142. Doi: 10.15237/gida.GD18106

Taoukis, P., & Tsironi, T. (2016). Smart packaging for monitoring and managing food and beverage shelf life. In *The stability and shelf life of food* (pp. 141-168). Wood head Publishing.

Tavassoli, M., Alizadeh Sani, M., Khezerlou, A., Ehsani, A., Jahed-Khaniki, G., & McClements, D. J. (2022). Smart biopolymer-based nanocomposite materials containing pH-sensing colorimetric indicators for food freshness monitoring. *Molecules*, 27(10), 3168. Doi: 10.3390/molecules27103168

Thirupathi Vasuki, M., Kadirvel, V., & Pejavara Narayana, G. (2023). Smart packaging—An overview of concepts and applications in various food industries. *Food Bioengineering*, 2(1), 25-41. Doi: 10.1002/fbe2.12038

Tirtashi, F. E., Moradi, M., Tajik, H., Forough, M., Ezati, P., & Kuswandi, B. (2019). Cellulose/chitosan pH-responsive indicator incorporated with carrot anthocyanins for intelligent food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 920-926. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.06.148

Turhan, K. N. (2009). Gıda Ambalajlamada Yeni Teknolojiler. *Dünya Gıda Dergisi, Uzman Gözüyle, Aralık*.

Üçüncü, M. (2011) Gıda Ambalajlama Teknolojisi. İstanbul: Ambalaj Sanayicileri Derneği İktisadi İşletmesi.

Üstündağ, A. (2005). RFID Technology: A paradigm shift in business processes. In *35th International Conference on Computers and Industrial Engineering, İstanbul, Turkey* (pp. 2065-2070).

Vainionpää, J., Smolander, M., Alakomi, H. L., Ritvanen, T., Rajamäki, T., Rokka, M., & Ahvenainen, R. (2004). Comparison of different analytical methods in the monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts using principal component analysis. *Journal of Food Engineering*, 65(2), 273-280. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.01.025

Wang, S., Liu, X., Yang, M., Zhang, Y., Xiang, K., & Tang, R. (2015). Review of time temperature indicators as quality monitors in food packaging. *Packaging Technology and Science*, 28(10), 839-867. Doi: 10.1002/pts.2148

Yam, K. L. (2000). Intelligent packaging for the future smart kitchen. *Packaging Technology and Science: An International*

Journal, 13(2), 83-85. Doi: 10.1002/1099-1522(200003/04)13:2<83::AID-PTS494>3.0.CO;2-7

Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz, J. (2005). Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of food science*, 70(1), R1-R10. Doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x

Yüceer, M., & Caner, C. (2023). Gıda sanayiinde akıllı ambalajlama ve uygulamaları. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (30), 57-68. Doi: 10.56833/gidaveyem.1329885

Yüksel, M. E., & Zaim, A. H. (2009). Yeni nesil teknoloji olarak RFID, RFID sistem yapıları ve bir RFID sistem tasarımı yaklaşımı. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13, 15.

BÖLÜM II

Deniz Yosunları, Araştırmalardaki Yeni Trendler

Sonay BAŞKAN¹
Demet KOCATEPE²

Giriş

Denizlerde ve iç sularda avlanma insanlık tarihinin en eski ve en temel besin ihtiyacını karşılama yöntemlerindendir. Sanayinin gelişmesiyle birlikte farklı av araçlarının ve işleme metotlarının ortaya çıkması ürün yelpazesini genişletmiştir. Ancak dünya nüfusundaki hızlı artış besin ihtiyacının artmasına, su kaynaklarının ve sucul ürünlerin tükenmesi neden olmuştur. Artan enerji ihtiyacının sonucu olarak insanlar su ürünlerinden daha fazla verim elde etmek üzere denizel kaynaklara yönelmiştir (Polat & ark.,

¹ Sonay BAŞKAN, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Sinop/Türkiye, Orcid: 0009-0007-0994-5405, baskansonay@gmail.com

² Prof. Dr. Demet KOCATEPE, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Sinop/Türkiye, Orcid: 0000-0002-9234-1907, demetkocatepe@hotmail.com, dkocatepe@sinop.edu.tr

2012). Gelecekte kaynak krizlerini azaltmak adına, hızlı ve kısa büyüme süreleri ile sürdürülebilirlikleri sayesinde deniz yosunları en umut verici kaynaklardan biri olarak öne çıkmaktadır. Dünya genelinde deniz yosunu üretimi ve talebindeki artış, son yıllarda bu kaynaklarının büyük bir büyüme sürecine girmesine neden olmuştur. Deniz yosununun birincil ürünleri, çıkarılması ve uygulanması veya atık olarak değerlendirilmesi, çeşitli alanlardaki uygulamaların sürekli olarak geliştirilmesi ve iyileştirilmesi ile daha büyük faydalar sağlayacaktır (Zhang & ark., 2022).

Yosunların %70'inin yayılım alanı sular olmasıyla beraber yeryüzünün her yerinde bulunabilirler. Sıcaklık, tuzluluk, basınç gibi fiziksel şartlara karşı yüksek tolerans gösterebilirler. 70° C ve üzeri sıcaklıklarda, buzlu alanlarda, çok tuzlu sularda, ışık yoğunluğunun az olduğu alanlarda bile yaşayabilirler (Aktar & Cebe, 2010). Makro algler sıklıkla kayalık bölgelerde bol miktarda bulunurlar. Uzunlukları birkaç milimetreden elli metreye kadar çeşitlilik gösterir ki bu sayede çıplak gözle görülebilirler. Makro algler, birincil üreticiler olarak, deniz kestaneleri ve gastropodlar gibi omurgasızlardan omurgalılara kadar çeşitli otçul toplulukları destekleyen denizel besin zincirinin temelini oluştururlar (Wichard, 2023).

Stresli şartlara ve tuzluluğa karşı yüksek dirence sahip olan deniz yosunlarının dünyada kullanımı; tarımda %50, ilaç ve kozmetikte %40 ve %10'u diğerleri şeklindedir. En eski kullanım amacı ise tarımda gübre olarak kullanımıdır (Pek, 2023).

Yosun üretimi doğal deniz sistemi ve su ürünleri yetiştiriciliği (kontrollü sistem) şeklinde iki yolla yapılır. Deniz yosunlarının

genel üretimine bakıldığında, yabancı türler toplam üretimin sadece %4,5'ini oluştururken, son on yılda kültür yoluyla üretilen deniz yosunu miktarı yaklaşık %50 oranında artmıştır. FAO istatistiklerine göre, son 2003-2012 yılları arasında yabancı stoklardan deniz yosunu üretimi sabit bulunmuş ve 2012'de en büyük üreticiler Şili (436.035 ton), ardından Çin (257.640 ton) ve Japonya (98.514 ton) olmuştur. FAO raporunda ayrıca, su ürünleri yetiştiriciliğinden elde edilen deniz yosunu üretiminin (24,9 milyon ton) avcılıktan (1 milyon ton) daha fazla olduğu ve başlıca üreticiler ve yetiştiricilerin Çin ve Japonya olduğu vurgulanmıştır (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021). Asya'nın, dünyadaki deniz yosununun %97'sinden fazlasını ürettiği de kaynaklarda belirtilmiştir (Farghali & ark., 2023). 2020'de küresel su ürünleri üretimi 87,5 milyon ton sucul canlı ve 35,1 milyon ton alg olmak üzere 122,6 milyon tonluk rekor seviyeye ulaşmıştır (Tablo 1) (FAO, 2022).

Denizel makro alglerin hâkim olduğu küresel alg üretiminin, 2019' da 34,6 milyon tondan yüzde 1,4 artışla 2020'de yarım milyon ton arttığı rapor edilmiştir. 2020 yılında Çin ve Japonya gibi büyük üretici ülkelerde üretimde artış görülürken, Güneydoğu Asya ve Kore Cumhuriyeti'nde deniz yosunu hasadında azalma olduğu rapor edilmiştir (FAO, 2022).

Dünya çapında 4,7 milyar dolarlık alg ürünleri pazarının, 2026 yılına kadar %6,3'lük bileşik yıllık büyüme oranıyla 6,4 milyar dolara çıkacağı tahmin edilmektedir. Alg pazarında en büyük paya Kuzey Amerika sahiptir (El-Beltagi, 2022).

Başlıca ihracatçıları Endonezya, Çin, Kore, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri olan alg ticaretinin, 1976'da 65 milyon

ABD dolarından, 2020'de 1,1 milyar ABD dolarına yükseldiği bildirilmiştir (FAO, 2022).

Tablo 1. Dünyada üretilen başlıca deniz yosunları (bin ton canlı ağırlık)(FAO, 2022)

	2000	2005	2010	2015	2020	Toplam % 2020
Alg						
<i>Laminaria japonica</i>	5 380.9	5 699.1	6 525.6	10 313.7	12 469.8	35.5
<i>Eucheuma spp.</i>	214.3	983.9	3 472.6	10 182.1	8 129.4	23.2
<i>Gracilaria spp.</i>	55.5	933.2	1 657.1	3 767.0	5 180.4	14.8
<i>Undaria pinnatifida</i>	311.1	2 439.7	1 505.1	2 215.6	2 810.6	8
<i>Porphyra spp.</i>	424.9	703.1	1 040.7	1 109.9	2 220.2	6.3
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	649.5	1 283.5	1 884.2	1 751.8	1 604.1	4.6
<i>Sargassum fusiforme</i>	12.1	115.6	97.0	209.3	292.9	0.8
<i>Eucheuma denticulatum</i>	85.3	174.5	265.5	280.8	154.1	0.4
8 büyük türün ara toplamı	7 133.7	12 332.7	16 447.9	29 830.2	32 861.5	93.7
Diğer türlerin ara toplamı	3 461.9	2 498.6	3 726.5	1 243.4	2 216.0	6.3
Toplam	10 595.6	14 831.3	20 174.3	31 073.5	35 077.6	100

Deniz yosunlarının kullanımı yalnızca insani tüketim ile sınırlı değildir. Hayvan yemi, gübre, di  ililik, gıda katkı maddesi, kozmetik, kimya, tıp ve eczacılık vb. gibi pek çok farklı sektörde kullanılmaktadır.

Kalsiyum, sodyum, fosfor ve potasyum gibi neredeyse tüm vitamin ve minerallerle biyoaktif bileşikler, fitokimyasallar, polisakkaritler, lif, ω -3 yağ asitleri ve esansiyel amino asitler bakımından zengin bir kaynak olan deniz yosunlarının bu özellikleri sebebiyle nutrasötik, tarım, gıda, tıp, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde ticari uygulamaları olduğu belirtilmiştir. İyi bir besin kaynağı olması nedeniyle, deniz yosunları farklı ülkelerde insan gıdası olarak kullanılmaktadır. Dünya çapında yaklaşık 42 ülke deniz yosunlarını ticari amaçlarla kullanmaktadır. Bu   lkeler arasında Çin   nde gelmekte olup, onu Kuzey Kore, Güney Kore, Japonya, Filipinler, Şili, Norveç, Endonezya, ABD ve Hindistan izlemektedir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Deniz yosunları, özellikle bazı balık türleri ve kabuklu su organizmaları için temel bir yem kaynağı olarak önem taşır. Balıklar genellikle yumurtalarını yosunların üzerine bırakır. Yosunlar, balıkların larva aşaması için korunma alanı sağlarken, besin kaynağı olarak da bir ortam oluşturur.

Sargassum, Akdeniz'in en önemli yosunu olarak bilinir ve balıkların üreme dönemlerinde yüzen yosun yatakları oluşturur. Sargassum içinde barınan yavru balıklar, grup halinde yüzerek daha iyi korunabilir ve beslenebilirler.

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde deniz yosunlarının kullanımı oldukça sınırlı seviyededir. Son yıllarda kıyılarımızda

dağılım gösteren yosunların besin içeriği, kullanım olanakları, dağılımı ve tür tanımlamaları ile ilgili çalışmalar artış göstermiştir (Polat, Boğa Küley & Özoğul, 2012).

Deniz yosunları

Yosunlar (makro alg) çiçek, kök, gövde ve yaprak taşımayan; tüm suda yaşayan organizmalar için temel enerji ihtiyacını sağlayan ve böylece su ekosisteminin dengesinde çok önemli bir rol oynayan, okyanustaki birincil üretimden sorumlu fotosentetik organizmalardır (Kumar, Tarafdar & Badgujar 2021; Ren & ark., 2022). 180 m derinliğe kadar deniz dibinde bulunabilir ve çoğunlukla 30-40 m derinlikte katı substratlarda sabitlenirler. Haliçlerde yetişen bu organizmalar, kayalara, kabuklara, taşlara ve diğer bitki materyallerine yapışır (Kumar, Tarafdar & Badgujar 2021). Bu çok hücreli fotosentetik ökaryotlar, kıyı ekosistemlerinde önemli ekosistem hizmetleri sunar. Diğer organizmalar için yiyecek, barınak, yaşam alanı sağlarlar ve dünya çapında ılıman, arktik ve tropikal sistemlerin büyük miktarda toplam birincil üretkenliğinden sorumlu olan ekosistemin önemli bileşenlerindendir (Ren & ark., 2022). Ayrıca deniz yosunları tarafından karbon tutunumu, ötrofikasyonun azaltılması, küresel ısınmaya olası bir çözüm olarak okyanus asitliğini düşürmesi, kıyı şeridinin korunması gibi çok sayıda çevresel fayda sağladığı belirtilmiştir (Farghali & ark., 2023; Lomartire & Gonçalves, 2022).

Sığ su ortamlarının önemli öğeleri olan makro algler, nütrientçe zengin olan kıyısız ortamlarda yüksek biyomas değerlerine ulaşabilmektedirler. Primer üretim seviyelerinin, verimli karasal bitki topluluklarıyla aynı düzeyde ya da daha fazla olduğu belirtilmiştir (Polat & ark., 2012).

Okyanuslar ve özellikle kıyı bölgelerinde bulunan deniz yosunları, jeoiklim koşullarına ve çeşitli biyotik veya abiyotik faktörlere bağlı olarak dağılım gösterir. Phaeophyta ve Rhodophyta sınıflarında yer alan çeşitli alginofit ve carrageenophyte türleri ticari olarak kullanılmaktadır. Deniz yosunu, çok çeşitli katma değerli ürünlerin yanı sıra enerji üretimi için de değerli bir hammadde olarak kabul edilmektedir; bu ürünler insan ve bitki sağlığından kozmetiğe, tarımdan gıdaya ve inşaata kadar geniş bir yelpazede kullanılabilir (Zhao & ark., 2022).

Deniz Yosunlarının Besin Bileşenleri

Beslenme açısından bakıldığında deniz yosunları, yüksek karbonhidrat (<%60) ve protein (%17-44) içeriği, düşük lipid yüzdesi (<%4,5) ve vitaminler, pigmentler, mineraller gibi diğer mikro besinlerin yüksek oranda bulunması ile karakterize edilirler (Zhao & ark., 2022) (Tablo 2). Deniz yosunlarının biyokimyasal bileşimi, türüne, bulunduğu coğrafi bölgeye, hasat zamanına ve çevresel koşullara bağlı olarak önemli ölçüde çeşitlilik gösterebilir.

Tablo 2. Deniz yosunların biyokimyasal bileşimi (yeşil, kırmızı ve kahverengi) (k: kuru ağırlık, t: taze ağırlık) (Zhao & ark., 2022)

	Yeşil Alg %	Kırmızı Alg %	Kahverengi Alg %
Karbonhidrat^k	25–50	30–60	30-60
Protein^k	10–20	10-25	3-15
Lipid^k	1–4	0,6-4	0,4-2,4
Mineral^k	18–53	26-48	34-55
Su İçeriği^t	70–85	70-80	75-90

Deniz yosunlarının protein içeriği türlere göre değişkenlik gösterir; genellikle kahverengi deniz yosunlarında düşük, yeşil alglerde orta düzeyde ve kırmızı deniz yosunlarında en yüksek seviyededir. Ayrıca, kırmızı deniz yosunlarının essensiyel amino asitler bakımından zengin olduğu bilinmektedir. Kuru ağırlık bazında %11 ila %24' ü kadar protein içeriğine sahip olan *Undaria pinnatifida* (wakame) türü dışında, kahverengi deniz yosunlarının çoğu %15' ten daha az protein içerir (Zhao & ark., 2022; Fleurence, Morançais & Dumay, 2018).

Yenilebilir yeşil deniz yosunlarına ait *Ulva* cinsinde durum farklıdır; çünkü protein konsantrasyonları bitkinin kuru kütlesinin %9 ila %33'ünü oluşturabilir. Özellikle Japonlar tarafından 'nori' olarak sıklıkla tüketilen *Ulva australis*, yüksek protein seviyelerine sahiptir. Bazı çalışmalar *Ulva lactuca*'nın protein içeriği için %32' lik bir değer vermiştir, ancak bu oran mevsimsel olarak yüksek bir değer gibi görünmektedir. Ancak bazı kırmızı deniz yosunları daha yüksek protein içeriği gösterebilir. Örneğin, *Pyropia yezoensis* (eski adı *Porphyra yezoensis*), kuru ağırlık bazında %47'ye kadar protein içerebilir. Bu seviye, soya fasulyesi gibi yüksek protein içeren baklagillerinkinden daha yüksektir. Başka bir kırmızı deniz yosunu olan *Palmaria palmata*, %35 oranında protein (kuru madde) içerebilir (Fleurence, Morançais & Dumay, 2018). Esmer deniz yosunlarında alginik asit varlığı, saf proteinin ayrışmasını engeller. Bu tür yosunlarda, protein sindirimi alginat-protein kompleksinin yapısına bağlı olarak değişir; alginat miktarı arttıkça sindirimin derecesi azalır ve hatta olumsuz yönde etkilenebilir. Bu sebeplerden dolayı, deniz yosunları insanlar için etkili bir protein kaynağı değildir. Deniz yosunlarında bulunan protein genellikle klorofil ile

kompleks halinde bulunan kromo-protein formundadır ve sindirimi zordur. Yeşil yosunlar protein sindirimi daha etkili olabilir; çünkü bu tür yosunlar alginik asit içermezler. Alginat ile protein arasındaki kompleksler sindirimi güçleştirir (Atay, 1984).

Deniz yosunlarının esas bileşeni karbonhidratlar oluşturur. Yapıları kara bitkilerinkine benzemez ve daha karmaşıktır. Yeşil-mavi, kırmızı ve esmer deniz yosunlarının protein yapıları arasında çok fazla benzerlik olmasına karşın karbonhidratları arasında büyük farklılıklar vardır.

Tüm organizmaların sağlıklı işlev görmesi için yağ asitlerine ihtiyaç vardır. Yağ asitleri, hücre gelişimini ve farklılaşmasını ve ayrıca gen ekspresyonunu kontrol eden moleküllerin yanı sıra enerji depolama malzemeleri olarak hizmet eden plazma zarlarının bileşenleridir. Lipitler, yağda çözünen vitaminlerin (örneğin A, E, D veya K) taşınması ve emilimi için gereklidir. PUFA' lar (toplam lipidlerin %25-60'ı), glikolipidler, fitosteroller, fosfolipitler veya yağda çözünen vitaminlerin tümü, deniz yosunu lipidlerinde (A, D, E veya K vitamini ve karotenoidler), düşük konsantrasyonlarda (kuru ağırlığın %1-5'i) bulunur. Alglerin lipid içeriği genellikle %1,5 ila %5 arasında değişir. Bu organizmalar özellikle eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) gibi uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerini sentezler, bu da onların esansiyel yağ asitleri açısından zengin olduğunu gösterir. Örneğin, kırmızı algler genellikle kahverengi alglerden daha yüksek EPA, palmitik asit, oleik asit ve araşidonik asit içeriğine sahiptir. Yeşil algler, palmitik, oleik ve DHA'nın yanı sıra daha fazla linoleik asit ve α -linolenik asit içerir. Kırmızı ve kahverengi algler, hem omega-3 hem de omega-6 yağ asitleri içermektedir (El-Beltagi & ark., 2022). İngiltere kökenli

yosunlarla gerçekleştirilen araştırmalarda, ham yağ içeriğinin deniz yosunlarının bulunduğu derinliğe göre değiştiği ve derinliğin artmasıyla ham yağ miktarının azaldığı belirlenmiştir. Deniz yosunlarında ham yağ oranı genellikle çok düşüktür ve kurutulmuş maddede %0,2 ile %1,7 arasında değişiklik göstermektedir (Atay, 1984). Deniz yosunu, omega-3 ve omega-6 yağ asitleri açısından zengin olup, kardiyovasküler hastalıklar, artrit ve diyabet gibi birçok hastalığın nlenmesine yardımcı olabilir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Alglerde en sık bulunan vitaminler genellikle A, B, C ve E vitaminleridir. Bazı deniz yosunları, yüksek tansiyon, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser riski gibi çeşitli sağlık sorunlarını azaltmaya yardımcı olan çeşitli sağlık yararlarına ve antioksidan aktivitesine sahip vitaminler içerir. Kırmızı algler ve diğer bazı türler yaşlanma karşıtı özellikler sunabilir. Ayrıca, bu algler vejetaryenler için sağ ve tırnak büyümesi ile sağlık açısından önemli olan B12 vitamini kaynakları olarak değerlendirilebilir (El-Beltagi & ark., 2022).

Deniz yosunları kalsiyum, magnezyum, demir ve potasyumun yanısıra iyot, bakır, çinko ve selenyum ile manganez, stronsiyum, molibden ve germanyum gibi eser elementleri içerirler. Polisakkaritlere bağlı olan elementler, bu formda biyoyararlılıkları açısından yüksektir. Deniz yosunlarının bu yüksek mineral içeriği, onları gıda takviyeleri için değerli bir kaynak haline getirir (Polat & ark., 2021).

Yosun, tiroid hormonu üretimi için gerekli olan önemli bir iyot kaynağıdır. 0,2 mg'lık günlük iyot gereksinimi, genellikle iyotlu

sofra tuzu tarafından karşılanamaz. Yenilebilir deniz yosunları, bu elementin farklı fakat genellikle çok yüksek içeriğine sahiptir; bu nedenle, belirli deniz yosunu türleri konusunda dikkatli olunması gerekir. En çok tüketilen kırmızı deniz yosunlarından biri olan Dulse (*Palmaria palmata*, Rhodophyta) iyot, protein, magnezyum ve kalsiyum kaynağıdır. Tek bir gram kırmızı deniz yosunundan 150 ug/gün iyot ihtiyacı elde edilebilir. Deniz yosunları, normal bir diyetle genellikle yeterince alınamayan bakır, manganez, molibden, silikon ve germanyum gibi diğer elementlerin önemli bir kaynağıdır. Bu elementlerin içeriği, deniz yosunlarını beslenmede değerli kılan faktörlerden biridir (Polat & ark., 2021).

Mineral içeriği açısından bakıldığında; kahverengi alglerin iyot açısından zengin olduğu ve bazı kırmızı ve yeşil alglerin (*Phymatolithon calcareum*, *Lithothamnion corallioides*), yüksek kalsiyum kaynakları olduğu bildirilmiştir. Demir açısından, *Ulva* cinsinin bazı baklagillerinden 12 kat daha fazla demir ihtiva ettiği de bilinmektedir. Öte yandan, deniz yosunları, özellikle kıyı bölgelerinde bakır, kadmiyum, kurşun ve çinko dahil olmak üzere ağır metallerin mükemmel bir göstergesi ve/veya biyo-adsorbanlarıdır (Zhao & ark., 2022).

Deniz Yosunlarının Sınıflandırılması

Algler, tek bir hücreden oluşan veya koloniler halinde veya birçok hücreli organizmalar halinde gruplanmış, bazen basit dokular olarak iş birliği yapan çok basit klorofil içeren organizmalardır. Boyutları 3–10 µm (mikron) tek hücreli formdan 70 m uzunluğa kadar dev yosunlara kadar büyük farklılıklar gösterir. Algler dünyanın her yerinde: denizde, nehirlerde ve göllerde, toprakta,

hayvanlarda ve aslında fotosentez yapmak için ışığın olduğu hemen hemen her yerde bulunurlar (El Gamal, 2010).

Değişik alg grupları arasında yapılan karşılaştırmalarda sitolojik, morfolojik, biyokimyasal özellikleri, üreme biçimi ve yaşam döngüsü yönünden farklılıkların olduğu görülür (Polat, Boğa Küley & Özoğul, 2012; Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021). Algler, büyüklük ve yapılarına göre prokaryotik (mikroalgler) ve ökaryotik (makroalgler) olarak iki temel gruba ayrılırlar. Mikroalgler “Mavi-yeşil algler (Cyanophyta)” olarak bilinirler. Makro algler ise kamçıların varlığına veya pigmentasyonlarına göre; kahverengi algler (Phaeophyta), kırmızı algler (Rhodophyta), yeşil algler (Chlorophyta), diyatomeleler (Chrysophyta) ve kamçılı algler (Flagellata) şeklinde sınıflandırılır.

Tüm alglerin (mikro ve makro) küresel çeşitliliğinin yaklaşık 9.800' ü deniz yosunu olmak üzere 164.000'den fazla türden oluştuğu tahmin edilmektedir ve bunların yalnızca %0,17'si ticari kullanım için elverişlidir (El-Beltagi & ark., 2022).

Taksonomik olarak makro algler genellikle içerdikleri pigment maddelerine göre;

- kahverengi (Phaeophyceae),
- kırmızı (Rhodophyceae),
- yeşil (Chlorophyceae) olmak üzere üç büyük sınıfta tanımlanırlar (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021) (Tablo 3).

Tablo 3. Makro alglerin genel sınıflandırılması (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021)

Domain	Kingdom	Phylum	Class
Prokaryota	Eubacteria	Cynobacteria	Cyanophyceae
	Plantae	Rhodophyta	Bangiophyceae Florideophyceae
Eukaryota	Chromista	Ochrophyta	Phacophyceae Bryopsidophyceae
	Plantae	Chlorophyta	Siphonocladophyceae
			Ulvophyceae

Kahverengi (Esmer) Yosunlar (Phaeophyceae)

Kahverengi algler, pigmentasyonları sarıdan koyu kahverengiye kadar değişen büyük bir deniz yosunu grubudur. Bu yosunların kahverengi rengi, bir ksantofil pigmenti olan fukoksantin diğer renk maddelerini örtmesiyle ortaya çıkar (Lomartire & Gonçalves, 2022).

Bir hücrede birden fazla kloroplast bulunur. Laminarin, mannitol, fukoidin, alginik asit ve selüloz önemli karbonhidratlarıdır. Bu yosunlar çoğunlukla denizde yaşarlar. Kahverengi deniz yosunları büyük boyutludur, kalın ve deri benzeridir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021; Atay, 1984). Boyları 100 metreye kadar ulaşabilir. Hücre zarları selüloz veya pektindendir. Hücreler arasında farklı görevler üstlenerek yaprak, sap ve kök benzeri yapılar oluştururlar. Bu gruba ait bitkiler, denizlerde bulunan en büyük bitkiler olup ılıman ve soğuk denizlerde yaygın olarak bulunurlar. Bu sınıfta yaklaşık 240 cins ve 1500'den fazla tür tanımlanmıştır. Alginat üretiminde kullanımları sayesinde önemli bir ekonomik değer taşırlar. Bunun yanı sıra, hayvan yemi ve gübre olarak da değerlendirilirler (Atay, 1978). Ancak bu gruptaki algler zor sindirilebilir oldukları için insan

beslenmesinde çok fazla kullanılmazlar. Yalnızca bazı türler (*Ishige okamurae*, *Endarachne binghamiae*, bazı *Sargassum* türleri, *Chordafilum* gibi türler) Çin’de doğrudan tüketim amaçlı direkt doğadan toplanmaktadır (Yalçın, 2019).

Hint Okyanusu'nda bulunan bazı kahverengi deniz yosunu türleri arasında *Dictyota ceylanica* ve *Sargassum wightii* yer alır. Japonya'da ise *Laminaria sp.*, *Saccharina sp.*, *Undaria sp.*, *Nemacystus sp.*, *Sargassum sp.*, *Eisenia sp.* ve *Ecklonia sp.* türleri yaygındır (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Ekonomik Değere Sahip Kahverengi Deniz Yosunları

Bugün tıpta kullanılan bazı esmer su yosunlarının ekstraktları kan basıncını azaltmak ve kanın pıhtılaşmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle kullanılan esmer su yosunları *Macrocystis sp.*, *Cytoseria sp.*, *Sargassum sp.*, *Laminaria sp.*, *Undaria sp.*, *Nereocystis sp.*’ dir (Atay, 1978).

Laminariales

Rizoid, sap ve yaprak benzeri bölümlerden oluşan tallusları ile denizlerde yaşayan su yosunlarının en büyük örneklerini oluştururlar (Atay, 1984).

Kahverengi deniz yosunlarının ekonomik değere sahip olan türlerinin büyük bölümü Laminariales ordosuna aittir (Yalçın, 2019).

Laminaria

Ekonomik olarak değerli olan bu türler (Şekil 1, 2), Atlas Okyanusu ile Büyük Okyanusun Kuzeyine ve Kuzey Buz Denizi’ne yayılır. Uzunluğu 30-120 cm arasında değişir. Rengi koyu

kahverengidir. Pençeye benzeyen rizoidleri yosunun taban kısmını oluşturur. Rizoidlerin devamındaki sap kısmının üzerinde yaprağı andıran bir tabaka bulunur (Atay, 1984).



Şekil 1. *Laminaria digitata* (Anonim, 2023a)

Laminaria yapraklarının kimyasal kompozisyonu, bölgesel ve mevsimsel farklılıklara göre değişiklik göstermektedir. Bu yapraklar %8,8-12.5 ham protein, %4,3-12.8 mannitol, %2,1-32,8 laminarin, yaklaşık %5 fukoidin, %16.5-23.5 alginik asit, %4.9-7.5 ham selüloz, %0.75-1.1 ham yağ ve %34-37.2 ham kül içermektedir. Ayrıca, bu yosun türü 9,4 mg/kg riboflavin barındırmaktadır. Bu türlerden elde edilen alginik asit, farklı endüstrilerde ve tıp alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. *Saccharina japonica* (önceki adıyla *Laminaria japonica*) ise Uzak Doğu ülkelerinde doğrudan tüketilen bir gıda maddesi olarak değerlendirilmektedir (Atay, 1978). Laminaria, Japonya ve Çin'de 1730'lardan beri yetiştirilmektedir (Yalçın, 2019).

L. digitata, geçmişte geleneksel olarak gübre olarak kullanılmıştır ve halen organik gübre olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, alginik asit elde edilmesinde, diş macunlarında, kozmetik ürünlerinde ve gıda endüstrisinde bağlayıcı, kalınlaştırıcı ve şekillendirici olarak da kullanılmaktadır (Atay, 1978).



Şekil 2. *Saccharina japonica* (Anonim, 2023b)

Macrocystis

Bu cins, Laminariales takımına ait denizel bitkiler arasında en büyüğüdür; boyu 60-100 metre arasında değişirken ağırlığı da 100 kilograma kadar ulaşabilir. Thallusunun yaprak şeklindeki kısımlarının altında yüzme keseleri bulunmaktadır. Ekonomik açıdan önemli bir alg türü olup, özellikle alginat üretiminde kullanılmaktadır (Atay, 1978) (Şekil 3).



Şekil 3: *Macrocystis pyrifera* (Anonim, 2023c)

Undaria

Kuzeybatı Pasifik Okyanusu'nun soğuk ve ılıman kıyılarına özgü bir yosun grubudur. Sıcaklığa karşı toleransı yüksektir; soğuk-ılıman ve subtropikal sularda iyi gelişir. Kayalık deniz yatağı, dalgakıranlar, iskeleler, şamandıralar, istiridye resifleri, tahta, şişeler, halatlar ve tekne gövdeleri dahil olmak üzere çeşitli yüzeylerde bulunur. *Undaria pinnatifida* ekonomik olarak değerli bir gıda türüdür. İstilacı türlerdendir (Anonim, 2021a) (Şekil 4).



Şekil 4. *Undaria pinnatifida* (Anonim, 2023d)

Nereocystis

Tallusları 40 metre uzunluğa ulaşabilir. Gelgit bölgelerinde kaya üzerinde büyür; yarı açık habitatları veya yüksek akıntılı alanları tercih eder. Yüksek bulanıklık ve düşük tuzluluk içeren ortamlarda nadiren bulunur. Tuzluluk değişikliklerine uyum sağlamakta güçlük çektiği için, acı nehir ağzı suları gibi tuzluluğun azaldığı alanlarda gelişemez. Bu tür suların artan bulanıklığı, fotosentez için mevcut ışığı da azaltarak büyümesini sınırlandırır (Anonim, 2023e) (Şekil 5).

Turşusu yapılıp, gıda olarak farklı şekillerde tüketilebilir. Güney Kore’de miyeok-guk (Kore yosun çorbası) denilen

geleneksel çorbalarda kullanılıp, ayrıca doğum günlerinde bu yosun çorbasını tüketme geleneği vardır (Anonim, 2023e).



Şekil 5. *Nereocystis luetkeana* (Anonim, 2023f)

Fucales

Tallusları çeşitlilik gösteren, yüzme keseleri ve çoğunlukla yaprak biçiminde dalları olan Laminariales takımının diğer üyelerine nazaran daha küçük olan, kıyılarda kayalara tutunarak yaşayan ekonomik esmer su yosunlarıdır.

Fucus

Bu tür, Fucales takımına (Şekil 6, 7) ait olan ve dünya genelinde yaygın olarak bulunan deniz kıyıları ve gelgit bölgelerinde, kayalık alanlarda yetişen kahverengi alglerdir. Tallusu sert bir deri dokusuna sahiptir ve şeritsel ile çatalsı dallanma gösterir. Bu alg türü, alginat üretimi ve yem endüstrisinde kullanılmaktadır (Atay, 1978).

Fucus yosunları, bölgeye, mevsime ve türe göre değişen kuru madde içeriğinde %5,4-11,8 protein, %17,6-24,3 alginik asit, %4,8-

12,1 mannitol, %0,57-1,22 ham yağ ve %22,7-28,9 arası ham kül içermektedir. Bununla birlikte, 50-170 mg/kg karoten, 15-25 mg/kg niasin, 0,3-0,5 mg/kg biyotin ve 50-300 mg/100 gr C vitamini içermektedirler. Bu türler, zengin vitamin ve mineral içeriği sayesinde tavuk rasyonlarına %5 oranında katılabilirler (Atay, 1978).



Şekil 6. *Fucus serratus* (Anonim, 2023g)



Şekil 7. *Fucus spiralis* (Anonim, 2023h)

Cystoseira

Fucales takımına bağlı olan *Cystoseira* cinsi (Şekil 8) sıcaklığı ve oksijeni yüksek olan temiz denizlerde yaygın olup 60'tan fazla tür ile temsil edilirler. Ülkemiz denizlerinde bol miktarda bulunurlar. Alginik asit açısından zengin olduğu için ekonomik bir gruptur. Tallus boyu 50 cm'den 150 cm'ye kadar olabilir. Tür mevsim ve

yetiştiği ortama göre %1,96-4,23 laminarin, %1,4-10,1 mannitol, %16-28,9 alginik asit, %9,3-16,4 ham protein, %9,7-14,6 ham selüloz, %0,71-0,84 ham yağ ve %24,3-42,0 ham kül içerir. Alginat endüstrisinde kullanılırken, hayvan beslenmesinde %5-10 oranlarında yem rasyonlarına katılabilir (Atay, 1978; İrkin & Erduğan, 2014).



şekil 8. *Cystoseira sp.* (Anonim, 2023i)

Sargassum

Atlas Okyanusunun “Sargasso Denizi” bölgesinde yaygın olduğu için bu ismi almıştır. Ayrıca Amerika, Florida, Batı Hint sahilleri ve Akdeniz’de de bulunur. Tallusu belirgin bir dallanma gösterir. Dallar zerindeki kısa sürgünlerde hava ile dolu keseler bulunur. Bu kist benzeri keseler yosunun yüzeyde yüzmesini sebep olur. Bu türler bir yere tutunarak ya da yüzerek yaşarlar. Genellikle ada benzeri kümeler şeklinde yüzen, deniz tabanına sabitlenmeyen esmer deniz yosunlarıdır. Bu yüzen yaşam alanı, balıklar, deniz kaplumbağaları, deniz kuşları, yengeçler, karidesler gibi birçok canlı için beslenme, yaşama ve üreme alanı sağlayabilir. Sargassum türleri suda asılı kalma kabiliyetini yitirdiğinde deniz tabanına ker ve denizin derin bölgelerinde yaşayan canlılara karbon şeklinde enerji sağlar. Bu sebeple denizin derin bölgelerindeki besin zincirine

önemli bir katkı sağlamış olur. *Sargassum*'un genç dalları Uzak Doğu' da insanlar tarafından tüketilirken, yem ve gübre amacıyla da kullanılır (Anonim, 2023j) (Şekil 9).



Şekil 9. *Sargassum* sp. (Anonim, 2023k)

Kırmızı deniz yosunları (Rhodophyceae)

Pek azı tatlı sularda, genellikle denizlerde yaşar. 30-60 m arasındaki derinliklerde bulunurlar ve derin deniz algi olarak bilinirler. 500 kadar cins, 4000 kadar tür içerir. Kırmızı kahve, kırmızı menekşe, zeytini yeşil ve esmer pembe renkte, çok hücreli, ipliksi veya farklı yüzeylere sahip sabit yosunlardır. Kırmızı deniz yosunlarının rengi fikosiyanin, fikoeritrin, klorofil a, klorofil d ve ksantofil pigmentlerinden kaynaklanır. Uzunlukları birkaç santimetreden bir metreye kadar çeşitlilik gösterir. Asimilasyon ürünü nişasta benzeri bir polisakkarittir. Hücre zarı; içi selüloz, dışı musilajlaşan pektinden oluşan iki tabakalı yapıdadır. Çeper kolaylıkla jel haline dönüşebildiği için sanayide geniş kullanım alanına sahiptir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Hint kırmızı deniz yosunları arasında *Catenella caespitosa* (eski adı *Catenella repens*), *Polysiphonia mollis* ve *Gelidiella*

acerosa bulunur. Japon kırmızı deniz yosunları ise *Porphyra sp.*, *Gelidium sp.* ve *Gracilaria sp.* türleridir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Agar ve karagenan, kırmızı yosunlardan elde edilen iki önemli bileşiktir ve kırmızı deniz yosunlarının karbonhidratları üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmı bu bileşikler üzerinedir. Kırmızı yosunlarda, galaktoz genellikle galaktan veya sülfirik asit ile sülfonize edilmiş halde agar-agar veya karagenan formunda bulunur (Atay, 1984).

Ekonomik değere sahip kırmızı deniz yosunları bangiales

Kırmızı deniz yosunlarının en basit yapıdaki türleri bu takım içerisinde yer alır. Tek veya çok hücreli, iplik benzeri, dalsız veya dallanmış filamentler şeklindedir. Çevresel koşullara uyum kabiliyeti yüksektir.

Bangiales, uzak doğu ülkelerinde ‘nori’ yapmak için kullanılır ve ayrıca tarımsal açıdan da önemli türleri içerir (Atay, 1978).

Porphyra

Ülkemizde Saroz Körfezi, İstanbul Boğazı yakınlarında 6 mil açığa kadar 12-82 m derinlikler arasında bulunur. Basit ve yapraksı olan tallus *Ulva*’ya benzer bir veya iki sıralı hücre dizisinden oluşur. %35.6 protein, %0.17 yağ, %44.3 karbonhidrat ve vitamin A, B, C içerir, şeker oranı (% 0,1) oldukça düşüktür (Yalçın, 2019). Yüksek protein içeriğiyle en besleyici deniz yosunları arasında yer alır ve bu proteinin yaklaşık %75’i sindirilebilir özelliktedir. Uzak doğu ülkelerinde ‘nori’ yapımında en çok kullanılan deniz yosunudur. B ve C vitaminleri ve mineraller bakımından oldukça zengindir. Çin’de C vitamini içeriği sebebiyle antiaskorbik olarak ve ayrıca

iyotça zengin olduğu için çeşitli hastalıkların (guatr hastalıkları gibi) tedavi sürecinde de kullanılmaktadır (Fleurence & Levine, 2016).

Birçok açıdan en değerli alglerin başında Porphyra gelmektedir (Şekil 10, 11). Porphyranın ekonomikliği ve sağlığa yararları sebebiyle birçok ülkede kullanımı yaygındır. Porphyra' nın 70'e yakın türü vardır, en fazla kullanılan tür *Pyropia yezoensis* (eski adı *Porphyra yezoensis*)' tir (Anonim, 2011; Yalçın, 2019).



Şekil 10. *Porphyra* sp. (Anonim, 2023l)



Şekil 11. *Nori (Porphyra)* (Anonim, 2023m)

Gelidiales

Üyelerinin bazılarının agar üretiminde kullanıldığı, sıcak ve ılıman denizlerde bulunan kırmızı su yosunu takımıdır. Yaklaşık 200'ün üzerinde tür ile temsil edilir (Atay, 1984).

Gelidium

Agar elde edilen kırmızı deniz yosunlarından olup sıcak ve ılıman denizlerde yayılım gösterir. 40 kadar türü vardır. Boyları 5-10 cm arasında değişen bu türler agar-agar üretiminde kullanılan en önemli kırmızı yosun cinsidir (Atay, 1984) (Şekil 12).

Gelidium crinale yuvarlak saplı tallus ve dik duran kısa iplik benzeri sürgünlerden oluşan; 3-8 cm uzunluğunda, kırmızımsı kahverenginde ve 20-100 cm derinliklerde görülebilen, Ege Denizi'nde bulunan bir türdür (Atay, 1984).



Şekil 12. *Gelidium sp.* (Anonim, 2023n)

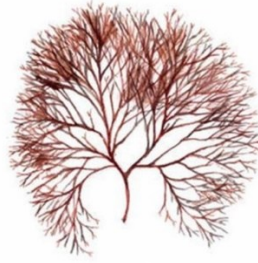
Ceramiales

Ülkemiz denizlerinden Akdeniz'de bulunan, bazı türleri agar üretiminde kullanılan ipliksi yapıda kırmızı su yosunu takımıdır (Atay, 1984).

Ceramium

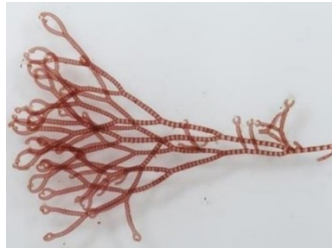
Pasifik Atlantik ve Akdeniz sahillerinde yaygın olarak bulunur ve agar-agar üretiminde oldukça fazla kullanılan kırmızı yosun cinsidir. Tallusun boyu türüne göre 5-10 cm arasında değişir.

-Ceramium virgatum (eski adı Ceramium rubrum); Tallusu dik bir şekilde, dikotom dallı ve dalların ucu çatallı olan Ege Denizi'nde 0.5-2 m. derinlikleri arasında bulunan bir türdür (Atay, 1984) (Şekil 13).



Şekil 13. *Ceramium virgatum* (Anonim, 2023o)

-Ceramium ciliatum; Tallusu sert ve demetsi bir yapıda, uzunluğu 5-10 cm olan ve dikotom dallı kahverengimsi gri renkteki, boğumlarında dikensi çıkıntılar bulunan dalları ile karakterize edilir. Ege Denizi'nde 0.5-2 m derinliğinde büyük alglerin üzerinde görülür (Atay, 1984) (Şekil 14).



Şekil 14. *Ceramium ciliatum* (Anonim, 2023p)

-*Ceramium deslongchampsii*; Tallusu dikotom dallı, uzunluğu 4-8 cm, kısa yan dalları olan Ege Denizi'nde 1-15 m derinliğinde bulunan bir türdür (Şekil 15).



Şekil 15. *Ceramium deslongchampsii* (Anonim, 2023r)

-*Corallophila cinnabarina* (eski adı *Ceramium cinnabarinum*); Tallusu dikotom ve trikotom şeklinde dallanan, uzunluğu 3-6 cm, belirgin kırmızı renkte ve şerit benzeri yapıda olan Ege Denizi'nde 0.5-1.5 m derinliğinde bulunan bir türdür (Atay, 1984) (Şekil 16).



Şekil 16. *Corallophila cinnabarina* (Anonim, 2023s)

Gigartinales

Chondrus (Deniz Kadayıfı)

Atlas Okyanusu'nda yaygın olan kırmızı deniz yosunudur. Tallusu şeridimsi, dalları geyik boynuzunu andırır. Karragenan üretiminde kullanılır. İrlanda yosunu ve karragenan yosunu olarak

da isimlendirilir. En bilinen türü *Chondrus crispus*'tur (Atay, 1984) (Şekil 17).



Şekil 17. *Chondrus crispus* (Anonim, 2023t)

Gigartina

Ege Denizi, Batı Avrupa, Güney Afrika, Atlas Okyanusu ve Avustralya'da yaygın olan; tallusu boru şeklinde ve geyik boynuzunu andıran kırmızı bir deniz yosunudur. Karragenan eldesinde kullanılır. En çok tüketilen türleri *Gigartina mammillosa* ve *Mastocarpus stellatus*'dur (Atay, 1984) (Şekil 18, 19).



Şekil 18. *Gigartina mammillosa* (Anonim, 2023u)



Şekil 19. *Mastocarpus stellatus* (Anonim, 2023v)

Rhodymeniales

Rhodymenia

Akdeniz ve Avrupa sahillerinde görülür. Tallus kısa saplı ve şeritimsidir. Taban kısmında rizoidleri bulunan, dikotom dallı, gül kırmızısı renkteki deniz yosunudur (Atay, 1984).

Gracilaria

Dünyanın her yerine yayılmış bir yosundur. Tropik ve Antarktik alanlarda dahi yaşayabilmektedir. 0.5 ile 10 m derinliklerde, çamurlu ve kumlu ortamlarda bulunurlar. Agar-agar elde edilen önemli bir kırmızı yosun grubudur. Tallusu yaklaşık 50 cm kadardır ve düzensizce çıkan yan dallardan oluşur. En bilinen türü *Gracilariopsis longissima*'dır.

-*Gracilariopsis longissima*; Ege Denizi'nde yaygın olarak bulunur. Yuvarlak talluslu, uzunluğu 5-30 cm, 1-2 m derinliğinde gölgeli alanlarda bulunan türdür (Atay, 1984) (Şekil 20).



Şekil 20. *Gracilariopsis longissima* (Anonim, 2023y)

Yeşil Su Yosunları (Chlorophyceae)

Yeşil yosunlar, okyanuslarda ve tatlı sularda, tropikal alanlarda yoğun olarak bulunurlar. Ekonomik değerleri çok fazla olmamakla birlikte bazı türleri Uzakdoğu’da insan tüketiminde kullanılmaktadır (El-Beltagi & ark., 2022).

Yeşil su yosunları, kromotoforlarında bulunan klorofil a, b, β karoten ve ksantofiller gibi pigmentler sayesinde yeşil renkte görünür ve fotosentez sonucu oluşan ürünü genellikle nişasta olarak depolar (Cirik ve Cirik, 2004). Klorofil, fotosentezde ve çeşitli biyolojik işlevlerde önemli bir rol oynar (Lomartire & Gonçalves, 2022). Yeşil algler, sığ su yolları ve gelgit havuzları gibi yoğun ışık alan bölgelerde yaygın olarak bulunurlar (El-Beltagi & ark., 2022).

Boyut olarak kırmızı deniz yosunlarına benzerler (Lomartire & Gonçalves, 2022). Ancak mikroskobik üyeleri olduğu gibi gelişmiş gövdeye sahip, makroskobik üyeleri de oldukça fazladır (Cirik & Cirik, 2004). Hücre zarları selülozdan yapılmış ve dış kısmı pektin tabakasıyla kaplıdır. Kloroplastları çeşitli şekillerde (kadeh, şerit, disk, kol düğmesi, halka, ağ, spiral, yıldız vb.) olabilir ve sayıları bir veya daha fazla olabilir. %10’u denizlerde, %90’ı tatlı sularda yaşar (Atay, 1984). Bazı yeşil algler karasal ortamlarda yetişir, yani toprakta, ağaçlarda veya kayalarda bulunurlar.

Yeşil alglerin karbonhidratları ekonomik olarak önem taşımamaktadır ve yapı bakımından kara bitkilerine daha çok benzemektedir. Yeşil deniz yosunlarında karbonhidratlar amilopektin ve amiloz olarak depolanır, yapı taşları ise L-arabinoz, D-ksiloz, L-glikoz, D-galaktoz ve D-glukoronik asittir (Atay, 1984).

Ekonomik Değere Sahip Yeşil Deniz Yosunları

Ulva (Deniz Marulu)

Deniz marulu olarak da bilinen bu yosunlar Karadeniz kıyılarında doğal olarak bulunmaktadır ve azot, fosfor gibi besleyici elementlerin yoğun olduğu sığ ve kayalık bölgelerde dağılım gösteren kozmopolit bir türdür. Stresli koşullara ve tuzluluğa dayanıklı olan bu tür hem tuzlu hem acı sularda bulunabilmektedir. Protein, vitamin ve mineral miktarı açısından zengindir (Zhang & ark., 2022). Bu deniz yosunu, 30 cm'den uzun olabilir ve 4-10 cm genişliğindedir. Koyu yeşil renklidir, renksiz rizoidlerle yüzeylere tutunur. Akdeniz ülkelerinde ve Asya'da salata olarak tüketilir ve omnivor ile herbivor balıklar için besin kaynağıdır. Denizden toplanıp kurutularak rasyonlara %10 oranında eklenebilir. Denizin kıyı bölgelerinde, kirli sularda yüzeye yakın alanlarda yoğun olarak bulunur. En önemli türü *Ulva lactuca*'dır (Atay, 1984) (Şekil 21).



Şekil 21. Ulva lactuca (Anonim, 2023z)

Enteromorpha

Bu grup, 10 cm'den uzun, 1 cm eninde tüpsü yapıda olup, kloroplastlı ve kalın duvarlı hücrelerden oluşan boş bir gövdeye sahiptir. Koyu yeşil renkte olan bu bitki, yavaş akan nehir ve kanallarda, tatlı, acı sulara ve denizlerde büyük bitkilere tutunarak yaşar. Özellikle Akdeniz ve Karadeniz’de sık görülür (Atay, 1984) (Şekil 22).



Şekil 22. *Enteromorpha* spp. (Anonim, 2023aa)

Monostroma

Tallusu yapraksı ve çok ince, tek sıralı hücre tabakasından oluşur. Japonya’da denizde üretilip "Aonari" adıyla besin olarak satılmaktadır. Sığ denizlerde yetiştirilir (Atay, 1978).

Gayralia kuroshiensis (eski adı *Monostroma kuroshiense*) adlı bir yosun türü (Şekil 23), Doğu Asya ve Güney Amerika’da ticari olarak yetiştirilen ve popüler suşi rulolarında kullanılan yenilebilir ürün "hitoegusa-nori" veya "hirohano-hitoegusa nori" olarak bilinir. Monostroma cinsi, yeşil deniz yosunları arasında en yaygın olarak yetiştirilen türlerden biridir (Anonim, 2021b).



Şekil 23. *Gayralia kuroshiensis* (Anonim, 2023ab)

Deniz Yosunlarının Kullanım Alanları

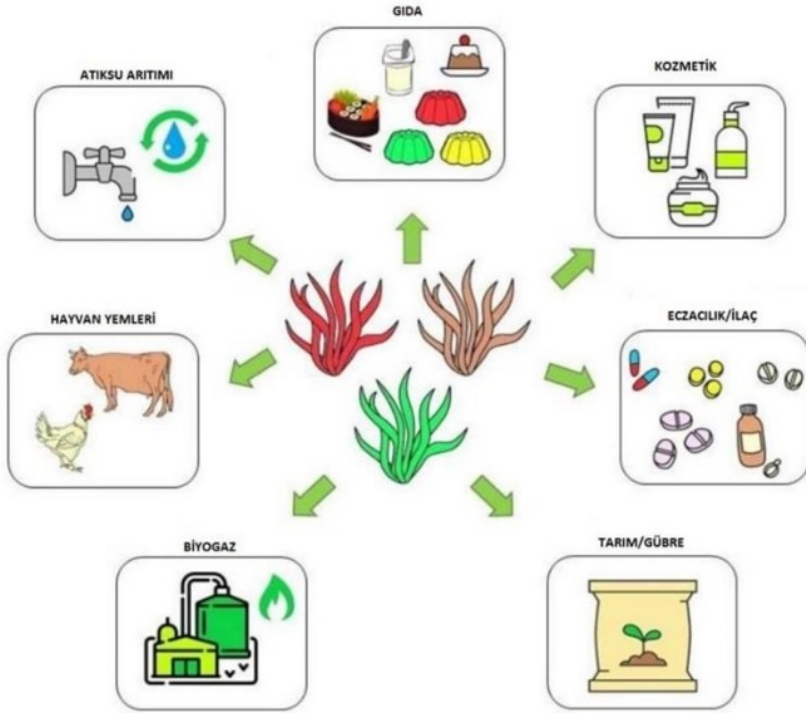
Deniz organizmaları, potansiyel olarak üretken kaynaklar olup, yeni farmasötik ajanların geliştirilmesinde faydalı öncülleri temsil edebilecek yüksek düzeyde biyoaktif ikincil metabolitlerin kaynağıdır. Son yıllarda, birçok yeni bileşik deniz organizmalarından izole edilmiş ve bu bileşiklerin çoğunun çeşitli biyolojik aktivitelere sahip olduğu belirlenmiştir (El Gamal, 2010).

Deniz yosunlarının birçok kullanım alanı vardır. İnsan gıdalarında, yemlerde, ilaçlarda, kozmetikte, gübrelerde, endüstriyel agar ve alginat biyosentezinde ve daha birçok alanda kullanılmaktadırlar (Şekil 24).

Deniz algleri, çeşitli organizmalar için oksijen, besin kaynakları ve barınak sağlamakla sorumludur, bu nedenle ekosistemin temel bir bileşeni olarak kabul edilirler (Lomartire & Gonçalves, 2022).

Kahverengi, kırmızı ve yeşil algleri içeren deniz yosunları, proteinler, lipidler, karbonhidratlar ve diğer biyoaktif bileşikler gibi çok sayıda molekül üretir ve bunlar çeşitli uygulamalarda kullanılır (örneğin, tarımsal, kozmesötik, farmasötik ve biyo-teknolojik) (Ren & ark., 2022).

Çeşitli deniz yosunları, biyoteknolojik uygulamalar için potansiyel adaylar olarak değerlendirilmektedir. Ekstrem koşullara uyum sağlamaları savunma mekanizmalarını artırır, böylece deniz yosunlarının zorlu koşullarda bakımını sağlayan bileşikler, hastalıklarla mücadele için farmasötik biyo ürünlerin geliştirilmesini sağlayabilir (Lomartire & Gonçalves, 2022).



Şekil 24. Deniz yosunlarının kullanım alanları (Anonim, 2023ac)

Alglerin Gıda Alanında Kullanımı

Yağ içerikleri düşük, aminoasit çeşitliliği baklagillere benzeyen, vitamin ve minerallerce yüksek olan deniz yosunlarının

karbonhidrat sindirilebilirliği %50 civarındayken, bazı yosun türlerinde proteinlerin sindirilebilirliği yaklaşık %80'e kadar çıkabilir (Ak, 2015). Yapısal polisakkaritlerinin çoğu, insanlar tarafından sindirilemediği için lif olarak kabul edilebildiğinden, deniz yosunları iyi bir diyet lifi kaynağı olarak kabul edilir. Deniz yosunları, yüksek diyet lifi içeriği sebebiyle potansiyel bir prebiyotik kaynağı olarak değerlendirilebilir (Polat & ark., 2021). Ülkemizde tüketimi çok fazla tercih edilmeyen yosunlar, taze bir şekilde veya kurutularak tüketilebilmektedir. Bazı deniz yosunları fırınlandığında (nori, wakame ve dulse gibi) gevrek kıvamına gelip, damakta oldukça yoğun bir tat bırakmaktadır. Bazı aromalarla karıştırılıp yenilebildiği gibi baharat olarak salata ve çorbalarda kullanılabilir (Ak, 2015). Asya bölgeleri, özellikle Çin, Japonya ve Kore gibi ülkelerde, yosunlar besinsel faydaları nedeniyle eski çağlardan beri bütün bir gıda veya besin kaynağı olarak tüketilmiştir (Lomartire & Gonçalves, 2022). İnsan gıdası olarak da tüketilen Gelidium, Ulva, Polysiphonia, Rhodymenia, Porphyra, Laurencia adlı makro algler denizlerimizde de bulunmaktadır (Ak, 2015).

Deniz yosunlarından elde edilen ve gıda endüstrisinde en sık kullanılan hidrokolloidler, alginatlar, ağarlar ve karragenanlardır (El-Beltagi & ark., 2022).

Gıda Katkı Maddesi Olarak Makro Alglerin Kullanımı

Gıda ürünlerine stabilite kazandırmak için kullanılan kıvam arttırıcılar ve jelleştiriciler, makro alglerden elde edilerek gıda sanayiinde yaygın olarak kullanılır. Kıvam arttırıcılar suyla birleşerek yüksek viskoziteye sahip bir yapı oluştururken, jelleştiriciler dayanıklı, akışkan ve jölemsi bir doku meydana

getirirler. Makro algler; karragen, agar ve alginat gibi endüstriyel polisakkaritlerin kaynağıdır (Ak, 2015).

Agar-agar

Agar, agarozdan ve daha küçük moleküllerin (agaropektin) heterojen kombinasyonundan oluşan bir fıkokolloid türüdür ve ayrıca kırmızı deniz yosunlarından (*Gracilaria sp.* ve *Gelidium sp.*) ekstrakte edilen bir polisakarittir. Agar, ABD ve Avrupa'da yaygın olarak önerilen bir gıda katkı maddesi (E406) olup, insanlarda gastrointestinal sistemde α/β -agaraz eksikliği nedeniyle sindirilemez. Agar, antitümör etkileriyle bilinir, oksidatif stresi azaltabilir ve insan vücudundaki kan şekeri seviyelerini düşürebilir, bu nedenle önemli bir biyolojik aktiviteye sahip olarak kabul edilir (Çaklı, 2008).

Üretilen agarın %58'i jelleşme özelliği sebebiyle gıda sektöründe kullanılırken, %28'lik kısmı mikrobiyolojik (besi yeri) ve biyoteknolojik (kapsül yapımı) uygulamalarında ve %14'ü ise eczacılıkta jel oluşturmak, ilaçlara istenilen şekli vermek amacı ile kullanılmaktadır (Çaklı, 2008). Agar, genellikle et ve balık konservelerinde kaplama jeli olarak kullanılırken, yüksek sıcaklık direnci nedeniyle kek dolgu ve krema gibi pastacılık ürünlerinde de yaygın şekilde tercih edilir. Ayrıca, fırıncılık ürünlerinde su aktivitesini kontrol etmek ve bayatlamayı geciktirmek için kullanılır. Stabilize edici özelliği sayesinde eritilmiş peynirlerde ve durultma maddesi olarak meyve sularında da kullanılır. Ayrıca şekerleme jöleleri, marshmallow, nuga ve şekerleme gibi ürünler üretmek için de jelleştirici bir madde olarak kullanılabilirken; sosis, rosto domuz ve domuz pastırması gibi tüketilmeden önce ısıtılması gereken yemeklerin üretiminde de yaygın bir şekilde gıda katkı maddesi

olarak kullanılır (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021; Ak, 2015). Agar sıvı jelleri, çırpılmış tatlılarda yağın yerini alarak çok iyi stabiliteye sahip köpükler elde etmek için kullanılabilmektedir. Peynir, krema ve yoğurt gibi süt ürünlerinde dokuyu geliştirmek için kullanılması ve buz ve şerbetlerin işlenmesinde stabilizatör olarak kullanılması gibi çeşitli uygulamaları gıda endüstrisinde bulunmaktadır. Agar-agar alkol endüstrilerinde şaraplar, özellikle erik şarapları için berraklaştırıcı bir madde olarak kullanılır (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021; El-Beltagi & ark., 2022).

Alginat

1881 yılında algin'i keşfeden Stanford, Laminariaceae makro algleri ile işlenen sodyum karbonatın alginik asit adı verilen viskoz çözeltiyi ürettiğini bulmuştur. Alginler, kahverengi deniz yosunlarından elde edilen ve kuru ağırlıklarının %10 ila %30'unu oluşturan bileşiklerdir. Ticari olarak kullanılan alginatlar *Ascophyllum nodosum*, *Sargassum turbinarioides*, *Macrocystis pyrifera*, *Ecklonia maxima*, *Lessonia nigrescens* ve *Durvillaea antarctica* gibi deniz yosunlarından elde edilmektedir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021). Ülkemiz denizlerinde *Cystoseira* ve *Sargassum* türlerinden alginat elde etmek mümkündür (Ak, 2015).

Elde edilen alginatın sadece %20'si gıda katkı maddesi olarak, %80 ise diğerk endüstri alanlarında kullanılmaktadır. Alginatlar film tabakası oluşturma ve su tutma özellikleriyle meyveli pasta kaplamalarında %0,3-0,5 oranında kullanılırken, ayrıca dondurma üretiminde düzgün şekil ve hacim artışı sağlamasıyla beraber buz kristallerinin oluşumuna da engel olmaktadır. Ayrıca bu stabilizatörlerin krem peynir, kremşanti, peynir ve ekşi kremalarda kullanımı yaygındır. Bu maddeler et ve balık ürünlerinin

oksidasyonunu önler ve depolama aşamasında buharlaşma sonucu oluşan kayıpları minimuma indirmek için film oluşturucu bir madde olarak kullanılmaktadır (Ak, 2015).

Alginatlar agar gibi, gıda endüstrisinde buzlu şekerlemelerin stabilizasyonunda ve sosis üretiminde, koyulaştırıcı maddeler ve jel oluşturucu maddelerin üretiminde kullanılır (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021). Alginatlar, diğer hidrokolloidlerden farklı olarak, ısı veya sıcaklıktan bağımsız erimeyen, soğukta sertleşen ve donmaya veya çözölmeye dayanıklı jeller oluşturulmasına imkan tanıyan özellikleriyle öne çıkar (El-Beltagi & ark., 2022). Ayrıca tüm esmer alglerden elde edilen alginat, vücutta biriken radyoaktif maddeleri tutup vücut dışarı atabilen tek maddedir (Kaba & Çağlak, 2006).

Karragenan

Chondrus crispus ve *Kappaphycus sp.* gibi kırmızı alglerden elde edilen, sırasıyla %71 ve %88 oranlarında karragenan içeren lineer yapıdaki bir polisakkarittir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021). Bu maddenin %90'ı gıda ve kozmetik sektöründe kullanılırken, % 10'u hayvan yemlerinde değerlendirilmektedir (Ak, 2015).

Karragenan, peynir ve çikolatalı süt gibi ürünlerde sıklıkla kullanılarak, bu ürünlere koyulaştırma, jelleştirme, stabilize etme ve güçlü protein bağlama özellikleri kazandırır. Süt proteinlerini olağanüstü bir şekilde bağlama yeteneği nedeniyle süt ürünlerinde düşük dozlarda kullanılmıştır.

Bu hidrokolloid, süt katılarını askıda tutma ve bu nedenle onları stabilize etme yeteneğine sahiptir (El-Beltagi & ark., 2022).

Et endüstrisi, genellikle Eucheuma tarafından üretilen karragenanı kullanmaktadır. Bu madde, su tutma özellikleri nedeniyle hamburger, jambon, deniz ürünleri ve kümes hayvanları gibi ürünlerin üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Karragen aynı zamanda gıda katkı maddesi olarak konserve gıdalar, salata sosları, pasta ve fırıncılık ürünlerinde dolgu maddesi, hazır tatlılarda ve dondurmalarda stabilizatör olarak, evcil kedi-köpek konserve mamalarında kullanılmaktadır (Ak, 2015). Aynı zamanda meyve jelleri, jöle, meyve suları ve marmelat gibi sıvı jellerde de bulunup; dondurulmuş gıdaların yapısal ve dokusal stabilitesinde kriyokoruyucu (dondurarak koruyan) ajanlar olarak da önemli bir rol oynarlar (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021; El-Beltagi & ark., 2022). Ayrıca bira, şarap ve bal gibi ürünlerde berraklaştırıcı olarak kullanımı da oldukça yaygındır (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Karagenanlar, Gigartinales (Rhodophyta) takımından *Chondrus crispus*, *Sarcothalia crispata*, *Sarcopeltis skottsbergii* (eski adı *Gigartina skottsbergii*), *Kappaphycus alvarezii*, *Eucheuma denticulatum*, *Mastocarpus stellatus*, *Betaphycus gelatinus*, *Hypnea musciformis*, *Mazzaella laminarioides* dahil olmak üzere birçok karragenofitten elde edilir (El-Beltagi & ark., 2022).

ABD, karagenan üretiminde dünyanın en büyük üreticisidir (Çaklı, 2008). Karragenanların elde edildiği *Gigartina* türleri ülkemiz denizlerinde bulunup ve ticari amaçla da yetiştiriciliği yapılması durumunda hammadde olarak yoğun olarak kullanılabileceği öngörülmektedir (Ak, 2015).

Alglerin Tarım ve Hayvancılıkta Kullanımı

Deniz yosunları ilk zamanlarda yalnızca gübre amaçlı kullanılmıştır. Toprağı havalandırma ve nem tutma özellikleri, çiftlik gübresinde olduğu gibi azotça zengin olmaları, makro ve mikro besin maddelerince zengin olmaları nedeniyle deniz yosunları, birçok yerde gübre şeklinde değerlendirilmektedir. Deniz yosunu özütlerinin, tohumların oluşumu ve çimlenmesi, bitki büyüme verimliliğini arttırması, köklenme, çiçeklenme, meyve ve ürün verimi, hasat sonrası raf ömrünün artması, hastalıklara ve zararlılara karşı dayanıklılık gibi faydalı etkileri bulunmaktadır (Polat & ark., 2021; Ak, 2015).

Mineralce zengin olmaları ve sindirim sisteminde iyi emilimleri sebebiyle yosunlar hayvan yetiştiriciliğinde kullanışlı bir hammadde haline gelmiştir. Makro algin ve özütünün hayvan yemlerine doğrudan eklenmesiyle canlının bağırsak florasını değiştirdiği, süt ve et verimini ve büyüme performansını arttırdığı birçok çalışma ile belirtilmiştir (Farghali & ark., 2023; Ak, 2015). Yapılan çalışmalarda bazı ülkelerde büyük baş hayvanların yetersiz iyot alımı sebebiyle süt verimlerinde düşüş olduğu bilinmektedir. Hayvan yemlerine %3-7 arasında yosun eklenmesi ile vitamin ve mineral ihtiyaçlarının giderileceği bildirilmiştir (Ak, 2015).

Akuakültürde ise makro alglerin balık yemlerine ilavesi ile balığın kas dokusunda trigliserit ve protein düzeyinin yükseldiği, düşük yem dönüşüm oranına sahip olduğu, bağışıklığının ve sindirim oranının arttığı, balıkların ortama bıraktıkları azot düzeyinin düştüğü belirtilmiştir (Ak, 2015).

Evcil hayvanlarda ise bağıışıklık sistemlerini güçlendirmesiyle birlikte kaliteli ve parlak tüy oluşumuna etkisinin olduğu bildirilmiştir. Ülkemiz denizlerinde bulunan kahverengi yosunlardan *Cystoseria* yem sanayiinde kullanılabilecek makro alglerin başında gelmektedir (Ak, 2015).

Alglerin Balık Çiftliklerinde Kullanımı

Balık yetiştirme sistemlerinde, işletme maliyetlerinin yaklaşık %50'sinin balık yemlerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bu sebeple balık yemlerinde deniz yosunu, soya fasulyesinin besinsel ve ekonomik açıdan avantajlı bir ikamesi olarak kullanılabilir. Yeni araştırmalar, deniz yosunlarının balık yetiştiriciliği için umut verici bir besleme seçeneği sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu deniz yosunları, balık veya karides tanklarından atılan fazla besin maddelerini absorbe ederek, deniz kestaneleri ve/veya çift kabuklularla entegre edilerek kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, son zamanlarda geliştirilen bir teknolojidir. Bu entegrasyon, deniz yosunlarının balık veya karides kafeslerinden veya tanklarından boşaltılan besin açısından zengin atık suları temizleyerek yeni bir su yemi kaynağı oluşturmalarını sağlar. Ayrıca, su ürünleri atıklarından kaynaklanan çevre kirliliğini azaltır ve deniz yosunlarının ekosistemdeki değerini artırır. *Ulva sp.*, *Gracilaria sp.*, *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria digitata* ve *Sargassum sp.* dahil olmak üzere çeşitli deniz yosunları entegrasyon sistemlerinde su kültürü yem kaynakları ve metabolitleri olarak kullanılır (Farghali & ark., 2023).

Entegre multitrofik akuakültür sistemlerinde, yenmemiş yemden ve beslenen türlerin atılan atıklarından elde edilen besinlerin, ekstraktif türler için gıda haline gelmesi ve böylece genel üretkenliği artırırken çevreye besin salınımını da azalttığı avantajları

bulunurken, birden fazla türü (örneğin, deniz yosunu yetiştiriciliği ve çift kabuklu yumuşakça kültürü) entegre bir sistemde birleştirmenin önemli tesis ve ekipman mimarisi, üretmek ve ürünleri pazarlamak için ek yönetimler gerektiği bilinmektedir (FAO, 2022).

Deniz yosunlarının balık beslenmesinde kullanılmasının birçok balık türünün fizyolojik aktivitelerini, büyümelerini, lipid metabolizmalarını, karkas kalitelerini, hastalıklara karşı mücadelelerini ve stres tepkilerini geliştirdiği gözlemlenmiştir. Araştırmalar, deniz yosunu ile beslenen somon balıklarının daha iyi besin alımı, plazma antioksidan kapasitesi, büyüme performansı ve mitokondriyal solunum gösterdiğini ortaya koymuştur (Alçay & ark., 2017).

Deniz yosunları aynı zamanda bazı balıklar ve özellikle kabuklu deniz canlıları için ana yem ve barınma kaynağıdır. Balıklar yumurtalarını sudaki yosunlar üzerine bırakırlar. Balıkların larval sürecinde iyi bir korunma yeri ve besin kaynağı olan yosunlar; balıkların zooplanktonla beslenmesi aşamasında, zooplanktonun ana besin kaynağını oluşturur (Alçay & ark., 2017).

Akuakültürde yosunların kullanım avantajları ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Alglerin yemlere eklenmesinin balığın kas dokularında trigliserid ve protein miktarında artışa, balığın bağışıklık sisteminin gelişmesine, sindirim oranının artmasına ve ortama bırakılan azotun azalmasına sebep olduğu belirlenmiştir (Alçay & ark., 2017).

Yetiştirme tanklarına alglerin eklenmesiyle balıkların tankın duvarlarına çarparak zarar görmesi engellenmektedir. Algler

zooplankton ve larvaların primer besini olduğu için, tanktaki zooplankton miktarında artışa ve larvaların sindirim sistemlerinin gelişmesine yardımcı olmaktadır. Algler ekosistemde besin zincirinin içinde oldukça önemli bir yerde oldukları için akuakültürde balık ununun yerine kullanılabilecek alternatif bir üründür (Alçay & ark., 2017).

Alglerin Tıp, Eczacılık ve Dişçilik Alanında Kullanımı

Tarih boyunca, deniz yosunları Japonya'da (MÖ 13.000-300), Çin'de (MÖ 2.700), Mısır'da (MÖ 1.550) ve Hindistan'da (MÖ 300) insan sağlığı için potansiyel faydaları nedeniyle uzun süre tıbbi amaçlarla kullanılmıştır (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Deniz yosunlarının sağlık alanında yararı ve kullanımı oldukça fazladır. Yaraların iyileşmesinde, bağışıklığı arttırmada, yüksek ateşin düşürülmesinde, ağır metal zehirlenmelerinde, yüksek kolesterolün dengelenmesinde, damar tıkanıklıklarının tedavisinde, kan dolaşımının düzenlenmesinde ve cilt yenilenmesinde alglerden faydalanılmaktadır (Aktar & Cebe, 2010; Çaklı, 2008).

Mineral, düşük yağ, protein, zengin lif ve karbonhidrat içeriğinden dolayı *Ulva* türleri, kilo verme amacıyla da kullanılabilmektedir. Yosunların guatr tedavisinde, böbrek hastalıklarının iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. *Macrocystis pyrifera* türü zengin B12 vitamini içeriğinden dolayı anemide kullanılmaktadır (Aktar & Cebe, 2010; Çaklı, 2008).

Yosunlar başlıca fıkokolloidleri içerdiği için eczacılıkta kullanılmaktadır. Fıkokolloidlerin kolloid yapıcı etkisi sebebiyle vücutta ilaç emilimini etkiledikleri bilinmektedir. Karadeniz' de

mevcut olan *Phyllophora crista* (eski adı *Phyllophora nervosa*) tıp ve eczacılıkta fikokolloid kaynağı olarak kullanılmaktadır. Yosunlardan alınan alginatlar ilaç endüstrisinde hammadde ve yardımcı madde olarak kullanılır. Enjekte edilen ve oral ilaç şeklindeki bazı ilaçlarda, tabletlerde dolgu maddesi olarak, kremlerin homojenizasyonunda ve stabilitesinin sağlanmasında, emülsiyon, süspansiyon, losyon, pomat, sabun, şampuan, tampon, diş macunu ve pastil yapımında, bağırsakta kolayca çözünebilen ilaçların kaplanmasında kullanılırlar. Makro alglerden elde edilen alginatlar; flaster, sargı ve bandajların ana maddesini oluşturmaktadır. Son zamanlarda yosunlar, cildi yenileyici ve minerallerce zengin içeriğinden dolayı güzellik merkezlerinde “thallassoterapi” uygulamaları adı ile ülkemizde de kullanılmaktadır (Aktar & Cebe, 2010; Çaklı, 2008).

Dişçilik alanında alginatlar diş macunlarının hazırlanmasında, takma diş kalıplarının yapımında ve takma diş koruyucu maddelerinde, diş protezlerinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Aktar & Cebe, 2010; Çaklı, 2008).

Alglerin İlaç ve Kozmetik Sanayiinde Kullanımı

Alg dokularında, çok sayıda biyoaktif polisakkarit formu vardır. Bu kimyasallar genellikle kozmesötiklerde kullanılan nemlendirici ve antioksidan maddelerdir.

Agar, emülgatör ve dengeleyici olarak el losyonları, deodorantlar, fondötenler, peeling/ovma, temizleyiciler, tıraş kremleri, yaşlanma karşıtı bakımlar, yüz nemlendiricileri, losyonlar, sıvı sabunlar, akne tedavileri, vücut losyonları ve yüz pudrası gibi kozmetik ürünlerdeki nem içeriğini kontrol etmek için kremlerde kullanılan yaygın bir bileşendir (Ak, 2015).

Alginatlar yaygın olarak ilaçlarda ve kozmetiklerde jelleştirici maddeler olarak, koyulaştırıcılar, koruyucu kolloidler veya emülsiyon stabilizatörleri olarak kullanılır ve şelatlama özelliklerinden dolayı el jelleri ve losyonları, merhem bazları, pomatlar ve diğer saç ürünleri, diş macunları ve diğer ürünler için etkilidir. Aynı zamanda, dermatite karşı cilt koruyucu bir bariyer losyon elde etmek için de kullanılabilir. Bu tip krem, cilde daha fazla yapışan esnek filmler üretir ve güzellik maskeleri veya yüz bakım paketlerinde uygun bir bileşendir (El-Beltagi & ark., 2022). Yapılan çalışmalarda kremlerde kullanılan alginatların cilde hızlı buharlaşma özelliğinden dolayı cilde ferahlık ve rahatlama hissi verdiği belirtilmiştir. Tıraş köpüklerinde ve sabunlarda, sodyum alginat kayganlık sağlayarak, köpüksüz tıraş kremlerine yağlı bir özellik katmak, köpüklü tıraş köpüklerine ise köpüğün sürekliliğini sağlamak için kullanılır. Saç için kullanılan losyonlarda, alginat saça yayılarak parlaklık kazandırmakta ve saçın kolayca şekil almasını sağlamaktadır. Yapışkan özelliği sebebiyle yara bantlarının yapımında da sodyum alginattan faydalanılmaktadır (Ak, 2015).

Akıcı özelliği sebebiyle karragenler de ilaç ve kozmetik alanlarında çok kullanılan maddelerdir (Ak, 2015). Bu phycocolloid diş temizleme ürünlerinde, losyonlarda, saç ürünlerinde, ilaçlarda, güneş kremlerinde, tıraş kremlerinde, şampuanlarda, deodorantlarda, spreylere ve köpüklerde bulunur (El-Beltagi & ark., 2022). Su tutma özelliğinden dolayı diş macunlarındaki suyun bir kısmını tutar, güneş yağlarının ana maddelerini oluşturup, yüz maskelerinde ise emilimi arttıran maddeler olarak kullanılırlar. Karragenanlı deodorantlar ter kokularına sebep olan bakterilerin gelişimini engeller (Ak, 2015). Karragenan üretiminin %20' den

fazlası ilaç ve kozmetik endüstrilerinde kullanılmaktadır (El-Beltagi & ark., 2022).

Laminarinin kozmetik endüstrisindeki kullanımı, fiziksel özelliklerinden ziyade biyoaktif özelliklerine dayanmaktadır. Özellikle selülit karşıtı kozmetik ürünlerde sıkça bulunur ve bu bağlamda önemli bir bileşen olarak değerlendirilir (El-Beltagi & ark., 2022).

Fucoidanların, enflamatuar süreçleri azalttığı ve oral alındığında yaralanma veya cerrahi travma sonrası doku iyileşmesini hızlandırdığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, kas ve eklem yaralanmaları (örneğin spor yaralanmaları), düşmeler, morluklar, derin yaralar ve cerrahi operasyonlar gibi durumlarda önerilir. Bu sülfatlanmış polisakkaritler, antikoagülan, antitrombotik, antienflamatuar, ultraviyole radyasyona karşı cilt koruması, tirozinaz reseptörü, antikanser, antimikrobiyal, anti-obezite, antidiyabetik, antioksidatif ve antihiperlipidemik özellikleri içeren sayısız biyoaktiviteleri nedeniyle popülerlik kazanmaktadır (El-Beltagi & ark., 2022).

Ulvanların jel oluşturma özelliklerinin yanı sıra cildi nemlendirici, koruyucu, antikanser ve antioksidan, cilt yaşlanmasına karşı etkileri vardır (El-Beltagi & ark., 2022).

Deniz yosunu metabolitlerinin kozmetik ve dermatolojik uygulamalarda kullanımı son yıllarda artmış, kozmesötik özellikler açısından 50 kahverengi, 35 kırmızı ve 18 yeşil alg türünün potansiyel cilt bakım etkileri olduğu bildirilmiştir (Polat & ark., 2021).

Denizlerimizde kozmetik amaçla kullanılabilecek makro alg cinsleri; Porphyra, Gelidium, Hypnea, Halopteris, Stilophora, Sargassum, Cystoseira, Ulva, Enteromorpha, Codium, Gigartina, Gracilaria ve bunların türleridir (Ak, 2015).

Alglerin Endüstri Alanlarında Kullanımı

Alginat sıcak ortamda koagüle olmaması, soğuk ortamda jelleşmemesi, ıslatıldığında yumuşaması, kurutulduğunda ise sert hale gelmesi sebebiyle kağıt, deri, boya, plastik kauçuk, tekstil ve metalurji sanayiinde oldukça fazla kullanılmaktadır.

Kırmızı yosunlardan elde edilen agar ise genellikle mobilya sektöründe yapıştırıcı, film sanayiinde sıcaklığa karşı direnci arttırıcı, jelatini inceltici, deri sanayiinde deriye parlaklık ve sağlamlık kazandıran özelliği sebebiyle kullanılmaktadır (Ak, 2015).

Alginik asit, endüstriyel atık suların arıtılmasında kullanılırken, şeffaf renkte olmalarından dolayı boyalara kıvam vermek ve pigment içeriklerini muhafaza etmek amacıyla da yararlanılmaktadır. Doğal kauçuğa eklenerek, kauçuğun yumuşak olması sağlanır. Alginat kullanılan kâğıtların yüzeylerinde bir film katmanı oluşturup, mürekkebin dağılması ve su sızdırması engellenmiş olur. Bunların dışında, alginatlar inşaat alanında kullanılan beton karışımı için dolgu maddesi amacıyla da kullanılmaktadır. Karragen ise su tutma ve jelleşme özelliği ile ayakkabı cilalarının, oda kokularının, hava temizleyici jellerin, yangın söndürücülerinin içerisinde bulunmaktadır (Ak, 2015).

Algerin Enerji Üretiminde Kullanımı

Dünya nüfusunun hızlı artışı sonucu yetersiz kalan enerji ihtiyacını karşılamak için çevreye zararı olmayan, ekolojik dengeye pozitif anlamda etkisi olan yenilenebilir enerji kaynakları arayışı başlamıştır. Özellikle biyoyakıt üretiminde kullanılan bitkisel kaynaklar, fotosentezle atmosferdeki karbondioksiti dönüştürüp karbon döngüsünü sağladığı için, sera etkisini artırıcı yönde etki göstermezler. Yüksek büyüme hızına sahip olmaları, karasal bitkilere oranla daha yüksek biyoetanol üretme kapasitesine sahip olmaları, atmosferdeki karbon gazlarını azaltmaları, sebebiyle makro algler enerji alanında son yıllarda oldukça fazla tercih edilmeye başlamıştır (Ak, 2015).

Algerin Diğer Alanlarında Kullanımı

Deniz yosunu hidrokolloidleri, kristalleşmeyi engelleme, berraklaştırma, topaklaştırma, süspanse etme ve bulandırma ajanları gibi sayısız fonksiyonel özelliklerinden dolayı dondurma, bira, meyveli içecekler, pudingler, şarap, jöleli şekerlemeler ve diğer gıdalarda katkı maddesi olarak uygulanırlar (Polat & ark., 2021).

Karagenan, agar ve alginat gibi maddeler, yenilebilir kaplamalar, filmler, aktif ambalaj malzemeleri ve akıllı ambalaj malzemeleri üretmek için kullanılabilir (Polat & ark., 2021).

Deniz yosunu ve deniz yosunu özleri, biyobozunur biyoplastiklerin sentezlenmesinde giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu doğal biyoplastik ürünler, küresel plastik kirliliğini yılda 300 gigaton veya daha fazla azaltabilmektedirler. Deniz yosunu türevi bileşenlerin antimikrobiyal ve antioksidan özelliklerinin, suyun, ilaçların ve gıdaların raf ömrünü uzattığı

bilinmektedir. Birkaç endüstri, deniz yosununu yalnızca sağlıklı gıdalar ve takviyeler için değil, aynı zamanda gıdaları ve gıda özelliklerini koruyan çevre dostu ve sürdürülebilir ambalajlar için güvenli, geri dönüştürülebilir ve hijyenik ambalajlar için kullanmaya ilgi göstermiştir. Ancak, biyoplastiklerin sürdürülebilirliği ve geniş kapsamlı kullanımı için işletme ve diğer maliyetlerin azaltılmasına yönelik ek araştırmalar gereklidir (Farghali & ark., 2023).

Gıda endüstrisinde, deniz yosunu polisakkaritlerinin saflaştırılmasıyla çeşitli biyoplastik ürünler üretilmektedir. Bu biyoplastiklerin güvenli, toksik olmayan, üstün dayanıklılığa ve mekanik performansa sahip olduğu vurgulanmaktadır. Ek olarak, bu malzemeler biyolojik olarak parçalanabilir ve geri dönüştürülebilir özelliklere sahiptir, bu da onları çevre için sürdürülebilir, yeşil ve çevre dostu plastik alternatifler yapmaktadır (Farghali & ark., 2023).

Deniz yosunlarından elde edilip ekonomik olarak kullanılan agar, karragenan ve alginat dışındaki diğer biyoaktif bileşikler ise fukoidan, iyodin, funori, laminaran, mannitol, karotenoidler, florotannin, fucoxantin ve ulvan şeklinde sıralanabilir (Farghali & ark., 2023).

Fucoidan

Kylin 1915 yılında, kahverengi deniz yosunundan seyreltik asit ile elde edilen fukoidan terimini tanımlamıştır (Çaklı, 2008).

Fukoidan, *Ecklonia cava*, *Saccharina latissima* (eski adı *Saccharina longicuris*), *Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum* ve *Undaria pinnatifida* gibi kahverengi deniz yosunlarından elde edilir (Çaklı, 2008).

Fukoidan, kimyasal yapısında farklı miktarda sülfat grubu bulundurması nedeniyle önemli biyolojik aktiviteler içeren sülfatlanmış bir polisakkaritlerdir (Çaklı, 2008).

Kanın pıhtılaşmasını önleyici özelliği ile eczacılık alanında kullanılmaktadır (Çaklı, 2008).

Antikoagülan, immünomodülasyon, antikanser, antiviral, antikomplement, antitrombotik ve antiproliferatif etkileri vardır (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

İyodin (İyot ve iyot tuzları)

Birçok Hint ve Japon deniz yosununda, düşük moleküler ağırlıklı iyodat formunda (%83-86) bulunan ve insan sindirim sisteminde kolayca emilen iyot içeriği bulunduğu bildirilmiştir. *Saccharina japonica* (eski adı *Laminaria japonica*), *Ecklonia sp.*, *Sargassum fusiforme* (eski adı *Hizikia fusiformis*) ve *Undaria pinnatifida* gibi Japon deniz yosunları kuru maddede sırasıyla 145, 315, 60 ve 5.7 mg/100 g iyot içeriğine sahip olduğu kaydedilmiştir.

İyot, tiroid hormonlarının sentezi için zorunlu bir mineraldir ve aynı zamanda antioksidan ve antiproliferatif özellikleriyle kanser ve kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde rol oynar (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021). Genellikle iyot üretiminde kahverengi algler kullanılıp, kırmızı yosunlar daha az kullanılmaktadır (Çaklı, 2008).

Funori (Funoran)

Funori kırmızı alglerden elde edilen, agar agar ile benzer yapıda olan, kâğıt ve tekstil endüstrisinde yapıştırıcı özelliğinden yararlanılan bir maddedir. Agardan farkı, funorinin sülfat ester grubu

içermesidir (İrkin, 2020). Ayrıca eczacılık alanında funorinin kan pıhtılaşmasını önleyici özelliği bulunmaktadır (Çaklı, 2008).

Laminaran

Sırasıyla *Laminaria hyperborea* (eski adı *Laminaria cloustonii*) ve *L. digitata*'dan elde edilen bir "çözünür laminaran" ve bir "çözünmez laminaran" olmak üzere iki tür laminaran vardır; ikincisi sıcak suda çözünür. Kanın pıhtılaşmasına karşı kullanımı ve kolesterolü düşürmesi üzerine çalışmalar vardır (Çaklı, 2008). Laminaranın biyolojik aktivitesi, antitümöral etkileri, anti-apoptotik etkileri ve immünomodülatör özellikleri içermektedir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Mannitol

Mannitol, ilk kez 1884 yılında Stenhouse tarafından kahverengi deniz yosunlarından elde edilen bir asiklik heksanoldür olarak tanımlanmıştır. Kahverengi deniz yosunları genellikle kuru ağırlıklarının %20 ila %30'u arasında mannitol içerirken, yeşil ve kırmızı deniz yosunlarında bu oran değişiklik gösterir. Mannitol, örneğin *Laminaria sp.*, *Sargassum pacificum* (eski adı *Sargassum mangarevense*) ve *Turbinaria ornata* gibi çeşitli deniz yosunlarından izole edilebilir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021). Tabletlerin ve diyabetik ürünlerin üretiminde, sakız ve pudra yapımında kullanılır (Çaklı, 2008).

Karotenoidler

Deniz yosunlarının (kırmızı, yeşil ve kahverengi) sınıflandırılmasında temel olarak tetraterpenoidler olarak kabul edilen karotenoidler, metabolizmaları ve işlevlerine bağlı olarak birincil ve ikincil olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Birincil

karotenoidler, deniz yosunlarının fotosentez süreçlerine yapısal ve işlevsel olarak katkı sağlayan bileşenlerdir. Öte yandan, ikincil karotenoidler ise özellikle belirli çevresel şartlar altında karotenogenez yoluyla sentezlenen ekstra-fotosentetik pigmentlerdir. α -karoten, β -karoten, violaksantin, neoksantin, fukoksantin, zeaksantin ve lutein birincil karotenoidler arasında yer alırken, ikincil karotenoidler arasında astaksantin, kantaksantin ve ekinenon bulunmaktadır. Karoten, A vitamini için bir öncü olarak kabul edilir ve gece körlüğünü ve katarakt riskini azaltmanın yanı sıra glikoprotein oluşumuna, epitel dokulardan mukus salgılanmasına, hücre farklılaşmasına, vücut ve kemiklerin genel gelişimine ve üreme süreçlerine katkıda bulunur. Karotenoidler, çeşitli fonksiyonel aktivitelere sahip önemli bileşiklerdir; antioksidan aktivite ile bağışıklık sistemi desteklemesi gibi işlevler gösterirler. Ayrıca, kardiyovasküler hastalıklar, inflamasyon, yaşa bağlı kas hastalıkları, kanser, obezite ve nörolojik hastalıklar gibi kronik hastalıkların riskini azalttığı bilinmektedir. Birincil karotenoidler içeren deniz yosunları arasında yaygın olarak bulunan türler arasında *Fucus sp.*, *Undaria pinnatifida*, *Sargassum sp.*, *Sargassum fusiforme* (eski adı *Hizikia fusiformis*) ve *Saccharina japonica* (eski adı *Laminaria japonica*) yer almaktadır (Kumar, Tarafdar & Badgular, 2021).

Florotannin

Florotanninler, kahverengi deniz yosunlarından elde edilen bir tanen sınıfıdır. Farklı kahverengi deniz yosunlarından *Gongolaria usneoides* (eski adı *Cystoseira usneoides*), *Pelvetia canaliculata*, *Ascophyllum nodosum*, *Fucus spiralis*, *Gongolaria nudicaulis* (eski adı *Cystoseira nudicaulis*), *Fucus vesiculosus*, *Saccharina*

longicruris ve *Ericaria selaginoides* (eski adı *Cystoseira tamariscifolia*) sentezlenen çeşitli florotannin bileşikleri kaydedilmiştir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Bu maddenin antimikrobiyal, antioksidan, antienflamatuar, antidiyabetik, anti-HIV ve antialerjik gibi çeşitli terapötik etkileri bildirilmiştir (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Fucoxanthin

Fucoxanthin, polien hidrokarbon zincirinde alenik bağ ile birleşmiş oksijenik ve karboksil grupları içeren bir karotenoid-ksantofildir ve yüksek antioksidan aktivite sağlar. Ayrıca, diğer bitki karotenoidlerinden farklı olarak kararlı bir fukoksantin-klorofil-protein kompleksi oluşturmak için klorofil ve proteinlerle etkileşir. Kahverengi deniz yosunlarından, *Undaria pinnatifida*, *Sargassum fusiforme*, *Sargassum fulvellum*, *Saccharina japonica*, *Padina tetrastrum*, *Sargassum siliquastrum*, *Turbinaria turbinata* ve *Sargassum plagiophyllum* fukoksantininde elde edildiği yaygın türlerdir. Fukoksantin-klorofil-protein kompleksi, antioksidan, antienflamatuar, antikanser, antiobezite ve antidiyabetik özellikleri vardır (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Ulvan

Ulvan yeşil deniz yosunundan (*Ulva lactuca* ve *Ulva rigida*) ekstrakte edilen sülfat içeren bir polisakkarittir. Ulvan, çok sayıda oligosakkarit tekrar eden yapısal birim içerir. Ulva'nın çeşitli biyolojik etkilere sahip olduğu bilinmektedir, bunlar arasında antihiperlipidemik, antiviral, antitümör, antikoagülan ve antioksidan aktiviteler bulunmaktadır. Antioksidan aktivitesi ise sülfatlı

polisakkaritlerin konsantrasyonuna bağımlıdır (Kumar, Tarafdar & Badgujar, 2021).

Yenilebilir Algler

İnsan beslenmesinde ihtiyaç duyulan birçok besin bileşimini bünyesinde barındıran, uygun koşullarda ağırlıklarını yaklaşık 2-3 katına kadar arttırabilen, kolay üretilen, ortamdaki atık maddeleri besin olarak kullanarak çevre dostu canlılar olarak tanımlanan alglerin ilerde artan beslenme ihtiyacını giderebilecek önemli bir besin potansiyeli taşıdığı düşünülmektedir (Alçay & ark., 2017).

Su ürünleri tüketimi ülkemizde genellikle balık ile sınırlı iken dünyada birçok ülkede algler geleneksel olarak tüketilen yemeklerin önemli bir kısmını oluşturur. Dengeli bir beslenme için yüksek besin unsurları içerip, karasal kökenli gıdalarla kıyaslandığında iz elementler ve mineralleri yüksek düzeyde bulundurmaktadır. Ülkemizde deniz yosunu tüketimini yaygınlaştırmak amacıyla farklı gıda işleme metotları denenip, değişik menüler oluşturulabilir (Alçay & ark., 2017) (Tablo 4).

Uzak Doğu ülkelerinde özellikle Japonya’ da deniz yosunu insan gıdası olarak gündelik yiyeceklerde, balık, et, sebze ve tahılların arasında çeşitli yosunlarda yer alıp, oldukça fazla değerlendirilmektedir. Porphyra, Laminaria ve Undaria en çok tüketilen yosunlardır (Atay, 1978).

Yosunlar denizden hasat edildikten sonra taze olarak nadiren yenilip, genellikle güneşte veya suni olarak kurutulduktan ve şekil verildikten sonra pazarlanmaktadır (Atay, 1978).

Deniz yosunlarının insan beslenmesinde değerlendirilmesi diğer gıdalardan farklıdır. Deniz yosunlarının karbonhidratları, mannoz, galaktoz ve agaroz gibi insanlar tarafından kolayca sindirilemeyen karbonhidratlardan oluşmaktadır. İnsanlarla yapılan denemelerde deniz yosunları karbonhidratlarının nişastanın üçte biri ile üçte ikisi oranında sindirildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle deniz yosunları iyi bir enerji kaynağı değildir (Atay, 1978).

Deniz yosunları çeşitli mineral maddeleri kapsamakta ve miktarları insan beslenmesine uygun düzeyde olup, özellikle iyotça yetersiz bölgeler için önemli bir besin kaynağı oluşturmaktadır Atay, 1978).

Tablo 4. Dünyada tüketilen bazı yosunlar (Alçay & ark., 2017)

Genel İsmi	Tüketilen Ülke	Bilimsel Ad
Kombu/Konbu, Dashima, Hai dai, Kelp, Oarweed, Tangleweed, Sea Girdle, Sea Tangle, Sea Ribbon	Japonya, Kore, Çin	<i>L. digitata</i> , <i>S. japonica</i> , <i>Saccharina longissima</i> (eski adı <i>L. longissima</i>), <i>Saccharina angustata</i> (eski adı <i>L. angustata</i>), <i>Saccharina cichorioides</i> (eski adı <i>L. coriacea</i>), <i>Saccharina japonica</i> (eski adı <i>L. ochotensis</i>)
Nori, Mor Laver	Japonya, Kore, Çin	<i>Porphyra umbilicalis</i>
Aonori veya Yeşil Laver	Japonya, Kore Cumhuriyeti	<i>Monostroma</i> , <i>Enteromorpha</i> , <i>Ulva spp.</i>
Laver	İrlanda	
Wakame	Japonya, Kore, Çin	<i>Undaria pinnatifida</i>
Limu kohu	Havai	<i>Asparagopsis taxiformis</i>
Limu kala	Havai	<i>Sargassum aquifolium</i> (eski adı <i>Sargassum echinocarpum</i>)
Limu wawaeiole	Havai	<i>Codium sp.</i>
Limu huluhuluwaena	Havai	<i>Grateloupia filicina</i>
Limu palahalaha	Havai	<i>Ulva spp.</i>
Limu manaua	Havai	<i>Gracilaria coronopifolia</i>
Limu ‘ele‘ele	Havai	<i>Ulva prolifera</i> (eski adı <i>Enteromorpha prolifera</i>)
Limu lipoa	Havai	<i>Dictyopteris plagiogramma</i>
Dulse, Dillisk, Sol	İskoçya, İrlanda, İzlanda	<i>Palmaria palmata</i> (eski adı <i>Rhodymenia palmata</i>)
Hiziki	Japonya	<i>Sargassum fusiforme</i> (eski adı <i>Hizikia fusiformis</i>)
İrlandalı moss veya karragenan moss	İrlanda	<i>Chondrus crispus</i>
Nori veya amanori Zicai	Japonya, Çin	<i>Porphyra sp.</i>
Deniz Marulu	İrlanda, İskandinavya, Çin Japonya ve Büyük Britanya,	<i>Ulva lactuca</i> , <i>Enteromorpha spp.</i>
Düğümlü yosun (egg wrack), Kaya otu, Norveç kelpi	Kanada, Norveç ve İskoçya	<i>Ascophyllum nodosum</i>
Royal veya Tatlı Kombu	İrlanda, İngiltere, Avustralya'nın Kuzey Atlantik Kıyıları, Kuzey Amerika'nın Atlantik Kıyıları	<i>Saccharina latissima</i> (eski adı <i>Laminaria saccharina</i>)
Deniz spagettisi	Kuzeydoğu Atlantik Okyanusu ve Kuzey Denizi	<i>Himanthalia elongata</i>
Deniz üzümü veya yeşil havyar	Japonya, Filipinler	<i>Caulerpa lentillifera</i>

Nori (Mor laver) (*Porphyra spp.*)

Kırmızı alglerden *Porphyceae* türlerinden yapılan birçok tüketilebilir ürün için kullanılan, yenilebilir algler içerisinde en popüler olanıdır. Japonya’da 1300 yıldır önemli bir besin olan nori, genellikle suşi yapımında kullanılır. Sushi, nori yapraklarının üzerine, şeker ve sirke ile ekşitilmiş ve haşlanmış pirinç eklenip, üzerine sos ve genellikle farklı çiğ balık türlerinden dilimler konarak, rulo şeklinde sarılıp, 3-4 cm kalınlığında kesilerek hazırlanan geleneksel bir japon yemeğidir. Suşi dışında kullanımları da oldukça fazladır. “Onigiri” olarak bilinen pirinç sandviçlerinde kullanılırken, haşlanmış pirinç ya da şehriyenin lezzetli hale gelmesini sağlamak için “tsukudani aonori” denilen bir yemek yapımında ve farklı çorbalarda da kullanılmaktadır (Kaba & Çağlak, 2006 ; Alçay & ark., 2017; Nisizawa, 1987).

Nori yapımı için yetiştirilen ve hasat edilen *Porphyra umbilicalis*, önce deniz suyu ile yıkanıp kirleticiler uzaklaştırılır. Sonra küçük parçalara ayırarak bir bulamaç haline getirilir. Hasır ya da çerçeve şeklindeki kalıplara dökülen bulamaç, 40°C’de bir sıcak hava odasında fazla su uzaklaştırılıp kurutulur. Kuruyan yaprak şeklindeki noriler hasırlardan alınıp paketlenerek satışa hazır hale getirilir. Kurutulup hazırlanan bu ürün “hoshi-nori” (kuru laver yaprağı) olarak adlandırılır. Bu ürünün kavrulması ve tatlandırılması ile çıkan haline ise “yaki-nori” denilir. Japonya’da yaki-nori şeker, sake, soya sosu ve çeşitli baharat karışımları eklenerek tüketilir. Bunların dışında nori hazır çorbalarda kullanılırken, reçel ve şarabın hammaddesi olarak da kullanılmaya başlanmış ve bu ürünler nori reçeli ve nori şarabı olarak tüketilmektedir (Kaba & Çağlak, 2006; Alçay & ark., 2017; Nisizawa, 1987).

Deniz Marulu

Ulva lactuca ve diğer *Ulva* türleri salata olarak birçok ülkede tüketilmektedir. Ayrıca *Ulva fasciata* insan ve hayvan gıdalarında önemli bir protein kaynağıdır (Çaklı, 2008).

Aonori (Yeşil laver)

Deniz marulu (*Ulva*), gerçek yeşil laver (*Enteromorpha*) ve *Monostroma* gibi birkaç yeşil deniz yosununun karışımının ticari adı Aonori'dir. Hasat sonrasında hemen güneşte veya kurutucuda kurutulan yeşil laver yaprakları, uygun boyutta plastik torbalar içinde paketlenerek pazarlanır. Bir kısmı ise küçük parçalar halinde ezilerek toz haline getirilip pişmiş pirinç üzerine ve çorbalara serpilir veya çeşni olarak kullanılır. *Monostroma*'nın sadece yaprak kısımları soya sosu ve şekerle kaynatılarak konserve ürün olarak işlenir (Kaba & Çağlak, 2006; Nisizawa, 1987).

Bu deniz yosunlarının %20-26 arası protein ve %15-23 arası mineral içerdiği rapor edilmiştir. *Enteromorpha*'nın diğer yosunlarla karşılaştırıldığında sodyum içeriğinin daha düşük olduğu, ancak kalsiyum ve demir içeriğinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca B vitaminleri açısından zengin olup yüksek miktarda A vitamini içeriğine sahiptir (Kaba & Çağlak, 2006; Nisizawa, 1987).

Wakame (*Undaria pinnatifida*)

Japonya'daki wakame ürünleri genellikle kahverengi bir alg olan *Undaria pinnatifida*'dan elde edilir. Çiğ wakame'nin yaprakları hasat edildikten sonra önce deniz suyuyla, ardından tatlı su ile yıkanır ve orta damarı çıkarılarak ikiye kesilir. Kurutmak için güneş veya sıcak hava kurutucusu kullanılır. Suboshi wakame adı verilen ürün bu formda satılmaktadır. Depolama esnasında ürünün

solmaması için, taze wakame odun ya da saman külleriyle karıştırılır, 2-3 gün boyunca zemine yayılır ve sonrasında plastik poşetlere dizilir. Alkali kül ile enzimleri inaktif hale geldikten sonra yosun tekrar yıkanır, orta damarı çıkarılıp, parçalandıktan sonra kurutulur. Böylece yosun yeşil rengini uzun zaman boyunca korumuş olur (Alçay & ark., 2017, Nisizawa, 1987).

Beyazlatılmış ve tuzlanmış wakame, tuzu hızla uzaklaştırmak için suda bekletilir ve çeşitli çorba türleri yapımında kullanılır. Hafif tatlı ama kendine özgü güçlü bir tada ve dokuya sahiptir. Son zamanlarda, farklı türlerde işlenmiş wakame ürünleri hazır gıdalar olarak üretilmekte ve pazarlanmaktadır. Kore'deki wakame ürünleri, çorbanın çok daha kalın bir görünüme sahip olması için daha fazla wakame kullanılmasının yanında Japonya'da olduğu gibi çoğunlukla çorba ve salatalarda kullanılır (Nisizawa, 1987).

Konbu (Laminaria)

Laminaria türleri (*Saccharina longissima*, *Saccharina angustata*, *Saccharina cichorioides* ve *Saccharina japonica*) Japonya'da gıda maddesi olarak kullanılan yosunlardandır ve bunlara 'konbu' adı verilir. İnsan gıdası için gerekli olan tüm önemli maddeler bu üründe bulunduğu için yetiştiriciliği yapılmaktadır. Elde edilen konbunun %32'si Çin'de alginat elde etmek için hammadde olarak kullanılmaktadır (Kaba & Çağlak, 2006; Çaklı, 2008).

Önce deniz suyuyla yıkanan konbu, sonrasında genellikle çakıllı bir zeminde güneşte kurutulur, ancak havanın kapalı olduğu günlerde bir kurutucuda kurutulur. Kurutulmuş ürünler paketlenir. Bu ürüne suboshi konbu adı verilir. Suboshi konbu, kaynağına ve

özelliklerine bağı olarak çeşitli ürünler halinde işlenir (Nisizawa, 1987).

Malaşit yeşili ile kaynayan solüsyonun içerisine suboshi kombu yerleştirilir ve koyu yeşil renk alması sağlanır. Sonrasında bir miktar kurutulur ve rendelenir. Bu ürüne “aokombu” veya “yeşil kombu” denmektedir. Suboshi kombu, kare ya da dikdörtgen parçalar şeklinde kesilip, baharat veya soya sosu, bir tatlı japon içkisi (mirin) ve şekerle kaynatıldıktan sonra kurutulur. Bu ürüne “shio kombu” denir. Kurutulan suboshi kombu şeritler halinde kesilip, soya sosuna batırılarak kombu turşusu yapılır. Suboshi kombunun, sirkeyle yumuşatılması ve dilimlenmesi ile dilimli kombu elde edilir. Kurutulup öğütülen *Saccharina japonica* yaprakları kombu çayı olarak tüketilir. Aynı zamanda bu ürün umami taddan sorumlu bir amino asit olan glutamik asidin iyi bir kaynağıdır. Kombu ‘dashi’ adı verilen bir çeşit çorba üretiminde de kullanılmaktadır. Kombu ayrıca reçel ve içki yapımında da kullanılmaktadır (Nisizawa, 1987).

Hiziki (Hizikia, Hijiki)

Hiziki, çok ince yaprak yapısına sahip, Japonya'daki geleneksel olarak tüketilen kahverengi deniz yosunu gıdalarından biridir ve ürünler yalnızca *Sargassum fusiforme* (eski adı *Hizikia fusiformis*)' den üretilir (Nisizawa, 1987).

Hasattan edilen algler deniz suyuyla yıkanır ve suboshi hiziki denilen ürünü elde etmek için güneşte kurutulur. Bununla birlikte, bu ürün, büyük miktarlarda florotannin bulunması nedeniyle çok koyu renkli ve buruk bir tada sahip olduğu için doğrudan gıda olarak kullanılamaz. Bu nedenle suboshi hiziki, ikincil ürünler için bir hammadde olarak kullanılır. 1/10'u kadar başka kahverengi deniz

yosunu (*Eisenia bicyclis* veya *Ecklonia cava*) ilave edilip demir kazanlarda 4-5 saat kadar suda kaynatılır ve ardından istenmeyen maddelerin uzaklaştırılması için 4-5 saat buhara tabi tutulur. Hiziki ürünlerinin karakteristik pigmentleri, kaynatma sırasında büyük ölçüde kaybolur, ancak bunlar, *Eisenia* yapraklarından ekstrakte edilen pigmentlerle tamamlanır ve rengi istenildiği gibi olur. Haşlanan hiziki yaklaşık 5 cm’lik parçalar halinde kesilir ve tekrar güneşte kurutulur. Ürün ‘hoshi hiziki’ olarak adlandırılır ve suboshi hizikiden ayrılır (Alçay & ark., 2017; Nisizawa, 1987). Toz hali piyasada bulunmaktadır. Hoshi hizikinin haşlanmasıyla oluşan su yemek veya çorbalarda kullanılmaktadır. Pazarlanabilir bir ürün elde etmek için hoshi hiziki soya sosu, şeker ve pirinç şarabı ile haşlanır ve bu karışım haşlanmış pirinç, soya fasulyesi ile birlikte servis edilerek tüketilir (Nisizawa, 1987).

Limu

4000 yıldır yetiştirilen “Limu kohu” Hawai dilinde “hoş yosun” anlamına gelmektedir ve Hawai’de tüketilen bir çiğ balık salatası olan poke’nin bir ana malzemesidir. Limu, büyük marketlerde satılıp, gıdalara lezzet vermesi için çeşni olarak kullanılmakta, salatalarda ve yemeklerle birlikte tüketilmektedir (Alçay & ark., 2017).

Dulse (*Palmaria palmata*)

Eski tarihlerden beri gıda ve ilaç olarak kullanılan bu yosun türü İrlanda’da manavlar ve büyük marketlerde satılmaktadır. Dulse toplandıktan sonra güneşte kurutulmadan direkt tüketilebilir. İrlanda’da çoğunlukla kurutulup baharat olarak kullanılmaktadır. Kurutulan bu ürüne “dillisk” adı verilir. Düşük kalitedeki dulse,

genellikle kurutulup, toz haline getirilir ve baharat olarak kullanılır. İzlanda'da genellikle, tereyağında tavada kızartılıp cips haline getirilir, dışı peynirle kaplanarak fırında pişirilir. Çorbalarda, sandviçlerde, salatalarda, ekmek ve pizza hamuruna eklenerek kullanılır. Doğranarak, et tabağında monosodyum glutamatın yerine lezzet geliştirici olarak kullanılmaktadır. Katkı maddesi olarak, sağlık ve kozmetikte mineral takviyesi olarak ve kişisel bakım ürünlerinde, ayrıca hayvan yemi olarak da kullanılır (Alçay & ark., 2017).

Deniz üzümü veya yeşil havyar (*Caulerpa spp.*)

Bu yosunun birçok türü vardır, ancak en bilinen türleri *Caulerpa lentillifera* ve *Caulerpa racemosa*'dır. Üzüme benzeyen görünüşleri sebebiyle bu şekilde adlandırılan bu ürün taze salata olarak kullanılmaktadır. Hasat edildikten sonra deniz suyuyla yıkanıp, paketlenir. Buzdolabında taze bir şekilde yedi gün boyunca tutulabilirler (Alçay & ark., 2017).

Deniz spagettisi (*Himanthalia elongata*)

Kuzeydoğu Atlantik Okyanusu ve Kuzey Denizi'nde yayılım gösteren kahverengi alglerdendir. Eski zamanlarda genellikle gübre olarak kullanılmıştır. Günümüzde ise tüketilebilir deniz sebzesi olarak kullanılır. Diğer makro algler kadar güçlü bir deniz tadı olmayıp, çoğunlukla salatalarda, makarnanın yanında veya tatlılarda kullanılır (Alçay & ark., 2017).

Deniz Yosunu Araştırmalarında Yenilikçi Trendler

Avcılık ve yetiştiricilik yoluyla elde edilen deniz yosunlarının farklı alanlarda kullanımı yönünde pek çok araştırma bulunmaktadır. Yaygın kullanım alanına sahip deniz yosunları hakkında son yıllarda yapılan araştırmalar aşağıda derlenmiştir.

Tahmaz Karaman, Yüksel Küskü & Kunter (2024), *Ascophyllum nodosum* deniz yosunu ve *Saccharomyces cerevisiae* maya ekstraktlarının Nero D'Avola üzüm çeşidi üzerindeki etkilerini, tuz stresi altında ve normal koşullarda incelenmiştir. Tuz stresine karşı en etkili korumayı deniz yosunu sağlamış, bu uygulama bitkilerde fenolik bileşik, antioksidan enzimler ve fotosentetik pigment seviyelerini artırmıştır. Deniz yosunu, tuz stresine karşı daha güçlü koruma sağlarken, maya ekstraktı ise fotosentetik pigmentler ve antioksidan savunma mekanizmalarını güçlendirmiştir.

Ergün, Daşgan & Doğan (2024), serada Presidential marul türünün organik gübrelerle yetiştirilmesi incelenmiştir. Üst uygulamalarda deniz yosunu, humik asit ve aminoasit kullanılmıştır. Deniz yosunu bitki büyümesini ve verimini artırırken; alt uygulamalarda vermikompost ve mikoriza önemli bulunmuş ve organik gübrelerin yaygınlaştırılması önerilmiştir.

Özükaya & Güzey (2024), alglerden biyoplastik üretimi incelenmiş ve bu plastiklerin doğada çözünme süreleri gözlemlenmiştir. Çalışma, alglerden üretilen biyoplastiklerin normal plastiklere göre 1800 kat daha hızlı çözüldüğünü ve yüksek karbondioksit emilim potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Araştırma sonuçları, alglerden elde edilen biyoplastiklerin, petrol bazlı plastiklere göre çevre dostu bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur.

Balkesen (2024), makroalg *Gracilaria dura*' dan elde edilen karotenoid ekstraktının tereyağının fizikokimyasal özellikleri, antioksidan aktivitesi ve oksidasyon stabilitesi üzerindeki etkileri

incelenmiştir. %1, %3 ve %5 oranlarında karotenoid içeren örnekler +4 °C'de depolanmıştır. Tez çalışma sonuçları, karotenoid miktarının artmasıyla pH ve antioksidan aktivitesinin yükseldiğini, peroksit ve TBARS değerlerinin ise azaldığını göstermiştir. %5 *Gracilaria dura* ekstraktı ilave edilen tereyağında en yüksek antioksidan aktivitesi bulunmuştur. Bu da, bu ekstraktın doğal bir antioksidan potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

Vidyashree, Shetti & Ghagane (2024), derleme çalışmalarında diyabetin tedavisinde etkili olan deniz yosunu türleri incelenmiştir. Bu türlerin glukoz düzenleme mekanizması detaylandırılmıştır. Yenilebilir deniz yosunlarının, yemek sonrası kan glukoz seviyelerini düşürme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

Papadopoulou & ark. (2023), tuzlu substratları metabolize edebilen ve yüksek laktik asit üretebilen, tuzluluğa toleranslı mikroorganizmaları elde etmeyi amaçladıkları bir çalışmada tuz adaptasyonunun hipersalin deniz yosunu hidrolizatı kullanılarak laktik asit üretimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmada, deniz yosunu biyokütlesinin yüksek tuz içeriğinin, geniş çaplı fermantasyon süreçlerinde kısıtlayıcı bir unsur olduğu vurgulanmıştır.

Demir (2023), biyostimülant olarak kullanılan yosun gübresi ve mikorizanın mercimek gelişimi ile bazı biyolojik özelliklerine etkisi üzerine yapmış olduğu çalışmada; mercimeğin bitki yeşil aksam boy uzunluğu, bitki ağırlığı, kök kuru ağırlıkları, kök uzunluğu, yaprakların klorofil içerikleri kök bölgesi β glukosidaz, dehidrogenaz, alkalın fosfataz enzim aktiviteleri, CO₂ içeriği incelenmiştir. Yosun gübresi ve mikorizanın birlikte ve ayrı ayrı

dozlarda uygulandığında mercimeklerin gelişimlerine olumlu yönde etki ettiği belirtilmiştir.

Wichard (2023), yeşil deniz yosunu *Ulva*'nın bakteri kaynaklı büyümesini, gelişimini ve aynı zamanda alglerin yetiştirilmesinde bakterilerden yararlanılması ile ilgili yapmış olduğu çalışmada, bazı bakterilerin yokluğunda, *Ulva compressa*'nın nasır benzeri bir morfotipe dönüştüğü, gerekli deniz bakterilerinin eklenmesiyle tüm morfogenezin geri yüklenebildiği bildirilmiştir.

Pek (2023), sıvı yosun gübresi ile vermikompost gübresinin arpa gelişimine ve kök bölgesi mikrobiyolojik özelliklerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, hasat sonunda bitki boyunda uzama, güçlü kök gelişimi ve uzaması, klorofil miktarında artış, yeşil aksamda yaş ve kuru ağırlıklarda gözlenebilir değişimler olduğu bildirilmiştir.

Farghali & ark. (2023), deniz yosunu üretimine, ekonomik faydalara ve deniz yosununun anaerobik sindirim, biyo-yakıt, biyo-plastikler, ekin sağlığı, gıda, hayvan yemi, ilaç ve kozmetik için hammadde olarak kullanımına odaklanarak deniz yosunu biyo-üretim mekanizmalarını incelemişlerdir. Küresel olarak, deniz yosunlarının, yılda ortalama 173 megaton karbon tutabildiği bildirilmiştir. Deniz yosunlarının, sucul ortamlarda bir karbon yutağı olarak kullanıldıkları takdirde biyo-yakıt üretimi için substratlar olarak kullanılma potansiyeline sahip olabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, deniz alglerinden üretilen biyoyakıtların cıva yakalama verimliliğinin, ultraviyole/hidrojen peroksit ile yapılan gelişmiş oksidasyon uygulaması sonrası ciddi oranda iyileştiği belirlenmiştir.

Yang & ark. (2023), deniz yosunu bazlı biyokütle pirolizinin katı atıklarından üretilen biyoyakıtların elemental cıva salınımını azaltmayı amaçlayan araştırmalarında, bu yakıtların cıva adsorpsiyon kapasitesini artırmak için çevre dostu ultraviyole/hidrojen peroksit ileri oksidasyon tekniği ile modifikasyon gerçekleştirmişlerdir. Araştırmanın sonuçları, bu modifikasyonun ardından deniz yosunu kaynaklı biyoyakıtların elemental cıva yakalama performansının büyük ölçüde geliştiğini göstermektedir. Test edilen deniz yosunu bazlı biyoyakıtların üzerinde temel cıva yakalama işlemi, sözde ikinci dereceden adsorpsiyon kinetik denklemi ile uyumlu olduğu belirtilmiştir. Bu araştırma, biyoyakıtın yeşil modifikasyonu ve temiz cıva giderici adsorbanın geliştirilmesi için yeni ilham sağlayabileceğini öngörmektedir.

Vázquez-Arias & ark. (2023), deniz yosunlarında metallerin hücre altı dağılımı hakkında mevcut bilgileri derlemek ve bilgilerin eleştirel bir incelemesini sunmak amacıyla yaptıkları çalışmada mevcut çalışmaların zıt, bazen çelişkili sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Alg hücrelerindeki metallerin dağılımına dair güvenilir veriler elde edebilmek için, elementler ile alg türleri arasındaki farklılıkları ve bu elementleri ölçme yöntemlerinin sınırlamalarını dikkate alan daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

Palmieri, Nervo & Torri (2023), gıda güvenliğini ve sürdürülebilirliğini iyileştirmek için alternatif proteinler üzerine yaptıkları çalışmada deniz yosunu, böcekler ve denizanasına yönelik tutumları karşılaştırmış, bireysel değişkenlerin rolünü araştırmış ve

potansiyel gastronomik kullanımlarına odaklanan yeni bir yaklaşım önermişlerdir.

Atık deniz yosunundan hidro-yakıt üretilmesi ve bir mikrodalga işleminde hidrotermal karbonizasyon için optimize edilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada enerji tüketimi analizinin, mikrodalga destekli karbonizasyonun geleneksel fırına kıyasla daha yüksek enerji tükettiği belirtilmiştir. Çalışmada mevcut sonuçlardan yola çıkarak, atık deniz yosunundan yapılan ve mikrodalga tekniğini kullanan hidro-yakıtın, geleneksel ısıtma yöntemleriyle üretilen hidro-yakıtı benzer özelliklere sahip hidro-yakıt üretmek için enerji tasarrufu sağlayan bir teknoloji olabileceği öngörülmüştür (Soroush & ark., 2023).

Kahverengi alglerden elde edilen sülfatlanmış bir deniz yosunu olan fucoidanın sitotoksikite olmaması, biyoyumumluluğu ve biyobozunurluğu nedeniyle bir ilaç dağıtım aracı olarak birçok uygulama alanı bulduğu bildirilmiştir. Ayrıca kanser tedavisinde, nano biyomedikal sistemleri tarafından bu deniz yosununun teşhis ve tedavi amaçlı kullanıldığı da belirtilmiştir. Fucoidan, büyük biyoçeşitliliği, maliyet etkinliği ve hafif ekstraksiyon ve saflaştırma prosedürleri nedeniyle rejeneratif ilaçlarda, yara iyileşmesinde ve sürekli ilaç dağıtımında kullanım için kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu bağlamda, ana endişe, çeşitlilik, hasat zamanlaması ve iklim koşulları gibi faktörlerin, parti bazında ekstraksiyon süreçlerindeki değişkenliklere etkisi olarak belirtilmiştir (George & Shrivastav, 2023).

Wang & ark. (2023), metabolik sendromun tedavisi için deniz yosunu polisakkaritlerinin (SP) prebiyotik olarak potansiyel

kullanımı hakkında yaptıkları çalışmada; SP'lerin glikoz ve lipid anormalliklerini düzenleyebildiğini, iştahı etkileyebildiğini, inflamasyonu ve oksidatif stresi azaltabildiğini ve bu nedenle metabolik sendromu (MetS) yönetmek için büyük potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir. SP'lerin insan gastrointestinal sistemi tarafından zayıf bir şekilde sindirildiği, ancak metabolitler üretmek ve SP'lerin anti-MetS etkilerini oluşturma mekanizması, olabilecek bir dizi pozitif etki için bağırsak mikrobiyotası tarafından kullanılabilirdiği gösterilmiştir. Bu çalışma ile SP'lerin MetS ile ilişkili metabolik bozuklukların tedavisinde prebiyotikler olarak potansiyeli gözden geçirilmiş ve MetS'yi önlemek ve tedavi etmek için prebiyotikler olarak SP'ler hakkında yeni bakış açıları sunulmuştur.

Bhuyan (2023), deniz yosunu yetiştiriciliğinin kıyı ekosistemi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapmış olduğu çalışmada, ekosistem için olası avantajlar ve tehlikeler nedeniyle, alıcı habitatların ekolojik dengesinin engellenmemesi ve canlı organizmaların tehlikeye atılmamasının garanti altına alınması esasını benimsemiştir. Bu çalışmada, deniz yosunu yetiştirme işinin bir sonucu olarak ortaya çıkabilecek potansiyel ekolojik dalgalanmaların kapsamlı bir analizi sunulmuştur. İklim faktörleri, hastalık ivmesi, topluluk genetik modifikasyonları ve ekosistemin yerel fizikokimyasal özelliklerindeki büyük farklılıklar en çok endişe verici faktörler olarak bildirilmiştir.

Lymperatou & ark. (2022), yapmış oldukları çalışmada Baltık Denizi sahilinde biriken deniz yosunlarının biyogaz üretiminde kullanılması için üç ön işlem (alkali, hidrotermal ve termo-asidik) uygulamışlardır. Bu çalışmada, deniz yosunu anaerobik sindiriminin

biyogaz üretimi aracılığıyla yenilenebilir enerji üretimini destekleyen bir arıtma teknolojisi olarak değerlendirilmesi vurgulanmıştır. Termo-asitli ön işlem, metan veriminde (%78 daha fazla) en büyük artışı sağlarken, alkalın ön işlem ise metan veriminde %36'lık bir artış ve metan üretim maliyetinde önemli bir düşüş sağlamıştır.

Echave & ark. (2022) araştırmasında, deniz yosunu proteinleri ve bunların türevi moleküllerin özellikleri, doğal oluşumları, incelenen biyoaktif özellikleri ve potansiyel etki mekanizmaları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu bağlamda, birçok spesifik enzim, glikoprotein, hücre duvarına bağlı proteinler, kırmızı alg fikobiliproteinleri, lektinler, peptitler veya mikosporin benzeri amino asitler içerdiğinden deniz yosunu proteinlerinin besin açısından değerli olduğu ve önemli antioksidan, antimikrobiyal, anti inflamatuvar, antihipertansif, antidiyabetik veya antitümöral özellikler sergilediği bildirilmiştir.

Deniz yosunu tüketimi ve kronik hastalıklar üzerine yayınlanmış makalelerin incelendiği bir çalışmada deniz yosunları veya deniz makro alglerinin, çok çeşitli besleyici, terapötik ve nutrasötik özellikler sergileyen potansiyel olarak biyoaktif maddeler ürettikleri bildirilmiştir. Bu çalışmalar, bu bileşiklerin kardiyovasküler hastalıklar, kanser, nörodejeneratif hastalıklar, osteoporoz ve diyabet gibi kronik hastalıkların tedavisinde potansiyel olarak kullanılabileceğini; Japonya ve Kore gibi Asya ülkelerinde deniz yosunu tüketiminin daha düşük kronik hastalık sıklığıyla ilişkilendirildiğini göstermektedir (Meinita, Harwanto & Choi, 2022).

Deniz yosunlarının biyokimyasal bileşimi ve biyometan ve biyohidrojen üretimi potansiyeli hakkındaki literatürden elde edilen verileri özetlemeyi, tartışmayı ve ayrıca yaygın ön arıtma yöntemlerinin etkisini araştırmayı amaçlayan bir çalışmada yıllık 66 GWh'lik bir enerji potansiyelinin, iki aşamalı bir biyohitan üretim süreciyle elde edilebileceği, bu enerji değerlendirmesinin kıyı yönetimi açısından umut verici olma eğiliminde olduğu bildirilmiştir. Ayrıca deniz yosunlarının yüksek mevcudiyetleri, kolay üretilibilmeleri onları avantajlı bir enerji kaynağı olarak alternatif fosil yakıtlar için uygun bir aday haline getirdiği ve artan biyoyakıt ihtiyacı için umut verici ve sürdürülebilir bir ham maddeyi temsil ettiği belirtilmiştir (Zhao & ark., 2022).

Murakami & ark. (2023), yenilebilir kırmızı deniz yosunu *Gloiopeltis furcata* farelerde obezite, diyabet ve buna bağlı metabolik hastalıkların gelişimi üzerindeki etkilerinin araştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda *G. furcata* tedavisinin, farelerde obezite, diyabet, hepatik steatoz ve dislipidemiye azaltabildiğini gösterilmiştir.

Lomartire & Gonçalves (2022), deniz yosunlarının polisakkarit ekstraksiyonu ve terapötik uygulamalarla gıdalarda kullanımları ve gelişen teknoloji ile ilgili yapmış oldukları incelemede alg metabolitlerinin besleyici özelliklere sahip olduğunu, ancak aynı zamanda çeşitli farmasötik uygulamalarda yer almalarına izin veren antioksidan, antimikrobiyal ve antiviral aktiviteler de sergilediği bildirilmiştir. Belirli deniz yosunu bileşiklerinin izole edilmesiyle yeni terapötik özelliklere sahip gıda türlerinin geliştirilebileceği öngörülmektedir. Deniz yosununun ticari amaçlarla, özellikle agar, karagenan ve aljinat üretiminde

kullanılmasına olan ilginin zaman içerisinde gittikçe arttığı belirtilmiştir.

Cassani & ark. (2022), sekiz deniz yosunu türünün termokimyasal karakterizasyonu ve biyoyakıt üretimine alternatif olarak potansiyel kullanımlarının ve biyoaktif bileşik kaynağının değerlendirilmesi üzerine yapmış oldukları çalışmada deniz yosunlarının, yüksek oranlarda karbonhidrat, orta düzeyde bir protein bileşimi ve değerli bir ω -3 çoklu doymamış yağ asitleri içeriğinin bulunduğu zengin bir beslenme profili sunduğu belirtilmiştir. Çalışmada deniz yosunlarının termokimyasal karakterizasyonu, bazı makroalglerin düşük kül içeriği ve yüksek uçucu madde ve karbon fiksasyon oranları sunduğu ve alternatif biyoyakıt üretimi için umut verici kaynaklar olduğu gösterilmiştir. Bu sonuçların, deniz yosunlarının, gıda formülasyonlarının beslenme kalitesini artırmak için gıda veya fonksiyonel bileşen olarak kullanılabileceğini gösterdiği bildirilmiştir.

Farklı dozlarda deniz yosunu ekstraktının kişniş verimi ve uçucu yağ içeriği üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada uçucu yağ içeriğinin ve verimin kum içeriği yüksek olan lokasyonda daha yüksek olduğunu, kum içeriği düşük ve organik madde içeriği yüksek lokasyonda daha yüksek olduğunu göstermiştir. 2 ml L-1 dozunda deniz yosunu uygulaması kişniş bitkisinin büyüme, gelişme, verim ve uçucu yağ içerikleri üzerinde olumlu etkiler gösterdiği bildirilmiştir (Tursun, 2022).

Ren & ark. (2022), mikrop ve deniz yosunu etkileşimlerini, bunların ekolojik önemini ve deniz yosunu-mikrop ilişkisinin çeşitli çevresel ve biyolojik teknolojilerdeki mevcut uygulamalarını

özetleyen çalışmalarında deniz yosununun holobiyontlarına dayalı sürdürülebilir endüstriler, kaynak açısından daha verimli gıda, yüksek değerli kimyasallar ve tıbbi malzemeler sağlayabildikleri için geleceğin biyo-ekonomisinin ayrılmaz bir parçası haline gelebileceğini belirtmişlerdir.

Znad, Awual & Martini (2022), ağır metallerle kirlenmiş atık suyun biyolojik iyileştirilmesi için alg ve deniz yosunu biyokütlesinin kullanımı ile ilgili yapmış oldukları çalışmada alg ve deniz yosunu biyokütlesinin, çevre dostu adsorban üretimi için sürdürülebilir bir çözüm olabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışma, alg ve deniz yosunu biyokütlesinin potansiyel olarak ağır metal biyolojik arıtımında kullanımına ilişkin güncel gelişmeleri ele almaktadır. Ayrıca, metal toksisitesi, adsorpsiyon mekanizmaları ve adsorpsiyon sürecini etkileyen faktörler gibi ilgili konular da vurgulanmıştır. Sonuç olarak, elde edilen önemli bulgu, alg ve deniz yosunu biyokütlesinin atık sulardan ağır metalleri sürdürülebilir bir şekilde uzaklaştırmak için etkili bir çözüm olabileceğidir.

Son 20 yılda küresel deniz yosunu yetiştiriciliği ve işlenmesi üzerine yapılan bir incelemede deniz yosununun, olağanüstü uyarlanabilirliği, kısa sürede gelişebilmesi ve kaynak sürdürülebilirliği nedeniyle en umut verici kaynaklardan biri olduğu ve gelecekteki kaynak krizlerini hafifletmek için etkili bir atılım olabileceği belirtilmiştir. Dünya çapında artan deniz yosunu üretimi ve talebi nedeniyle alg kaynaklarının son yıllarda yüksek bir büyüme aşamasına ulaştığı ve deniz yosununun birincil ürünleri, çıkarılması ve uygulanması veya atık olarak değerlendirilmesi, çeşitli alanlardaki uygulamaların sürekli olarak geliştirilmesi ve

iyileştirilmesi ile daha büyük faydalar sağlayabileceği bildirilmiştir (Zhang & ark., 2022).

Bitki, deniz yosunu ve böcek bazlı gıdaların mevcut durumları, ete alternatif olarak tüketici tarafından kabul edilebilirliği ve tüketici algısı üzerine odaklanan bir incelemede tüketicilerin alternatif et ürünlerine yönelik algılarını etkileyen ana faktörler ve güdüler rapor edilmiştir. Bu inceleme, alternatif et gıdaları tüketicilerinin ürün ve ülke menşeyini göz önünde bulundurarak, et alternatiflerinin kabul edilebilirliğini artırmak için tüketicilerin kabul etme güdülerinin ve itici güçlerinin daha iyi anlaşılmasını sağladığı belirtilmiştir (Siddiqui & ark., 2022).

Deniz yosunlarının biyogaz üretimi potansiyelini keşfetmeyi, sınıflandırmayı ve kapsamlı bir şekilde sunmayı amaçlayan bir çalışmada deniz yosunlarının sindirimi, birlikte sindirimi, katkı maddesi ilavesi ve sıralı kullanımı üzerine mevsimsel değişimlerin etkisinin biyogaz üretimini arttırdığı ve farklı stratejilerin uygulanmasının (ön arıtma gibi) inhibitörlerin etkisini azalttığı ve biyogaz üretimini arttırdığı bildirilmiştir. Bu çalışma, deniz yosunu biyokütlesinin organik bileşenlerini biyogaza dönüştürmek için umut veren bir teknoloji olarak anaerobik çürümenin potansiyelini vurgulamaktadır. Deniz yosunlarının sindirimi sırasında, Firmicutes ve Bacteroidetes gibi anaerobik organizmaların önemli roller üstlendiği ve Methanobacteriales'in ise baskın metan oluşturan arkea olduğu belirtilmiştir (Thakur & ark., 2022).

Losada-Lopez, Dopico & Faina-Medin (2021); neofobi, deniz yosunu tüketimi, tüketici tutumu ve deniz yosunu tüketme isteği üzerine yapmış oldukları bir incelemede, deniz yosunu tüketme

memnuniyeti ve niyeti üzerindeki etkisini, aynı zamanda deniz yosununun sağlık yararları gibi güvenilirlik özelliklerinin değerlendirilmesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yosun tadımı sonrasında, katılımcılardan alınan geri bildirimler ve tekrar deniz yosunu tüketme istekleri üzerine yapılan değerlendirme, neofobinin alg tüketim niyetlerini nasıl etkilediğini ortaya koymuştur. Yeni deneyimlerle potansiyel olarak ilgilenen tüketicilerin ilgisini çekmek için alglerin sağlık ve doğal özellikleri gibi güvenilirlik özelliklerinin teşvik edilmesinin kullanılması ve eşzamanlı olarak, şeflerden gelen güvenilir ipuçlarının kullanılması, tüketici güvenini artırmanın ve neofobinin yarattığı engeli aşmanın mükemmel bir yolunu temsil ettiği belirtilmiştir.

Kumar, Tarafdar & Badgujar (2021) çalışmalarında, deniz yosunlarının fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılabilecek değerli biyoaktif bileşikler, polisakkaritler, antioksidanlar, mineraller ve yağ asitleri, amino asitler ve vitaminler gibi temel besin içeriğinden dolayı doğal antioksidan kaynağı olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmalarında, farklı deniz yosunu sınıflarında bulunan besleyici ve biyoaktif bileşiklere odaklanılmış; bu bileşiklerin terapötik aktiviteleri arasında kan hücresi agregasyonu, antiviral, antitümör, anti-inflamatuar ve antikanser özellikleri belirtilmiştir.

Cai & ark. (2021); 2019' da deniz yosunu yetiştiriciliğinin, 120 milyon tonluk dünya su ürünleri üretiminin yaklaşık dörtte birine katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir. Yaş ağırlık açısından, kırmızı (Rhodophyceae) ve kahverengi deniz yosununun (Phaeophyceae), küresel su ürünleri yetiştiriciliğinde “Carps, barbels ve diğer siphonidler” den sonra sırasıyla ikinci ve üçüncü en büyük tür grupları olduğunu belirtmişlerdir. Çoğunlukla düşük değerli ürünler

olan deniz yosunlarının, 2019' da 275 milyar ABD doları olan dünya su ürünleri üretim değerinin yüzde 5,4' ünü oluşturduğu bildirilmiştir.

Yeşil, kırmızı ve kahverengi alg türlerinin, Parkinson, Alzheimer, Multipl Skleroz gibi nörodejeneratif hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde faydalı terapötik özelliklere sahip olduğu belirtilmektedir (Pereira & Valado, 2021).

Shannon, Conlon & Hayes (2021), yosun bileşenlerinin bağırsak mikrobiyotasının potansiyel düzenleyicileri olduğunu bildirmişlerdir. Makro algler veya deniz yosunlarının, bakteri çeşitliliğini ve bolluğunu artırarak memeli bağırsak mikrobiyotası üzerinde faydalı etkiler gösterebilen zengin bir bileşen kaynağı olduğunu belirtmişlerdir.

Ali, Ramsubhag & Jayaraman (2021), bitkilerde yosun ekstrelerinin biyostimülan özellikleri ve sürdürülebilir mahsul üretimine yönelik etkileri ile ilgili yapmış oldukları çalışmada, deniz yosunu özlerinin ve ürünleri ile yapılan işlemlerin, sürdürülebilir bitki büyümesini desteklemek için toprak ve bitkinin mikro biyom bileşenlerinde önemli değişikliklere neden olduğunu bildirmişlerdir. Deniz yosunu özlerinin organik oluşunun, organik tarım ve çevreye duyarlı mahsul üretimi için ideal olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, diğer tarım ürünleriyle uyumlu olduğu ve sürdürülebilirlik için entegre bir yönetim yaklaşımının teşvik edilebileceği rapor edilmiştir.

Baghel, Reddy & Singh (2021), yaptıkları çalışmada deniz yosunu bazlı selüloz uygulamalarının çeşitli ticari kullanımlar için fikorolloidlerden, endüstriyel atıklardan ve seçilmiş selüloz

açısından zengin deniz yosunu türlerinden elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Araştırmalarında, deniz yosunu kaynaklı selüloz bazlı ürünlerin özelliklerinin bitki kaynaklı selüloz ürünleriyle benzer olduğu vurgulanmıştır.

Kara kaya balığı (*Sebastes schlegelii*) tanklarından çıkan atık sular için bir biyo filtre olarak, entegre bir balık-yosun kültür sisteminde kullanarak beş yerel deniz yosunu türünün (*Codium fragile*, *Ulva australis*, *Ecklonia cava subsp. stolonifera*, *Saccharina japonica* ve *Gracilariopsis chorda*) büyüme ve biyoremediasyon potansiyelini araştıran bir çalışmada; tüm türlerin balık tankı atıklarından zenginleştirilmiş nitrojen ve fosforu verimli bir şekilde çıkarabildiği ve entegre su ürünleri yetiştiriciliği ve biyoremediasyon için uygun olduğu gösterilmiştir (Kang & ark., 2021).

Sonuc

Mineraller, vitaminler, fenoller, polisakkaritler ve sterollerin yanı sıra diğer bazı biyoaktif bileşikler gibi zengin içeriğe sahip olan deniz yosunları sağlıklı, besleyici ve düşük kalorili gıdalar olarak kabul edilirler (El-Beltagi & ark., 2022). Deniz yosunlarının besinsel bileşimi türler arasında değişiklik gösterse de yağ oranı genellikle düşüktür ve omega-3 ve omega-6 çoklu doymamış yağ asitleri gibi bir dizi temel besin, vitamin (A, C, E ve B12), iyot, diyet lifi ve antioksidanlar içerir (FAO, 2022). Bu bileşiklerin antioksidan, anti-enflamatuar, anti-kanser, antimikrobiyal ve anti-diyabetik etkileri olduğu rapor edilmiştir (El-Beltagi & ark., 2022). Alglerden karragen, agar-agar ve alginat gibi endüstriyel polisakkaritler elde edilir ve bunların pazar büyüklüğü olduğa fazladır (Fleurence, Moranchais & Dumay, 2018). Yosun, doğrudan insan tüketiminde

yaygın olarak kullanılırken aynı zamanda tıp, gıda, eczacılık, ziraat, kozmetik endüstrileri alanlarında, yem, gübre sanayii, gıda boyası, gıda katkı maddesi olarak, enerji üretimi, biyoyakıt üretimi ve alg biyofiksasyonu yoluyla gaz emisyonlarından karbondioksitin çıkarılması gibi birçok endüstriyel alanda yararlanılan çok yönlü bir üründür (Aktar & Cebe, 2010). Uzun yıllardır birçok alanda kullanılan alglerin, bugün de birçok ülkede kullanımı devam ederken ülkemizde ise makro alglerle ilgili akademik olarak üretim ile ilgili çalışmalar bulunmasına rağmen ekonomik anlamda üretime bir türlü geçilememiştir. Üniversite sanayi işbirlikleri ile deniz yosunları yetiştiriciliği ve işlenmesi ile ilgili çalışmalar artarak devam etmelidir. Ancak bu şekilde endüstriyel deniz yosunlarının üretimi mümkün hale gelebilir. Alglerin besleyici özellikleri yanında fonksiyonel gıda özelliği de göstermesi değerini artırmaktadır. Bununla birlikte su ürünleri tüketiminin AB ülkelerine kıyasla oldukça düşük olduğu ülkemizde farklı beslenme alışkanlıklarına sahip, sağlıklı beslenmeyi ilke edinmiş bireyler için taze tüketime hazır deniz yosunu ürünlerinin işlenmesi, paketlenmesi ve sektöre kazandırılması da önem arz etmektedir.

Kaynaklar

Ak, İ. (2015). Sucul ortamın ekonomik bitkileri; makro algler. Dünya Gıda Dergisi, 12, 88-97.

Aktar, S., & Cebe, G. E. (2010). Alglerin genel özellikleri, kullanım alanları ve eczacılıktaki önemi. Ankara Ecz. Fak. Dergisi, 39 (3) 237-264.

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

Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. Plants, 10(3), 531.

Anonim (2011). Plant Life. Red Algae. <http://lifeofplant.blogspot.com/2011/01/red-algae.html>_(Erişim: 20 Mayıs 2023)

Anonim, (2021a). *Undaria pinnatifida* https://invasions.si.edu/nemesis/species_summary/-21 (Erişim tarihi: 10.06.2023)

Anonim (2021b). Monostroma. <https://en.wikipedia.org/wiki/Monostroma> (Erişim tarihi: 25.05.2023)

Anonim (2023a). <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=image&pic=9676&tid=145724> (Erişim:20.05.2023)

Anonim (2023b).
https://www.seaweed.ie/aquaculture/kelp_china.php
(Erişim:20.05.2023)

Anonim (2023c).
<https://www.inaturalist.org/observations/111020045>
(Erişim:20.05.2023)

Anonim (2023d).
https://en.wikipedia.org/wiki/Wakame#/media/File:CSIRO_ScienceImage_952_Undaria_pinnatifida_Japanese_kelp.jpg
(Erişim:20.05.2023)

Anonim, (2023e). Nereocystis.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Nereocystis> (Erişim tarihi:
25.06.2023)

Anonim (2023f). <https://www.josieiselin.com/the-curious-world-of-seaweed-prints/2-tiny-nereocystis> (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023g.
https://en.wikipedia.org/wiki/Fucus_serratus#/media/File:Fucus_serratus2.jpg (Erişim:20.05.2023)

Anonim (2023h).
https://species.wikimedia.org/wiki/Fucus_spiralis#/media/File:Fucus_spiralis_Concarneau4.JPG (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023i.
http://galerie.sinicearasy.cz/galerie/chromophyta/phaeophyceae/cystoseira?image_id=11792 (Erişim:20.05.2023)

Anonim (2023j). Ocean Exploration. Sargassum nedir?
<https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/sargassum.html>
(Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023k. <https://www.intechopen.com/chapters/76196>
(Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023l.
<http://www.imb.dvo.ru/misc/algae/index.php/en/component/mtree/en2/rhodophyta/order-bangiales/family-bangiaceae/genus-porphyra/1-jjjjj> (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023m. <https://seatechbioproducts.com/human-health-benefits-of-nori-%28porphyra%29.html> (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023n.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Gelidium_sp.jpg (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023o.
https://www.lepidoptera.no/en/arter/?or_id=3554
(Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023p.
https://www.aphotomarine.com/red_seaweed_ceramium_ciliatum.html (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023r. <https://www.verspreidingsatlas.nl/S144545>
(Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023s.
<https://macroalgae.org/imglib/storage/but/macroalgae/00503/503178.jpg> (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023t. <https://www.nuwen.com/en/product/health-and-food/food/innovative-marine-solutions/irish-moss/> (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023u. <https://www.alamy.com/stock-photo/gigartina-mamillosa.html?sortBy=relevant> (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023v.
<http://www.freenatureimages.eu/plants/Rhodophyceae%2C%20Rodwieren%2C%20Rhodophyceans/Mastocarpus%20stellatus/index.html> (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023y.
https://www.photomarine.com/red_seaweed_gracilariopsis_longissima.html

Anonim 2023z.
https://www.seaweed.ie/descriptions/Ulva_fenestrata.php (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023aa. <https://tommyaquario.pl/index.php/46-uncategorised/akwarystyka-morska/makroglony/1006-enteromorpha-spp> (Erişim:20.05.2023)

Anonim 2023ab.
<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/monostroma> (Erişim:20.05.2023)

Anonim (2023ac). Applications of Seaweed. <https://www.lifeasible.com/applications-of-seaweed/> (Erişim tarihi: 25.05.2023)

Atay, D. (1978). Deniz Yosunları ve Değerlendirme Olanakları. Başbakanlık basımevi, Ankara.

Atay, D. (1984). Bitkisel su ürünleri ve üretim tekniği. A.Ü. Ziraat Fakóltesi Yayınları: 905 Ders Kitabı: 253. 203 s.

Baghel, R. S., Reddy, C. R. K., & Singh, R. P. (2021). Seaweed-based cellulose: Applications, and future perspectives. Carbohydrate Polymers, 267, 118241.

Balkesen, N. (2024). Türkiye denizlerinden toplanan gracilaria dura makroalginden karotenoid ekstraktı ilaveli tereyağı üretimi: Fizikokimyasal özellikleri ile antioksidan aktivite ve oksidasyon stabilitesi üzerine etkisinin araştırılması (Master's thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Bhuyan, M. S. (2023). Ecological risks associated with seaweed cultivation and identifying risk minimization approaches. Algal Research, 102967.

Cai, J., Lovatelli, A., Stankus, A., & Zhou, X. (2021). Seaweed revolution: where is the next milestone?. FAO Aquaculture Newsletter, (63), 13-16.

Cassani, L., Lourenço-Lopes, C., Barral-Martinez, M., Chamorro, F., Garcia-Perez, P., Simal-Gandara, J., & Prieto, M. A. (2022). Thermochemical characterization of eight seaweed species and evaluation of their potential use as an alternative for biofuel

production and source of bioactive compounds. International Journal of Molecular Sciences, 23(4), 2355.

Cirik, Ş., Cirik, S. (2004). Su bitkileri: Deniz bitkilerinin biyolojisi, ekolojisi, yetiştirme teknikleri: ders kitabı. Ege Üniv. Su Ürünleri Fakültesi.

Çaklı, Ş. (2008). Su ürünleri işleme teknolojisi: Alternatif su ürünleri işleme teknolojileri: ders kitabı. Ege Üniv. Su Ürünleri Fakültesi.

Demir, M. (2023). Biyostimülant olarak kullanılan yosun gübresi ve mikorizanın mercimek gelişimi rizosferdeki bazı biyolojik özelliklere etkisi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı. Şanlıurfa. Yüksek Lisans Tezi

Echave, J., Otero, P., Garcia-Oliveira, P., Munekata, P. E., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Simal-Gandara, J. & Prieto, M. A. (2022). Seaweed-derived proteins and peptides: promising marine bioactives. Antioxidants, 11(1), 176.

El Gamal, A. A. (2010). Biological importance of marine algae. Saudi pharmaceutical journal, 18(1), 1-25.

El-Beltagi, H. S., Mohamed, A. A., Mohamed, H. I., Ramadan, K. M., Barqawi, A. A., & Mansour, A. T. (2022). Phytochemical and potential properties of seaweeds and their recent applications: A review. Marine Drugs, 20(6), 342.

Ergün, O., Daşgan, H. Y., & Doğan, O. (2024). Organik Marul Yetiştiriciliğinde Biyogübre ve Biyostimulantlar Kullanılarak Bitki Beslemenin İyileştirilmesi ile Verim ve Kalitenin Artırılması. Bahçe, 53(Özel Sayı 1), 333-341.

Farghali, M., Mohamed, I. M., Osman, A. I., & Rooney, D. W. (2023). Seaweed for climate mitigation, wastewater treatment, bioenergy, bioplastic, biochar, food, pharmaceuticals, and cosmetics: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 97-152.

Fleurence, J., & Levine, I. (Eds.). (2016). *Seaweed in health and disease prevention*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02206-X>

Fleurence, J., Moranc ais, M., & Dumay, J. (2018). Seaweed proteins. In *Proteins in food processing* (pp. 245-262). Woodhead Publishing.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022). Yıllık rapor. Erişim: 25 Mayıs 2023, <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc0461en>

George, A., & Shrivastav, P. S. (2023). Fucoidan, a brown seaweed polysaccharide in nanodrug delivery. *Drug Delivery and Translational Research*, 1-20.

İrkin, L. C. (2020). *Akuakültürde alglerin önemi ve kullanım alanları*. iksad publishing house. <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2020/11/AKUAKULTURDE-ALGLERIN-ONEMI-ve-KULLANIM-ALANLARI.pdf>

İrkin, L. C., & Erduğan, H. (2014).  anakkale Boğazı'nda yayılış gösteren *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh'nın kimyasal kompozisyonunun mevsimsel olarak incelenmesi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 31(4), 209-213.

Kaba, N., & Çağlak, E. (2006). Deniz Alglerinin İnsan Beslenmesinde Kullanılması. *Su Ürünleri Dergisi*, 23(2), 243-246.

Kang, Y. H., Kim, S., Choi, S. K., Lee, H. J., Chung, I. K., & Park, S. R. (2021). A comparison of the bioremediation potential of five seaweed species in an integrated fish-seaweed aquaculture system: implication for a multi-species seaweed culture. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 353-364.

Kumar, Y., Tarafdar, A., & Badgujar, P. C. (2021). Seaweed as a source of natural antioxidants: Therapeutic activity and food applications. *Journal of Food Quality*, 2021, 1-17.

Lomartire, S., & Gonçalves, A. M. (2022). An overview of potential seaweed-derived bioactive compounds for pharmaceutical applications. *Marine Drugs*, 20(2), 141.

Lomartire, S., & Gonçalves, A. M. (2022). Novel Technologies for Seaweed Polysaccharides Extraction and Their Use in Food with Therapeutically Applications—A Review. *Foods*, 11(17), 2654.

Losada-Lopez, C., Dopico, D. C., & Faina-Medin, J. A. (2021). Neophobia and seaweed consumption: Effects on consumer attitude and willingness to consume seaweed. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100338.

Lymperatou, A., Engelsen, T. K., Skiadas, I. V., & Gavala, H. N. (2022). Different pretreatments of beach-cast seaweed for biogas production. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132277.

Meinita, M. D. N., Harwanto, D., & Choi, J. S. (2022). Seaweed exhibits therapeutic properties against chronic diseases: an overview. *Applied Sciences*, 12(5), 2638.

Murakami, S., Hirazawa, C., Mizutani, T., Yoshikawa, R., Ohya, T., Ma, N., Owaki, N., Owaki, T., Ito, T., & Matsuzaki, C. (2023). The anti-obesity and anti-diabetic effects of the edible seaweed *Gloiopeltis furcata* (Postels et Ruprecht) J. Agardh in mice fed a high-fat diet. *Food Science & Nutrition*, 11(1), 599-610.

Nisizawa, K. (1987). Preparation and marketing of seaweeds as foods. Korea, 273532(49930), 614912.

Özükaya, Z., & Güzey, E. (2024). Mikro ve makro algler kullanılarak doğada kolay çözünebilir biyoplastik yapımı: deneysel bir araştırma. *Eurasian Academy of Sciences Social Sciences Journal*, (52), 80-97.

Palmieri, N., Nervo, C., Torri, L. (2023). Consumers' attitudes towards sustainable alternative protein sources: Comparing seaweed, insects and jellyfish in Italy. *Food Quality and Preference* Volume 104, 104735

Papadopoulou, E., de Evgrafov, M. C. R., Kalea, A., Tsapekos, P., & Angelidaki, I. (2023). Adaptive laboratory evolution to hypersaline conditions of lactic acid bacteria isolated from seaweed. *New Biotechnology*, 75, 21-30.

Pek, S. (2023). Sıvı yosun gübresi ve vermikompostun arpa gelişimi ve kök bölgesi mikrobiyolojik özelliklerine etkisi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı. Şanlıurfa. Yüksek Lisans.

Pereira, L., & Valado, A. (2021). The seaweed diet in prevention and treatment of the neurodegenerative diseases. *Marine Drugs*, 19(3), 128.

Polat, S., Boğa Küley, E., ve Özoğul, Y. (2012). İskenderun Körfezi (Kuzeydoğu Akdeniz) kıyısında yayılmasını gösteren bazı kahverengi ve kırmızı makroalg kalkanı protein, lipit ve yağ asidi içerikleri. *Balıkçılık Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 107-113.

Polat, S., Trif, M., Rusu, A., Simat, V., Cagalj, M., Alak, G., Meral, R., Özogul, Y., Polat, A. ve Özogul, F. (2021). Recent advances in industrial applications of seaweeds. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1-30.

Ren, C. G., Liu, Z. Y., Wang, X. L., & Qin, S. (2022). The seaweed holobiont: from microecology to biotechnological applications. *Microbial Biotechnology*, 15(3), 738-754.

Shannon, E., Conlon, M., & Hayes, M. (2021). Seaweed components as potential modulators of the gut microbiota. *Marine Drugs*, 19(7), 358.

Siddiqui, S. A., Bahmid, N. A., Mahmud, C. M., Boukid, F., Lamri, M., & Gagaoua, M. (2022). Consumer acceptability of plant-, seaweed-, and insect-based foods as alternatives to meat: A critical compilation of a decade of research. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1-22.

Soroush, S., Ronsse, F., Park, J., Ghysels, S., Wu, D., Kim, K.W., Heynderickx, P. M. (2023). Microwave assisted and conventional hydrothermal treatment of waste seaweed: Comparison

of hydrochar properties and energy efficiency. Science of The Total Environment Volume 878, 163193

Tahmaz Karaman, H., Yüksel Küskü, D., & Kunter, B., (2024). Asmada deniz yosunu ve maya uygulamalarının biyostimulant ve tuz stresine karşı etkilerinin belirlenmesi. Mustafa Kemal University Journal Of Agricultural Sciences (MKUJAS) , vol.29, no.2, 569-588.

Thakur, N., Salama, E. S., Sharma, M., Sharma, P., Sharma, D., & Li, X. (2022). Efficient utilization and management of seaweed biomass for biogas production. Materials Today Sustainability, 18, 100120.

Tursun, A., Ö. (2022). Deniz yosununun (organik gübre) yapraktan uygulanmasının kışnişin verimi, uçucu yağı ve kimyasal bileşimi üzerindeki etkisi. Plos bir., 17 (6), e0269067.

Vázquez-Arias, A., Pacín, Ares, C. A., Fernández, J. A., Aboal, J. R. (2023). Do we know the cellular location of heavy metals in seaweed? An up-to-date review of the techniques. Science of The Total Environment Volume 856, Part 2, 159215

Vidyashree, J. S., Shetti, P. P., & Ghagane, S. C. (2024). Seaweeds as a potential resource in diabetes management: a review. Future Journal of Pharmaceutical Sciences, 10(1), 12.

Wang, S., Zhang, B., Chang, X., Zhao, H., Zhang, H., Zhao, T., & Qi, H. (2023). Potential use of seaweed polysaccharides as prebiotics for management of metabolic syndrome: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1-21.

Wichard, T. (2023). From model organism to application: Bacteria-induced growth and development of the green seaweed *Ulva* and the potential of microbe leveraging in algal aquaculture. *Seminars in Cell and Developmental Biology* 134 (2023) 69–78.

Yalçın, E. (2019). Tıbbi ve ekonomik bitkiler [PowerPoint slayt]. Slayt paylaşımı.
<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/eryalcin/61008/TIBB%C4%B0%20VE%20EKONOM%C4%B0K%20B%C4%B0TK%C4%B0LER%201.ppt>

Yang, W., Dou, Z., Liu, Y., Zhao, Y., Huang, R. (2023). Gaseous mercury capture using seaweed biochars modified by clean ultraviolet/hydrogen peroxide advanced oxidation process. *Journal of Cleaner Production* Volume 389, 136121

Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y., Chu, Y., & Zhao, C. (2022). Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1), 23.

Zhao, Y., Bourgougnon, N., Lanoisellé, J. L., & Lendormi, T. (2022). Biofuel Production from Seaweeds: A Comprehensive Review. *Energies*, 15(24), 9395.

Znad, H., Awual, M. R., & Martini, S. (2022). The utilization of algae and seaweed biomass for bioremediation of heavy metal-contaminated wastewater. *Molecules*, 27(4), 1275.

