



## Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/en/pub/yyufbed>



### Derleme Makale

### Deniz Marullarından *Ulva lactuca*: Kimyasal, Besinsel ve Teknolojik Özellikleri

Emine NAKİLCİOĞLU<sup>\*1</sup>, Gizem TİRYAKİ<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

\*Sorumlu yazar e-posta: [gizemmtiryaki@gmail.com](mailto:gizemmtiryaki@gmail.com)

**Öz:** Deniz yosunları, okyanuslarda, denizlerde ve tatlı sularda bulunan çok hücreli su bitkileridir. Deniz yosunları, fotosentez sonucunda oksijen üreterek besin döngüsüne katkıda bulunmaktadır. Deniz yosunları familyasından gelen ve deniz marulu olarak bilinen *Ulva*, büyüme hızı ve besleyici özellikleri nedeniyle öne çıkmaktadır. Farklı *Ulva* türlerinin farklı besin bileşimleri, *Ulva* türlerinin yetiştirildiği coğrafi bölgelerin çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır. *Ulva* türlerinin yüksek protein ve zengin amino asit içeriğine sahip olduğu bilinmektedir. Yapısı, bileşimi ve jel oluşturma gibi işlevsel özellikleri sayesinde farmasötik uygulamalarda ve gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan *Ulva lactuca*, zengin besin içeriği ve biyoaktif bileşenleri sayesinde giderek daha fazla araştırmanın odağı haline gelmektedir. *U. lactuca*, obezite, diyabet, kanser ve kardiyovasküler hastalıkların iyileştirilmesine yardımcı olan diyet lifi bakımından zengin bir kaynaktır. *U. lactuca*'nın tahıl ve baklagiller ile karşılaştırılabilir kadar yüksek protein içeriğine sahip olması, bu türlerin insan beslenmesindeki önemini açıklamaktadır. *U. lactuca*'nın protein içeriği %20'ye kadar çıkabilmekte, bu da onu yüksek proteinli gıda maddeleri arasında değerlendirilmeye uygun kılmaktadır. Ayrıca işlevsel özellikleri sayesinde gıda, kozmetik ve tıp gibi sektörlerde kullanıma uygun olan *U. lactuca*, biyolojik olarak aktif bileşikler üretme kabiliyeti sayesinde de tarım, biyogübre ve hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir. *U. lactuca*'nın potansiyelinden tam anlamıyla faydalanabilmek için, bu yosunun protein ekstraksiyon yöntemleri ve fonksiyonel özellikleri üzerine daha fazla araştırma yapılması önem taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Bitkisel protein, Deniz yosunu, Protein içeriği, *Ulva*, *Ulva lactuca*,

### *Ulva lactuca* from Sea Lettuce: Chemical and Nutritional Properties

**Abstract:** Seaweeds are multicellular aquatic plants found in oceans, seas, and freshwater. Seaweed contributes to the nutrient cycle by producing oxygen as a result of photosynthesis. *Ulva*, a member of the seaweed family and known as sea lettuce, stands out for its growth rate and nutritional properties. The distinct nutritional compositions of different *Ulva* species stem from the diversity of geographic regions where they are cultivated. *Ulva* species are known for their high protein content and rich amino acid profile. *Ulva lactuca* is widely used in pharmaceutical applications and the food industry thanks to its structure, composition, and functional properties such as gel formation. With its rich nutrient content and bioactive compounds, *U. lactuca* is increasingly becoming the focus of research. *U. lactuca* is a rich source of dietary fiber, which helps in the management of obesity, diabetes, cancer, and cardiovascular diseases. The high protein content of *U. lactuca*, comparable to that of grains and legumes, explains its importance in human nutrition. *U. lactuca*'s protein content can reach up to 20%, making it a suitable candidate for high-protein food products. Additionally, due to its functional properties, *U. lactuca* is suitable for use in industries such as food, cosmetics, and medicine. Its ability to produce biologically active compounds also makes *U. lactuca* a valuable ingredient in agriculture, biofertilizer, and animal feed. To fully utilize *U. lactuca*'s potential, further research on protein extraction methods and functional properties is crucial.

**Keywords:** Plant protein, Protein content, Seaweed, *Ulva*, *Ulva lactuca*,

Gönderilme Tarihi: 18.05.2025

Kabul tarihi: 19.01.2026

**Nasıl atıf yapılır?:** Nakilcioğlu, E. & Tiryaki G. (2026). Deniz Marullarından *Ulva lactuca*: Kimyasal, Besinsel ve Teknolojik Özellikleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 31, 439-459.

<https://doi.org/10.53433/yyufbed.1701615>

## 1. Giriş

Deniz marulu olarak bilinen *Ulva*, dünya çapındaki dağılımı ve geniş tür çeşitliliği ile dikkat çeken bir yeşil makroalg cinsidir (Roleda ve ark., 2021; Lagourgue ve ark., 2022). Ekosistemdeki çok yönlü rolleri ve morfolojik çeşitlilikleriyle dikkat çeken bu organizmalar, dünya genelinde ılıman ve tropikal bölgelerde yaygın olarak bulunmaktadır (Zeng ve ark., 2025). Genellikle kıyı ekosistemlerinde, kayalık yüzeylerde veya kumluk zeminlerde yetişen bu algler, özellikle besin maddelerince zengin ve iyi ışık alan yerlerde hızla gelişim göstermektedir (Simon ve ark., 2022; Zollmann ve ark., 2023; Peter ve ark., 2024). Türkiye kıyılarında ise yaygın olarak bulunan *Ulva* türleri, özellikle Çanakkale Boğazı, İzmir Körfezi, Mersin ve Antalya’da gözlemlenmektedir (Engin ve ark., 2019; Erguden ve ark., 2021; Naz ve ark., 2024).

En bilinenleri *Ulva lactuca*, *U. rigida*, *U. compressa*, *U. intestinalis* ve *U. prolifera* olmak üzere 120’yi aşkın *Ulva* türü bulunmaktadır (Guiry, 2013). Farklı *Ulva* türlerinin besinsel bileşimleri, kuru madde bazında %43–78 toplam karbonhidrat, %11–50 kül, %10–27 protein ve %0.5–4 lipid arasında değişkenlik göstermektedir (Dominguez ve Loret, 2019). Bu türler arasındaki besinsel farklar, büyük ölçüde coğrafi konum ve çevresel yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir (Mamede ve ark., 2021). *Ulva* türlerinin besinsel bileşiminde en baskın bileşenler arasında doymuş yağ asidi olan palmitik asit (16:0) bulunmakta olup, linoleik asit (18:2 n-6) ve linolenik asit (18:3 n-3) gibi esansiyel yağ asitleri de önemli yer tutmaktadır (Lopes ve ark., 2019). Yapılarında kalsiyum, sodyum, magnezyum ve demir gibi mineralleri içeren *Ulva* türleri, biyoaktif bileşikler açısından da oldukça zengin kaynaklardır (Paiva ve ark., 2016; Dominguez ve Loret, 2019). Yapılan bir çalışmada *Ulva* türlerinin yüksek potasyum içeriğine sahip olduğunu ve kalsiyum, sodyum ve demir miktarlarının kara bitkilerindeki düzeylerden daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Tabarsa ve ark., 2012). Ayrıca, A, B<sub>12</sub>, C, D ve E vitaminlerinin yanı sıra folik asit ve riboflavin gibi vitaminleri içeren *Ulva* türleri, doğal antioksidanlar ve antimikrobiyaller bakımından da önemli bir kaynaktır (Kumar ve ark., 2021). Çizelge 1’de farklı *Ulva* türlerinin besinsel bileşimleri gösterilmektedir. Bu bulgular, *Ulva* türlerinin, sürdürülebilir gıda ve biyoteknolojik uygulamalar için potansiyel bir kaynak oluşturduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Farklı *Ulva* türlerinin besinsel bileşimleri (Ratana-arporn ve Chirapart, 2006; Ortiz ve ark., 2006; Pirian ve ark., 2016; Morais ve ark., 2020; Jacobsen ve ark., 2023)

| Türler                 | Karbonhidrat (%) | Protein (%) | Kül (%) | Nem (%) | Lipid (%) |
|------------------------|------------------|-------------|---------|---------|-----------|
| <i>U. reticulata</i>   | 55.77            | 21.06       | 17.58   | 22.51   | 0.75      |
| <i>U. lactuca</i>      | 61.5             | 27.2        | 11      | 12.6    | 0.3       |
| <i>U. fenestrata</i>   | 55               | 14.3        | -       | -       | 1.77      |
| <i>U. intestinalis</i> | 45.1             | 14.4        | -       | -       | 3.25      |
| <i>U. prolifera</i>    | -                | 20.07       | 16.92   | -       | 6.36      |
| <i>U. rigida</i>       | 43-56            | 18-19       | 28.6    | -       | 0.9-2     |

Derlemenin amacı, yeşil alg türlerinden biri olan *U. lactuca*’nın kimyasal bileşimi ve besinsel özelliklerini güncel literatür doğrultusunda kapsamlı şekilde incelemektir. *U. lactuca*, zengin protein, lif, vitamin ve mineral içeriğinin yanı sıra biyolojik aktif bileşenler (polifenoller, pigmentler, polisakkaritler vb.) bakımından da dikkat çeken bir deniz yosunu türüdür. Bu bağlamda çalışmada, *U. lactuca*’nın makro ve mikro besin öğeleri, antioksidan kapasitesi, fonksiyonel bileşenleri ve potansiyel kullanım alanları detaylandırılarak, bu türün insan beslenmesindeki yeri ve gıda endüstrisindeki uygulama potansiyeli ortaya konulmaktadır.

## 2. *Ulva* Türlerinin Kimyasal ve Besinsel Özellikleri

*Ulva* türlerinin yüksek protein ve zengin amino asit içeriğine sahip oldukları bilinmektedir (Moreda-Piñeiro ve ark., 2012; Hofmann ve ark., 2024). Bu türlerin protein konsantrasyonu, yetiştirilme koşulları ve çevreye göre %10-30 aralığında değişim göstermektedir (Wong ve Cheung, 2000; Pereira, 2011). Örneğin azot bakımından zengin sularda yetiştirilen *Ulva* türlerinin protein

içeriği, kuru madde bazında %30'un üzerine çıkabilmektedir. Bununla birlikte, Danimarka'da doğal sularda yetiştirilen *Ulva* türlerinin protein içeriği ise kuru madde bazında %8 olarak belirlenmiştir (Naidoo ve ark., 2006; Juul ve ark., 2022b). Bu veriler, çevresel faktör ve yetiştirme koşullarının, *Ulva* türlerinin protein içeriğini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. *U. reticulata* ve *U. prolifera* türlerinin protein içerikleri genellikle %20 civarlarında iken, *U. lactuca* türü çevresel koşullara bağlı olarak kuru ağırlığının %32'si kadar protein içerebilmektedir (Ratana-arporn ve Chirapart, 2006; Pirian ve ark., 2016; Malo, 2017). Bu durum, *U. lactuca*'nın soya fasulyesi unu gibi geleneksel protein kaynaklarına kısmi bir alternatif olmasını sağlamaktadır (Ribeiro ve ark., 2023). *Ulva* türlerinin geleneksel protein kaynaklarına alternatif olma potansiyeli oldukça yüksektir. Örneğin, *Ulva* türleri azot bakımından zengin sularda yetiştirildiğinde protein içerikleri önemli ölçüde artmaktadır. Bu, deniz yosunlarının besin içeriğini iyileştiren bir faktördür (Shuuluka ve ark., 2013). *U. lactuca*'nın yüksek protein içeriğine sahip olması, onu özellikle yüksek protein gereksinimlerine sahip olan tüketiciler için uygun bir alternatif haline getirmektedir. Bu, geleneksel yem kaynaklarına, örneğin soya fasulyesi veya hayvansal proteinlere olan bağımlılığı azaltabilmektedir. Deniz yosunları, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir protein kaynağı sunarak, geleneksel protein kaynaklarına kıyasla çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Geleneksel protein kaynaklarının üretimi, çevresel ayak izini artırırken, deniz yosunları düşük çevresel etkiyle yetiştirilebilme olanağına sahiptir. Bu özellik, deniz yosunlarını tarım ve gıda endüstrileri için cazip bir alternatif haline getirmektedir. Özellikle *Ulva* türleri, deniz yosunu yetiştiriciliği yapılan bölgelerde, sürdürülebilir bir protein üretim kaynağı olarak kullanılabilir.

Protein içeriği, *Ulva*'nın türüne, mevsimsel değişikliklere, ortamın besin içeriğine, sıcaklık, yağış ve rüzgâr gibi çevresel faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Bikker ve ark., 2020; Jansen ve ark., 2022). Stedt ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan bir çalışmada somon ve karides gibi gıda üretiminden gelen proses sularında *U. intestinalis* ve *U. fenestrata*'nın yetiştirilmesi araştırılmıştır. 8 gün boyunca ana azot kaynağı amonyum olan proses suları ile beslenen *Ulva* türlerindeki protein içeriğinin, deniz suyu ile beslenen kontrol grubuna kıyasla 1.5-3.5 kat daha fazla olduğu bulunmuştur. Abirami ve Kowsalya (2011), yetersiz protein alımı ve mikro besin eksiklikleriyle mücadele etmek için diyetlerde *Ulva* kullanımını önermiştir (Bolton ve ark., 2016).

*Ulva* türlerinin amino asit içeriğine bakıldığında *U. capensis*, *U. rigida* ve *U. lactuca* türlerinin özellikle aspartik asit olmak üzere; alanin ve glisin amino asitleri açısından oldukça zengin oldukları görülmektedir. Bu türlerin esansiyel aminoasit profilleri, baklagil bitkileri ve ovalbümin (yumurta) profillerine nispeten yakın görünmektedir (Shuuluka ve ark., 2013). *Ulva* türlerinin amino asit profili, geleneksel protein kaynaklarıyla karşılaştırıldığında daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Ancak, glisin, alanin ve aspartik asit gibi amino asitlerin yüksek miktarda bulunması, bu yosunları özellikle balık ve deniz ürünleri üretimi gibi alanlarda potansiyel bir alternatif haline getirmektedir. Geleneksel protein kaynakları genellikle tüm temel amino asitleri içerirken, deniz yosunları bu asidik amino asitler açısından daha güçlüdür. Bu durum *Ulva* türlerini özellikle hayvan yemlerinde kullanıma uygun hale getirmektedir.

*Ulva* türlerinin insan tüketimine uygun besin değerlerine sahip olduğunun belirlenmesi amacıyla protein kalitesinin ve konsantrasyonunun analizi oldukça önemlidir. *Ulva* yapısında nitrat, amonyak, klorofil ve nükleik asit gibi protein olmayan azot bileşenlerini yüksek miktarda içermektedir. Bu nedenle *Ulva* türlerinin protein içeriğinin, toplam azot içeriğine ve genel olarak kullanılan 6.25'lik N-protein dönüşüm faktörüne göre belirlendiğinde, çok daha yüksek bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu faktör, analiz edilen örneklerde azot kaynağının yalnızca protein olduğunu varsaymaktadır. Ancak her bir amino asitteki azot içeriği farklıdır ve her bir proteinde farklı amino asit bileşimleri bulunmaktadır (Juul ve ark., 2024). Örneğin, Templeton ve Laurens (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, deniz yosunlarında kullanılan 6.25'lik dönüşüm faktörünün yanıltıcı sonuçlar doğurabileceği açıklanmıştır. Deniz yosunlarında, özellikle nişasta ve diğer azotlu bileşiklerin olması nedeniyle, bu dönüşüm faktörü doğru protein içeriğini yansıtmamaktadır. Çalışmada, deniz yosunlarının protein içeriğinin doğru şekilde hesaplanabilmesi için dönüşüm faktörünün 5.5-6 arasında bir aralığa ayarlanması gerektiği vurgulanmıştır.

Shuuluka ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, *U. capensis*, *U. rigida* ve *U. lactuca* türlerinin protein içeriği, amino asit kompozisyonu ve azot-protein dönüşüm faktörleri analiz edilerek, bu türlerin besin profilleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerde *U. lactuca*'nın protein içeriği, 5.65'lik N-protein faktörü ile belirlenmiştir. Bu, diğer türler ile kıyaslandığında oldukça

yüksek bir protein değeri olarak öne çıkmaktadır. *U. rigida*'nın protein içeriği, 5.12'lik N-protein faktörü ile ölçülerek protein içeriği bakımından *U. lactuca*'dan biraz daha düşük seviyelere sahip olduğu belirlenmiştir. *U. capensis*'in protein içeriği ise 5.58'lik N-protein faktörü ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu türün *U. rigida*'ya göre biraz daha yüksek protein değerlerine, *U. lactuca*'ya göre ise biraz daha düşük protein değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Angell ve arkadaşları (2016) tarafından ise bireysel ölçümlere ve 110 deniz yosunu türüne dayalı, evrensel bir 5 N-protein dönüşüm faktörü önerilmiştir. Bu dönüşüm faktörleri, *Ulva* türüne, biyokütle rengine ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Labib ve Hosny, 2020; Nissen ve ark., 2024). Bu sebeple, *Ulva* türlerinin protein içeriğinin elde edilmesinde, azot analizinin yapılması ve dönüşüm faktörlerinin doğru kullanımı oldukça önemlidir (Mæhre ve ark., 2018).

*Ulva* türlerinin biyokimyasal kompozisyonu ile biyokütlelerinin rengi arasında bir ilişki bulunmaktadır. Daha koyu yeşil rengine sahip olan biyokütlelerin daha yüksek azot içeriği ve dolayısıyla daha yüksek protein değerlere sahip olduğu görülmüştür (Stedt ve ark., 2022; Nissen ve ark., 2024). Biyokütlenin rengi ile biyokimyasal kompozisyonu arasındaki bu ilişki, doğadan toplanan *Ulva* türlerinin protein kalitesinin tahmini için avantajlı bir araç olarak görülmektedir.

Protein kalitesi, sindirilebilirlik ve biyoyararlanım ile ölçülerek gıdanın amino asit bileşimi ve uygulanan işlem süreçleri gibi faktörlerden etkilenmektedir (Wan ve ark., 2021). Protein sindirilebilirliği, gastrointestinal sistemden geçiş sürecinde gıdalardan serbest amino asitlerin ve peptitlerin salınma derecesini ifade ederken, protein biyoyararlanımı ise bu serbestleşen bileşenlerin emilim, kullanım ve metabolik fonksiyonlara katılım düzeyini tanımlamaktadır (Ajomiwe ve ark., 2024; Santos-Sánchez ve ark., 2024). *Ulva* türlerinde bulunan proteinlerin sindirilebilirlik ve biyoyararlanım düzeyleri, onların besin değeri ve işlevselliğini doğrudan etkilemektedir (Molina-Gilarranz ve ark., 2025). Trigo ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada *U. fenestrata* proteinlerinin in vitro sindirim ve Caco-2 hücre modeliyle biyoyararlanım analizleri gerçekleştirilerek yüksek sindirilebilirlik değerleri elde edilmiştir.

Molina-Gilarranz ve ark. (2025) tarafından yapılan çalışma ise deniz yosunlarından elde edilen proteinlerin sindirilebilirlik düzeylerinin işleme koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymaktadır. Sıçan modeli kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, *Ulva* sp. protein özütlerinin ham yosunlara kıyasla daha yüksek azot sindirilebilirliği gösterdiği bildirilmiştir. Benzer şekilde Juul ve arkadaşları (2022b), *Ulva* sp. proteinlerinin farklı işleme koşulları altında sindirilebilirliğini in vivo olarak değerlendirerek protein ekstraksiyonunun sindirim etkinliğini anlamlı düzeyde artırdığını bildirmiştir. Mevcut veriler, *Ulva* türlerinden elde edilen proteinlerin, özellikle ekstraksiyon işlemleri sonrası, sindirilebilirlik ve amino asit erişilebilirliği açısından iyileştirilebileceğini ve böylece biyoyararlanım potansiyelinin artırılabilirliğini göstermektedir. Yapılan başka bir in vitro sindirim çalışmasında ise, *U. lactuca*'nın protein sindirilebilirliği 0.79 olarak belirlenerek bu türün proteinlerinin yüksek biyoyararlanım potansiyeline sahip olduğunu gösterilmiştir (De Bhowmick ve Hayes, 2022).

## 2.1. *Ulva* türlerinin kullanım alanları

Deniz yosunları, gıda katkı maddeleri, hayvan yemleri, ilaçlar, nutrasötikler, kozmetikler ve tekstil gibi birçok sektörde kullanılmakta ve bu alanlarda ekonomik değeri giderek artmaktadır (Lange ve ark., 2015; Cai ve ark., 2021). Ayrıca biyogübreler ve biyostimülanlar olarak tarımsal verimliliği artırmada kullanılan deniz yosunları, biyopakajlama malzemelerinde (biyolojik kaynaklı, çevre dostu ambalajlama) alternatifler sunmada ve biyoyakıt üretiminde sürdürülebilir enerji kaynağı olarak önemli bir rol oynamaktadır. Deniz yosunu sektörü, mevcut pazarının ötesinde belirgin bir büyüme potansiyeline sahiptir. Sağlık bilincinin artması ve alternatif protein kaynaklarına yönelim, özellikle Avrupa'da yenilebilir deniz yosunlarına olan talebi artırmakta ve bu pazarın büyümesini hızlandırmaktadır (Roleda ve Heesch, 2021). Küresel deniz yosunu üretimi, 2012 yılında yaklaşık 9 milyon ton civarına ulaşarak bu miktarın büyük bir kısmı doğrudan insan tüketimi için kullanılmıştır (Loureiro ve ark., 2015). *Ulva* türleri, Fransa yetkilileri tarafından insan tüketimi için onaylanan bazı deniz yosunu türleri arasında yer almakta ve taze veya kurutulmuş biçimde önemli bir gıda bileşeni olarak kabul edilmektedir (Pádua ve ark., 2004). Bunun yanında *Ulva* türlerinin antibakteriyel, antikanserojen ve antioksidan gibi farmakolojik ve nutrasötik uygulamaları bulunmaktadır (Elnabris ve ark., 2013; Ahmed ve ark., 2020). Ayrıca yenilebilir *Ulva* tüketiminin kalp hastalıkları, Alzheimer

ve mide rahatsızlıklarına iyi geldiği gibi, diyet amaçlı tüketildiklerinde kilo kaybına ve sindirim sağlığına katkıda bulunduğu da bilinmektedir (Abdel-Daim ve ark., 2019; Madhusudan ve Baskaran, 2023).

*Ulva* ekstraktlarının gıda ürünlerine eklendiği çeşitli ürünler geliştirilmiştir (Madhusudan ve Baskaran, 2023). Özellikle Hindistan'ın güney kıyıları boyunca yoğun olarak bulunan *Ulva* türleri, Asya'da gıda çeşnisi ve besin takviyesi olarak kullanılmaktadır (Chen ve ark., 2018). Hindistan'da "Pakoda" adı verilen, nohut unundan yapılan atıştırılmalıklara *Ulva* dahil edilmektedir. Japon mutfağında ise baharat, garnitür ve sebze olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Japonların günlük beslenmelerinin %10-25'ini oluşturan *Ulva* türleri, "aonori" ya da "yeşil laver" olarak bilinmektedir. Bu türler, yüksek yağ tutma kapasiteleri sayesinde çikolata gibi lipid bazlı gıdalarda potansiyel olarak kullanılabilir (Udayangani ve ark., 2019). Bu sonuçlar, *Ulva* protein ekstraktlarının gıda ürünlerinde kullanımı konusunda daha fazla potansiyel uygulama alanı sağladığını göstermektedir. *Ulva* protein ekstraktlarının amino asit profili sayesinde, yüksek besin değerine sahip ürünlerin geliştirilmesi mümkündür (Matos ve ark., 2021).

*Ulva* türlerinin çevresel koşullara duyarlı olmaları ve doğal ortamlarda hızlı bir şekilde yetiştirebilmeleri, bu türlerin sürdürülebilir gıda kaynakları olarak kullanılmasını daha cazip hale getirmektedir. Özellikle, deniz yosunlarının karbon Emilimi ve su tüketimi açısından düşük bir çevresel ayak izine sahip olmaları, onları çevre dostu alternatifler olarak ön plana çıkarmaktadır.

### 3. *Ulva lactuca*

*Ulva* cinsinin en bilinen türlerinden biri olan *U. lactuca*, dünya genelinde kıyı bentik bölgelerinde yaygın olarak bulunmaktadır (Raj ve ark., 2020). İnce ve düz yaprakları ile tanınan *U. lactuca*'nın rengi, bulunduğu ortama bağlı olarak yeşilden koyu yeşile kadar değişmektedir (Yu-Qing ve ark., 2016). *U. lactuca* hem doğal ortamlarda hem de tarımsal koşullarda hızlı ve verimli büyüyen bir türdür. Yapısı, bileşimi ve jel oluşturma gibi işlevsel özellikleri sayesinde doku mühendisliğinde ve farmasötik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Robic ve ark., 2009). Ayrıca zengin besin içeriği ve biyoaktif bileşenleri sayesinde giderek daha fazla araştırmanın ilgisini çekmektedir. *U. lactuca*'nın gaz kromatografisi kütle spektrometresi (GC-MS) cihazı ile yapılan analizler sonucunda 1-Tricosanol, Lactaropallidin, Neophytadiene, Fenretinide, Vincadifformine ve Lucenin gibi biyoaktif bileşikler içerdiği tespit edilmiştir (Chen ve ark., 2018). Bu biyoaktif bileşiklerin varlığı, *U. lactuca*'yı fonksiyonel gıdalar ve tedavi edici uygulamalar için değerli bir seçenek haline getirmektedir. Ayrıca *U. lactuca*; phytol ve 5-Octadecenal gibi fonksiyonel bileşenler bakımından da zengin olup, sağlık üzerinde olumlu etkiler göstermektedir (Anjali ve ark., 2019). GC-MS ile elde edilen bileşen analizleri, bu türün biyoteknolojik ve farmasötik uygulamalar açısından taşıdığı yüksek potansiyeli ortaya koymaktadır. *U. lactuca*'nın içerdiği fonksiyonel bileşikler, bu türü yalnızca beslenme açısından değil, aynı zamanda tedavi edici amaçlarla kullanılabilecek güçlü bir kaynak olduğunu göstermektedir. Örneğin, Fenretinide gibi bileşiklerin kanserle mücadelede etkin olduğu bilinmektedir. Bu da *U. lactuca*'yı potansiyel bir anti-kanser ajanı olarak ön plana çıkarmaktadır (Khalil Mohamed ve ark., 2023).

#### 3.1. *Ulva lactuca*'nın kimyasal ve besinsel bileşimi

*U. lactuca*'nın besinsel bileşimi yetiştirildiği coğrafi konum, mevsim ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişim göstermektedir (Cindana Mo'o ve ark., 2020). Yapılan çalışmalar, *U. lactuca*'nın karbonhidrat, protein, lipid ve diyet lifi açısından zengin bir kaynak olduğunu göstermektedir. *U. lactuca*'nın kuru ağırlık bazında besinsel bileşimi çalışmalarda farklılık göstermekte olup, karbonhidrat oranı %58,1, protein oranı %13,6, lipid oranı %0,19 ve toplam diyet lifi oranı %54,9 olarak belirtilmektedir (Raj ve ark., 2020). Ana monosakkariti glikoz olan *U. lactuca*'nın yapısında galaktoz, ramnoz ve ksiloz da bulunmaktadır. Ayrıca *U. lactuca*, depo polisakkariti olan Ulvan bakımından zengin bir kaynaktır (Madhusudan & Baskaran, 2023). Ulvan, *Ulva* türlerinin hücre duvarı yapılarında yaygın olarak bulunmaktadır. *U. lactuca*'nın farklı suda çözünür sülfatlanmış fraksiyonlarını (liflerini) tanımlayan Ulvan, insan ve hayvan beslenmesi için hayati önem taşıyan bir enerji rezervidir. Sülfatlanmış polisakkaritler antioksidan, antiviral ve antikanserojen gibi biyolojik aktiviteler göstermektedir. Ulvan ile tedavi edilen sıçanlarda kolesterol, LDL ve VLDL seviyelerinin düşürülerek

anti-hiperlipidemik aktivite gösterdiği tespit edilmiştir (Hassan ve ark., 2011). Ulvan, antioksidan ve bağışıklık düzenleyici aktivitesi ile gıda ve ilaç endüstrilerinde doğal antioksidanlara olan talebi karşılamaktadır (Yu-Qing ve ark., 2016; Yaich ve ark., 2017). Gıda endüstrisinde emülsifiye edici ve stabilizatör olarak kullanılan Ulvan, jelleşme ve reolojik özellikleri sayesinde sentetik jelatin için iyi bir alternatiftir (Morelli ve ark., 2019; Shalaby ve Amin, 2019). Ayrıca Ulvan'ın glukoronat ve ramnoz gibi şekerlerin fermente olarak prebiyotik ve simbiyotik etki gösterdiği belirlenmiştir (Venugopal, 2019).

*U. lactuca*'nın zengin diyet lifi içeriği, diğer besin maddelerinde olduğu gibi coğrafi dağılıma göre farklılık göstermektedir (Yaich ve ark., 2017). Diyet lifi içeriği açısından *U. lactuca*, geleneksel kara bitkilerine göre çok daha zengin bir kaynaktır. Özellikle, çözünür ve çözünmez lif içeriği sayesinde kan şekeri dengesinin sağlanmasında ve kolesterol seviyelerinin düşürülmesinde rol oynamaktadır. Ortiz ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, Şili'nin kuzey kıyı bölgelerinden taze olarak toplanmış *U. lactuca*'nın toplam diyet lifi içeriğinin  $60,5 \pm 1.5$  olduğu belirtilmiştir. Yaich ve arkadaşları (2011) tarafından yapılan bir çalışmada ise Tunus kıyılarından taze olarak toplanan *U. lactuca*'nın toplam diyet lifi içeriğinin  $54,9$ ; Endonezya'dan toplanan *U. lactuca*'nın toplam diyet lifi içeriğinin ise  $28,4$  olduğu rapor edilmiştir (Rasyid, 2017). *U. lactuca*'nın ana çözünmez lifi hemiselülozdur ve bu türün diyet lifi içeriğinin meyve ve sebzelerden daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Çizelge 2). *U. lactuca* yapısında bulunan çözünmeyen liflerin, yüksek su ve yağ tutma kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Bu durum, *U. lactuca*'nın yüksek yağ içeren gıdaların stabilizasyonunda ve düşük kalorili gıdalarda kullanılabilmesini sağlamaktadır (Yaich ve ark., 2015; Debbarma ve ark., 2016). Diyet liflerinin sindirim sistemi sağlığını destekleyerek ve kolesterol seviyelerini düşürerek sağlık üzerinde olumlu etkiler sağladığı bilinmektedir. Ayrıca, bu liflerin gıda endüstrisinde kullanılması, doğal ve sürdürülebilir bir hammadde kaynağı sunmaktadır. Bu bağlamda, deniz yosunlarından elde edilen diyet liflerinin kullanımı hem sağlık hem de çevre açısından faydalı bir yaklaşımdır.

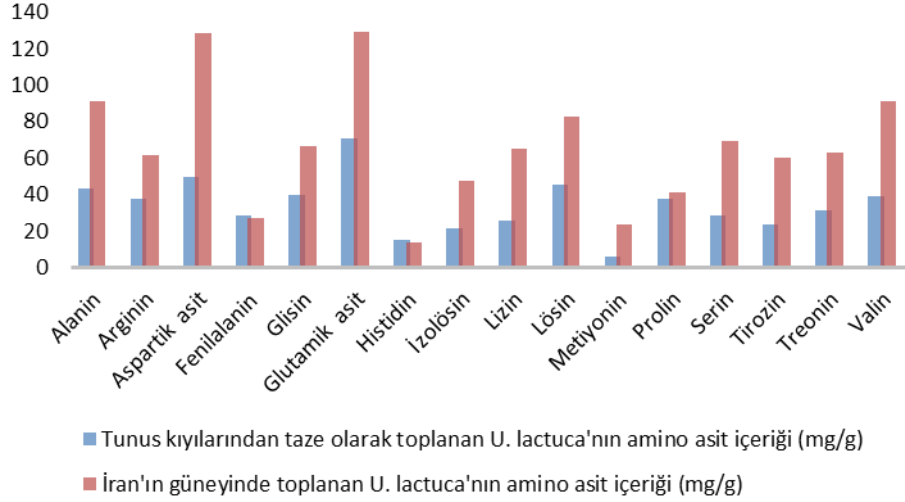
Çizelge 2. *U. lactuca*'nın diyet lifi içeriğinin bazı meyve ve sebzeler ile karşılaştırılması (Lund ve Smoot, 1982; Ramulu ve Rao, 2003; Yaich ve ark. 2011)

| Ürün                                     | Selüloz         | Hemiselüloz       | Toplam diyet lifi | Çözünmeyen lif   | Çözünür lif      |
|------------------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
| <i>U. lactuca</i>                        | $9.13 \pm 0.04$ | $20.60 \pm 0.06$  | $54.90 \pm 0.95$  | $34.37 \pm 0.67$ | $20.53 \pm 0.28$ |
| Ananas ( <i>Ananas comosus</i> )         | $0.37 \pm 0.02$ | $0.51 \pm 0.02$   | $2.8 \pm 0.13$    | $0.80 \pm 0.00$  | $0.5 \pm 0.03$   |
| Portakal ( <i>Citrus aurantium</i> )     | -               | -                 | $1.1 \pm 0.03$    | $0.6 \pm 0.03$   | $0.5 \pm 0.03$   |
| Elma ( <i>Malus sylvestris</i> )         | -               | -                 | $3.2 \pm 0.21$    | $2.3 \pm 0.19$   | $0.9 \pm 0.05$   |
| İncir ( <i>Ficus carica</i> )            | -               | -                 | $5.0 \pm 0.21$    | $2.6 \pm 0.09$   | $2.4 \pm 0.17$   |
| Tatlı patates ( <i>Ipomoea batatas</i> ) | $0.94 \pm 0.01$ | $0.115 \pm 0.001$ | -                 | $1.67 \pm 0.05$  | -                |

Farklı çalışmalar incelendiğinde, *U. lactuca*'nın protein içeriğinin coğrafi kaynağa göre  $4,3-16,21$  arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Bu oran, tahıl ve baklagillerle karşılaştırılabilir seviyelerde olup, bitkisel bazlı protein kaynaklarına olan ilgiyi arttırmaktadır (Singh ve ark., 2016; Bleakley ve Hayes, 2017). *U. lactuca*'nın yapısında bulunan esansiyel ve esansiyel olmayan amino asit çeşitleri arasında sınırlayıcı amino asidin, izolösin ve lösin olduğu belirtilmektedir (Şekil 1) (Yaich ve ark. 2011; Tabarsa ve ark., 2012). Ayrıca *U. lactuca*'nın yapısında bulunan glutamik asit tat duyusunun ana bileşeni olarak bu alglerin gıda endüstrisinde kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Pangestuti ve Kim, 2015).

*U. lactuca*'nın mineral profili, coğrafi köken, fizyolojik olgunluk, mevsim ve çevresel faktörler gibi birçok etkenden dolayı farklılık göstermektedir. Genel olarak kalsiyum açısından zengin bir deniz yosunu türü olan *U. lactuca*, havuç, brokoli, ıspanak gibi birçok sebzededen daha yüksek miktarda sodyum ve potasyum içeriğine sahiptir (Çizelge 4) (Orhan, 2019). Ayrıca kara bitkilerine kıyasla daha

fazla demir ve iyot içeren *U. lactuca*, B<sub>12</sub> ve C vitaminleri açısından da oldukça zengin bir kaynaktır (Reddy ve ark., 2006). Bu nedenle *U. lactuca*'nın gıdalarda kullanımı için iyi bir vitamin ve mineral kaynağı olabileceği düşünülmektedir (Tabarsa ve ark., 2012).



Şekil 1. *U. lactuca*'nın Tunus kıyılarından ve İran'ın güneyinden toplanan örneklerine ait amino asit kompozisyonunun karşılaştırılması (mg/g). Her bir amino asidin miktarı alanin, arjinin, aspartik asit, fenilalanin, glisin, glutamik asit, histidin, izolösin, lizin, lösin, metiyonin, prolin, serin, tirozin, treonin ve valin için ayrı ayrı gösterilmiştir. Veriler coğrafi farklılıkların amino asit dağılımı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır (Yaich ve ark. 2011; Tabarsa ve ark., 2012)

Çizelge 3. *U. lactuca*'nın mineral bileşimi (Madhusudan ve Baskaran, 2023)

| Mineral madde | mg/100 g kuru ağırlık <sup>a</sup> | mg/100 g kuru ağırlık <sup>b</sup> |
|---------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Bakır         | 1.45 ± 0.21                        | -                                  |
| Demir         | 199.45 ± 5.86                      | 14                                 |
| Kalsiyum      | 2782.13 ± 11.12                    | 1828                               |
| Kobalt        | 0.15 ± 0.03                        | -                                  |
| Manganez      | 2.11 ± 0.22                        | -                                  |
| Nikel         | 0.76 ± 0.01                        | -                                  |
| Potasyum      | 2414.02 ± 26.89                    | 467                                |
| Sodyum        | 1805.44 ± 58.6                     | 364                                |

<sup>a</sup>Tunus kıyılarından taze olarak toplanan *U. lactuca*'nın mineral içeriği

<sup>b</sup>Endonezya kıyılarından toplanan *U. lactuca*'nın mineral içeriği

Yüksek nem içeriğine sahip olan *U. lactuca*'nın lipid içeriği (%0,19- %1,1) oldukça düşüktür (Singh ve ark., 2016; Rasyid, 2017). *U. lactuca*'nın lipid içeriği, yetiştirildiği coğrafi konum, iklim ve ekstraksiyon yöntemleri gibi dış faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Ortiz ve ark., 2006). Yaich ve arkadaşları (2011)'nın yaptığı çalışmaya göre Tunus kıyılarından taze olarak toplanan *U. lactuca*'nın lipid içeriğinin diğer araştırmacıların bulgularına kıyasla daha yüksek (%7,87) olduğu bildirilmiştir. *U. lactuca*'nın yağ asidi profilinde  $\alpha$ -linolenik asit, doymamış yağ asitleri arasında en baskın olanı iken; palmitik asit doymuş yağ asitleri arasında başlıca yağ asidi olarak bildirilmiştir (Çizelge 5) (Singh ve ark., 2016). *U. lactuca* ayrıca linolenik asit ve araşidonik asit açısından iyi bir kaynaktır.

*U. lactuca*'nın yapısında bulunan fenolik madde, klorofil ve karotenoidler gibi doğal renk maddeleri, ortamın besin içeriği ve diğer çevresel koşullardan etkilenmektedir. Ayrıca, mevcut koşullar ve kullanılan ekstraksiyon yöntemleri de bileşenlerin özelliklerini ve verimliliğini etkilemektedir. Bazı çalışmalarda *U. lactuca*'nın yapısında bulunan fitokimyasalların belirlenmesi için fenolik ve flavonoid madde miktarlarına bakılmıştır. Erniati ve arkadaşları (2018)'nın yaptığı çalışmada Endonezya'nın Batı bölgesinden toplanan *U. lactuca*'nın 2,21 mg GAE/g flavonoid ve 5,91

mg GAE/g fenolik madde içeriğine sahip olduğunu bildirilmiştir. Elmegeed ve arkadaşları (2014)'nın yaptığı çalışmada ise Mısır'dan toplanan *U. lactuca*'nın 0,03 mg saponin, 2,36 mg flavonoid ve 79,58 mg alkaloid içerdiği belirtilmiştir.

Çizelge 4. *U. lactuca*'nın lipid içeriği (Ortiz ve ark., 2006; Yaich ve ark., 2011)

| Yağ asidi               | Metil ester (%) |
|-------------------------|-----------------|
| Palmitik asit C16:0     | 59.40 ± 0.56    |
| Palmitoleik asit C16:1  | 6.87 ± 0.23     |
| Stearik asit C18:0      | 8.39 ± 0.12     |
| Oleik asit C18:1        | 15.93 ± 0.50    |
| Linoleik asit C18:2     | 2.43 ± 0.05     |
| α -Linolenik asit C18:3 | 4.38 ± 0.31     |
| Arakidik asit C20:0     | 1.13 ± 0.10     |
| Tetrasanoik asit C24:0  | 9.45 ± 0.01     |

*U. lactuca*'dan elde edilen ekstraktlar, bütillhidroksianisol (BHA), butil hidroksi tolüen (BHT) ve α-tokoferol gibi sentetik antioksidanlara benzer antioksidan özellikler sergilemektedir (Madhusudan & Baskaran, 2023). HPLC analizleri sonucunda bu ekstraktlarda karotenoidler de dahil olmak üzere birçok farklı biyolojik aktif bileşiğin varlığı saptanmıştır. Bu nedenle *U. lactuca*, sentetik antioksidanlara alternatif olarak umut verici bir kaynak olarak düşünülmektedir (Abd El-Baky ve ark., 2008). *U. lactuca*'dan elde edilen sülfatlanmış polisakkaritlerin, enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemini etkilediği bilinmektedir. Ayrıca, *U. lactuca*'nın α-glukozidaz ve α-amilaz enzimlerini inhibe edici aktivite gösterdiği rapor edilmiştir. Bu nedenle *U. lactuca*, diyabet hastaları için yemek sonrası kan şekerini dengelemeye yardımcı olabilecek fonksiyonel bir gıda bileşeni olarak kullanılabilir (Reka ve ark., 2017).

Yapılan bir çalışmada *U. lactuca* ve onun hidroetanolik ekstraktının tip 2 diyabetli (T2D) sıçanlarda insülin direnci ve kolesterol ters taşınımı üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak *U. lactuca* ve onun hidroetanolik ekstraktının insülin direnci üzerinde iyileştirici etkileri olduğu belirtilmiştir. Bu sonuçlar *U. lactuca*'nın diyabetin tedavisi ve önlenmesi için fonksiyonel bir gıda takviyesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir (Labaci ve Boukourt, 2020).

### 3.2. *U. lactuca*'nın kullanım alanları

*U. lactuca*, işlevsel özellikleri ile gıda, kozmetik ve tıp sektörlerinde geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir (Çizelge 6). Biyolojik olarak aktif bileşikler üretme kabiliyeti sayesinde özellikle *U. lactuca*, tarım, biyogübre ve hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir. *U. lactuca* ekstraktlarının tarımsal alanda kullanımıyla birlikte bitki büyümesini iyileştirebileceği belirtilmektedir (Dominguez ve Lorete, 2019). Günümüzde doğal kozmetiklere olan talebin hızla artması ile deniz kaynaklarından elde edilen doğal bileşenler daha fazla ilgi görmektedir (Jesumani ve ark., 2019).

Çizelge 5. *U. lactuca* ekstraksiyonun endüstriyel kullanım potansiyeli

| Endüstri                          | Kullanım potansiyeli                                                                                                             | Kaynak                                                |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Tarım                             | Doğal biyopestisit olarak görev alma, bitki büyümesini teşvik etme ve ürün verimini artırma                                      | Ibrahim ve ark. (2014); Benítez García ve ark. (2020) |
| Kozmetik ve Cilt Bakım Endüstrisi | Nemlendirici ve yaşlanma karşıtı özellik sergileme, cilt yatıştırıcı etki (krem, losyon ve maskelere dahil edilmektedir)         | Abd El-Baky ve ark. (2008)                            |
| İlaç Endüstrisi                   | Antimikrobiyal, antiinflamatuvar ve antikanser özellik, immünomodülatör etki ve potansiyel terapötik ajanlar olarak kullanılması | Anjali ve ark. (2019)                                 |
| Gıda ve İçecek Endüstrisi         | Doğal gıda renklendiricisi ve ürünlerin görsel çekiciliğini artırma potansiyeli                                                  | Pappou ve ark. (2022)                                 |

Yapısında bulunan zengin flavonoid, polisakkarit ve vitamin içeriği ile *U. lactuca*, cilt yaşlanmasına neden olan serbest radikallere karşı koruyucu bir etki göstermektedir (Fernando ve ark., 2016; Reka ve ark., 2017). Ayrıca *U. lactuca*'dan elde edilen polisakkaritlerin antioksidan özellikleri, bu türü gıda ve ilaç endüstrilerinde değerli bir kaynak haline getirmektedir. İçerdiği biyoaktif bileşenler sayesinde *U. lactuca*, farklı uygulamalarda kullanılabilecek umut verici bir aday olarak öne çıkmaktadır.

### 3.2.1. Gıda alanında *U. lactuca*'nın kullanımı

Gıdalarda kullanılan biyoaktif bileşiklerin önemli bir kaynağı olan deniz yosunlarına olan talep giderek artmaktadır (Wells ve ark., 2017). Deniz yosunu bazı gıdaların düşük kalori, düşük glisemik değer ve besin çeşitliliği nedeniyle önümüzdeki yıllarda küresel yenilebilir deniz yosunu pazarının büyümesi beklenmektedir (Roohinejad ve ark., 2017). Ayrıca deniz yosunu tüketiminin tiroit bezi fonksiyonlarına, kilo kaybına ve sindirim sağlığına yardımcı olduğu bilinmektedir (Madhusudan ve Baskaran, 2023). *U. lactuca*, su ve yağ tutma kapasitesi gibi fonksiyonel özelliklere sahip olması nedeniyle gıda uygulamaları için uygun hale gelmektedir (Udayangani ve ark., 2019). Ayrıca *U. lactuca* amino asit, fenolik bileşik ve mineraller gibi çeşitli aktif bileşenler açısından zengin olduğundan, insan beslenmesi için oldukça önemli hale gelmektedir. *U. lactuca* içeren bazı gıda ürünlerinin listesi çizelge 7'de sunulmaktadır.

Son yıllarda, besin değeri ve sağlık yararları yüksek olan atıştırmalıklara talep giderek artmaktadır. Singh ve arkadaşları (2016), protein, çözünür lif, antioksidan ve mineraller bakımından iyi bir kaynak olan *U. lactuca* ile zenginleştirilmiş bir atıştırmalık geliştirmiştir. %6-8 arasında *Ulva* konsantrasyonu olan atıştırmalıkların iyi duyuşal ve besinsel özelliklere sahip oldukları belirtilmiştir.

Yapılan son araştırmalar, deniz kaynaklarının kurabiye ve bisküvilere dahil edilmesinin besin ve fonksiyonel özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir (Egea ve ark., 2014). *U. lactuca* içeren bisküviler geliştirilen bir çalışmada, yetersiz beslenen çocukların bisküvi tüketimi ile serum protein profili üzerindeki etkilerinin gözlemlenmesi ve besin kalitesinin artırılarak tüketici kabulünün sağlanması amaçlanmıştır. *U. lactuca*'nın farklı oranlarda (%30, 40, 50 ve 60) eklendiği bisküviler, renk, aroma, doku, lezzet ve genel kabul edilebilirlik gibi özellikler açısından duyuşal değerlendirmeye tabi tutulmuştur. *U. lactuca*'nın %30 oranında kullanıldığı bisküvi örneklerinin duyuşal değerlendirmede en iyi kabul edilebilirliğe sahip olduğu ve bu oranda üretilen bisküvilerde 8 haftalık raf ömrü boyunca herhangi bir patojene rastlanılmadığı belirtilmiştir. Geliştirilen bisküvi örnekleri 2 ay boyunca yetersiz beslenen çocuklara verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre %30 oranında *U. lactuca* içeren bisküviler bu çocuklarda boy, kilo, VKİ (vücut kitle indeksi) ve toplam protein değerlerinde önemli bir iyileşme sağlamıştır (Jenifer ve Kanjana, 2019).

Son yıllarda, sağlık yararları nedeniyle fermente gıda ürünlerine olan talep artmaya başlamıştır (Dimidi ve ark., 2019). Shalaby ve Amin (2019), *U. lactuca* yapısında bulunan Ulvan polisakkaritlerinin, probiyotik bakterilerin büyümesini destekleyen bir prebiyotik bileşen olarak kullanıldığı simbiyotik yoğurt geliştirilmişlerdir. Bu amaçla farklı konsantrasyonlarda (%1, %2, %3, %4) prebiyotik özellikler taşıyan Ulvan kullanılmıştır. Ulvan'ın prebiyotik özellikleri, probiyotik laktik asit bakterilerinin büyümesi için gerekli besin kaynağı olarak kullanılmalarını sağlamıştır. Elde edilen sonuçlara göre %1–2 konsantrasyonlarında Ulvan eklenmiş yoğurdun, iyi kimyasal ve fiziksel özellikler sergileyerek probiyotik bakterilerin büyümesini ve aktivitesini teşvik ettiği belirtilmiştir.

*U. lactuca*, Japon mutfağında çorbalara, salatalara ve garnitürlere eklenen besleyici bir bileşen olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu deniz yosunu, düşük kalorili, yüksek mineral içeriğine sahip ve yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğundan sağlıklı bir besin kaynağı olarak kabul edilmektedir. Jayasinghe ve ark. (2016), *U. lactuca* içeren hazır çorba karışımı geliştirmişlerdir (çizelge 7). Japonlar ve diğer Asya ülkelerinde *U. lactuca*'nın geleneksel kullanımı, son yıllarda Batı ülkelerinde de daha fazla ilgi görmeye başlamıştır. Sağlıklı yaşam tarzlarına olan ilginin artmasıyla, *U. lactuca*, batı mutfaklarında da çorba karışımları, smoothie ve sağlıklı atıştırmalıklar gibi ürünlerde kullanılmaktadır. Bu, deniz yosununun sadece besin değeri ile değil, aynı zamanda fonksiyonel gıda bileşeni olarak da önemini arttırmaktadır.

Doğal gıda boyaları ve renklendiriciler, sağlık ve çevresel endişeler nedeniyle daha fazla ilgi görmeye başlamıştır. Yapay boyaların yasaklanmasıyla birlikte, deniz yosunlarının çeşitli pigmentler (klorofil, karotenoidler ve fikobilinler gibi) açısından zengin bir kaynak oluşturduğu vurgulanmaktadır

(Alam ve ark., 2018). Jayasinghe ve arkadaşları (2016), deniz yosunlarından elde edilen doğal pigmentlerle jel tatlılar geliştirerek bu ürünlerin kimyasal, mikrobiyolojik ve duyu kalite üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada klorofil elde edilmesi amacıyla *U. lactuca* kullanılmıştır.

Çizelge 6. *U. lactuca* içeren bazı gıda ürünlerinin listesi

| Ürün                 | % biyokütle                                                                                        | Beslenmeye yönelik faydalar                                                                                                                                                                                                | Kaynak                      |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Hazır çorba karışımı | %2.5 <i>U. lactuca</i> tozu ve %1-4 agar<br>%2.5 <i>U. lactuca</i> tozu ve %1-4 karragenan         | Agar ve karragenan ürünün viskozite değerini iyileştirmiştir. Özellikle iyot değerleri, mevcut sebze çorbası karışımlarından daha yüksek elde edilmiştir.                                                                  | Jayasinghe ve ark. (2016)   |
| Atıştırmalık bar     | Ağırlıkça %5 ve %10 <i>U. lactuca</i> tozu eklenmiştir.                                            | %5 <i>Ulva</i> tozu ile geliştirilmiş bar, duyu kalite değerlendirmede genel kabul görmüştür. Mevcut barlarla karşılaştırıldığında, beslenme kalitesinde artış, daha az sertlik ve daha fazla yapışkanlık elde edilmiştir. | Udayangani ve ark. (2019)   |
| Balık burger         | Balık burger formülasyonuna ağırlıkça %0.5, 1, 1.5 ve 2 oranlarında <i>U. lactuca</i> eklenmiştir. | Duyu kalite değerlendirmeye göre, %0.5 ekleme oranı en uygun bulunmuştur. Analiz sonuçları ise %0.5 oranında eklenen balık burgerin daha yüksek protein ve lif içerdiğini göstermiştir.                                    | Kumarathunge ve ark. (2016) |

*U. lactuca*'nın çeşitli biyolojik aktiviteleri sayesinde gıda ve farmasötik endüstrisinde kullanımı giderek artsa da toksikolojik etkilerine ilişkin verilerin sınırlı olması, güvenli kullanım açısından daha kapsamlı çalışmaların yapılmasını gerekli kılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar, *U. lactuca*'nın doğrudan toksik bir etkiye sahip olmadığını, ancak çevresel koşullara ve yetiştiği ortamdaki kirlenici düzeylerine bağlı olarak bazı riskler taşıyabileceğini göstermektedir (Sudharsan ve ark., 2012; Chen ve Sun, 2024). Deniz yosunlarının metabolik süreçleri için gerekli olan demir ve çinko gibi bazı metaller yüksek konsantrasyonlarda toksisiteye yol açabilmektedir (Fantonalgo ve Falguisana, 2017). Ayrıca arsenik, cıva, kobalt ve bakır gibi ağır metaller ile amonyum ve pestisit içeren deniz yosunlarının aşırı tüketimi sağlık riski oluşturabilmektedir (Pycke ve Faasse, 2015; Duinker ve ark., 2016). Bu nedenle, *U. lactuca* gibi deniz yosunlarının gıda ve farmasötik endüstrisinde kullanımında, bu hammaddenin güvenliğini değerlendirmek amacıyla ayrıntılı analizlerin yapılması oldukça önemlidir (Fantonalgo ve Falguisana, 2017).

Yapılan bir çalışmada Fas'tan toplanan *U. lactuca* örneklerinde demir, mangan ve kurşun gibi ağır metallerin yüksek biyokonsantrasyon düzeylerinde olduğu belirlenmiştir (Rahhou ve ark., 2023). Ancak yapılan kapsamlı sağlık risk analizleri, bu metallerin birikiminin insan tüketimi açısından güvenli sınırlar içinde kaldığını göstermiştir. Benzer şekilde deniz yosunlarının toksik metal içeriklerinin karşılaştırıldığı bir başka çalışmada kadmiyum, krom, kurşun, cıva ve arsenin elementlerinin konsantrasyonlarının WHO/FAO ve Avrupa Birliği (AB) mevzuatlarında belirtilen limit değerlerin altında olduğu rapor edilmiştir (Sundhar ve ark., 2024). Bu bulgular, *U. lactuca*'nın uygun çevresel koşullarda yetiştirildiğinde toksik metal birikimi açısından güvenli bir tür olabileceğini ortaya koymaktadır.

### 3.2.2. *U. lactuca*'dan protein eldesinde kullanılan ekstraksiyon yöntemleri

*U. lactuca*'nın gıda formülasyonlarında kullanılabilmesi için içerdiği proteinlerin hücre yapısından etkin bir şekilde ekstrakte edilmesi gerekmektedir (Dominguez ve Loret, 2019). Ancak hücre duvarı yapısında bulunan mukus tabakası ve yüksek viskoziteli polisakkaritler proteinlerin ekstrakte edilebilirliğini önemli ölçüde sınırlamaktadır (Harrysson ve ark., 2018). Bu nedenle, makro yapının ve hücre duvarının bozunmasını sağlayan uygun ekstraksiyon yöntemlerinin kullanımı, ekonomik ve verimli protein eldesi açısından önem taşımaktadır (Wijffels ve ark., 2010; Postma ve ark., 2018).

*U. lactuca*'dan protein ekstraksiyonu için hücre yapısının etkin biçimde parçalanmasını hedefleyen çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu kapsamda, asit ve alkali ekstraksiyon, mekanik

presleme, ultrasonikasyon, enzimatik ekstraksiyon, ozmotik şok ve darbeli elektrik alanı (PEF) gibi teknikler kullanılmaktadır (Polikovsky ve ark., 2016; Postma ve ark., 2018; Pappou ve ark., 2022). Alkali ekstraksiyon yöntemi, *Ulva* türlerinden protein eldesinde yüksek verim sağlayan bir yöntemdir (Juul ve ark., 2021a). Ancak bu ekstraksiyon yöntemi ile yüksek pH'a maruz kalma, proteinlerin yapısını bozabilecek kimyasal değişimlere yol açabilmektedir (Juul ve ark., 2021b). Bu nedenle, ekstraksiyon koşullarının optimize edilerek pH derecesinin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Alkali ekstraksiyona ek olarak mekanik ön işlemler ve farklı saflaştırma teknikleri kullanılarak protein ekstraksiyon verimi artırılabilir. Bununla birlikte, farklı ekstraksiyon yöntemlerinin kombinasyonu, her iki yöntemin avantajlarını birleştirerek daha yüksek verimle protein ekstraksiyonu yapılmasına olanak tanımaktadır (Harrysson ve ark., 2019).

Enzimatik ekstraksiyon yönteminde kullanılan enzimler, hücre duvarını parçalayarak protein erişilebilirliğini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Her bir *Ulva* türü farklı lif kompozisyonlarına sahip olduğundan bu ekstraksiyon yönteminde enzim seçiminin her tür için optimize edilmesi gerekmektedir (Echave vd., 2021). Yapılan bir çalışmada *U. lactuca*'dan protein ekstrakte edilmesi için selüloz ve diğer polisakkaridazlar olmak üzere polisakkaridaz karışımı kullanılarak %26,1 protein verimi elde edilmiştir. Sonuçlar, polisakkaridaz karışımının hücre duvarlarını etkili bir şekilde parçaladığını ve bu sayede proteinlerin daha yüksek bir verimle ekstrakte edilebildiğini göstermektedir (Postma ve ark., 2018). Geleneksel yöntemlere kıyasla ultrasonikasyon yöntemi, daha yüksek protein verimi sağlarken; basınçlı çözgen ekstraksiyonu daha az çözücü kullanan hızlı bir ekstraksiyon tekniğidir (Dominguez ve Lorete, 2019; Pan-Utai ve ark., 2022). Ancak bu yöntemlerin potansiyel bir yöntem olarak kullanılabilmesi için, uygun parametrelerin belirlenmesi ve proteinlerin yapısal özelliklerinin incelenmesi önemlidir. Bu sayede, *U. lactuca* gibi deniz yosunlarından yüksek verimli protein ekstraksiyonları elde edilerek, gıda endüstrisi gibi çeşitli alanlarda kullanımı sağlanabilmektedir.

### 3.3. *U. lactuca*'nın sağlığa etkileri

*U. lactuca*, içeriğinde bulunan flavonoidler ve fenolikler gibi biyoaktif bileşikler sayesinde sağlık üzerinde birçok olumlu etkiye sahiptir. Bu biyoaktif bileşikler vücutta bulunan zararlı serbest radikalleri nötralize ederek hücreleri oksidatif hasardan korumaktadır (Putra ve ark. 2024). Yapılan bir çalışmada, *U. lactuca* ekstraktlarının Gram negatif ve Gram pozitif bakterilere karşı antibakteriyel aktivitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Öztürk ve Hamzaçebi, 2019). Bu amaçla, *U. lactuca*, metanol, etanol, aseton, kloroform, hekzan ve distile su gibi farklı çözücüler ile ekstrakte edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, etanol ile ekstrakte edilen *U. lactuca*'nın en yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, *U. lactuca*'nın metanol ekstraktının, metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA) gibi çoklu dirençli bakterilere karşı da etkili olduğu bildirilmiştir (Ardita ve ark., 2021). Bu özellikleri sayesinde, *U. lactuca* potansiyel bir doğal antibakteriyel ajan olarak değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, *U. lactuca* gösterdiği antimikrobiyal aktiviteler sayesinde, insan sağlığını iyileştirmek ve patojenik mikroorganizmaları kontrol etmek için umut verici bir doğal kaynak olarak öne çıkmaktadır.

*U. lactuca*'nın biyoteknolojik uygulamalarında ise, antioksidan, antiviral ve antikanser özellikleri öne çıkmaktadır. Bu yosunun yapısında bulunan Ulvan gibi sülfatlanmış polisakkaritlerin iltihap önleyici ve bağışıklığı güçlendirici etkileri bulunduğu kanıtlanmıştır. Yapılan bir çalışmada *U. lactuca* yapısında bulunan Ulvan'ın, Japon ensefaliti virüsüne karşı antiviral etkinlik gösterdiği bildirilmiştir (Chiu ve ark., 2012). Çalışmada, *U. lactuca* ekstraktının, virüsün adsorpsiyonunu ve girişini engelleyerek Japon ensefaliti virüsü enfeksiyonunu vero hücrelerinde inhibe edebildiği açıklanmıştır. Ayrıca, Ulvan, virüsle enfekte olmuş birincil karışık nöroglia hücrelerinde pro-inflamatuar sitokin üretimini azaltmıştır. *U. lactuca* ekstraktının Japon ensefaliti virüsü üzerindeki inhibitör etkisi, *U. lactuca* bazlı biyoaktif bileşenlerin farmasötik alanda daha fazla araştırılması gerektiğini göstermektedir. Qi ve arkadaşları (2005) ise Ulvan'ın antioksidan aktivitesini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, doğal içeriğinde sülfat bulunan ve antioksidan aktivite gösteren Ulvan'ın sülfat gruplarını modifiye ederek sülfat içeriğini arttırmışlardır. Modifikasyon sonrası, hidroksil ve süperoksit radikallerini temizleme, indirgeme gücü ve metal bağlama gibi antioksidan parametrelerde iyileşmeler görülmüştür. Bu durum, sülfat içeriğinin artırılmasının Ulvan'ın antioksidan potansiyelini güçlendirdiğini ortaya koymaktadır. Ulvan, *U. lactuca*'nın hücre duvarına

güç ve esneklik kazandırarak su kaybını engellemeye yardımcı olmaktadır. Ulvan, antiviral, antitümör, pıhtılaşma önleyici ve bağışıklık güçlendirici gibi sağlık açısından önemli ve çok yönlü faydalar sağlamaktadır. Bu özellikleri nedeniyle, Ulvan ve türevleri giderek daha fazla ilaç ve gıda uygulamaları için talep edilmektedir.

Acharya ve arkadaşları (2022), *U. lactuca* ekstraktlarının potansiyel kanser karşıtı özellikler sergilediğini belirtmişlerdir. *U. lactuca*'da bulunan polisakkaritler ve biyolojik aktif bileşiklerin, kanser hücrelerinin büyümesini ve yayılmasını engellediği çalışmalar gözlemlenmiştir. Ancak bu bileşiklerin kanser tedavisinde ne kadar etkili ve güvenli olduğunun daha iyi anlaşılması için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. *U. lactuca* ekstraktları, içerdiği yüksek miktarda yağ asidi ile bağışıklık hücrelerinin aktivitesini ve sitokin üretimini artırarak bağışıklık sistemini modüle etmektedir (Liu ve ark., 2019). Bu sayede *U. lactuca*, bağışıklık fonksiyonlarının iyileşmesine katkıda bulunarak insan sağlığını desteklemektedir.

#### 4. Sonuç

Bu incelemede, *Ulva* türlerinin, özellikle *U. lactuca*'nın kimyasal ve besin özellikleri ile potansiyel uygulamalarından bahsedilmiştir. Deniz yosunları, önemli biyolojik olarak aktif bileşenler içeren ve sağlık üzerinde büyük fayda sağlayan etkileri ile 'süper gıdalar' olarak kabul edilmektedir. *Ulva*'nın kullanım alanlarına dair mevcut bulgular, bu türlerin gıda endüstrisi, farmakoloji ve biyoteknoloji gibi farklı sektörlerdeki potansiyelini ortaya koymaktadır. Ancak, *Ulva* türlerinin gıda sektöründe ve biyoteknolojik uygulamalarda daha yaygın hale gelmesi için bazı önemli adımların atılması gerekmektedir. Öncelikle, *Ulva*'nın içerdiği biyoaktif bileşiklerin biyoyararlanımı üzerine yapılacak derinlemesine çalışmalar, bu bileşiklerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır. Ayrıca, *Ulva*'nın ticarileşme potansiyeli, üretim süreçlerinin optimize edilmesi ve sürdürülebilir hasat yöntemlerinin geliştirilmesi ile daha da artacaktır.

*U. lactuca*, biyolojik olarak aktif bileşenler açısından zengin bir kaynaktır. İçerdiği Ulvan gibi sülfatlanmış polisakkaritler, proteinler, amino asitler, diyet lifleri, yağ asitleri ve fenolik bileşikler gibi fitokimyasallar insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler göstermektedir. Bunun dışında, antioksidan özellikleri, mineral içeriği ve sağlıklı yağ asidi profilleri ile gıda endüstrisinde potansiyel bir hammadde olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, *U. lactuca*'nın gıda endüstrisinde, ekmek, çorba, atıştırmalıklar, protein takviyeleri ve hatta tatlandırıcılar gibi çeşitli ürünlere dahil edilmesiyle ilgili birçok araştırma yapılmıştır. *U. lactuca*'nın çözünür diyet lifleri, sağlıklı gıda ürünlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür, düşük yağ içeriği ve zengin besin ögesi profili sayesinde, sağlık açısından daha dengeli ve besleyici alternatiflerin üretimi için önemli bir kaynak olabilmektedir. *U. lactuca* ve diğer yeşil deniz yosunlarının diyetle dahil edilmesi, obezite, tip 2 diyabet, hipertansiyon ve kanser gibi hastalıkların hafifletilmesinde rol oynamaktadır. Bu deniz yosununun biyokimyasal özellikleri, özellikle Ulvan polisakkaritlerinin çeşitli tıbbi uygulamalar için kullanılabilirliğini göstermektedir. Ulvan, ilaç salınımı ve doku mühendisliği gibi sağlıkla ilgili uygulamalarda kullanılarak toksik olmayan ve biyoyumlu özellikler sergilemektedir. Ayrıca, deniz yosunlarının eklenmesiyle elde edilen ürünlerde, daha az enerji harcanarak biyolojik açıdan daha verimli ve sağlıklı bileşenler elde edilebilmektedir. Besin açısından zengin olan *U. lactuca*, son yıllarda birçok katma değerli ürün ve teknoloji geliştirilmesinde kullanılmıştır. Ancak, deniz yosunlarından yeni ürünlerin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi, dünya genelinde yaygınlaşmamıştır. Bunun en büyük nedeni, deniz yosunlarının, biyoaktif bileşiklerinin uzun vadeli faydalarını tam anlamıyla ortaya koyabilmek için biyoyararlanım ve biyolojik erişim konusunda daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmasıdır. Sürekli büyüyen bitkisel protein pazarında, *U. lactuca*'nın ticarileşmesi ve fonksiyonel gıdalarda kullanılabilmesi için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Deniz yosununun tarım ve gıda sektöründe etkin bir alternatif olabilmesi için, protein ekstraksiyon verimliliğinin artırılması ve biyoaktif bileşenlerin stabilitesinin iyileştirilmesi önem arz etmektedir. Gelecekte, bu türden elde edilen biyoaktif bileşenlerin kullanılabilirliğinin artması, *U. lactuca* bazlı gıda ve ilaç formülasyonlarının yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır.

*U. lactuca*'nın protein içeriği %20'ye kadar çıkabilmekte, bu da onu yüksek proteinli gıda maddeleri arasında değerlendirilmeye uygun kılmaktadır. *U. lactuca*'nın fonksiyonel özellikleri, su ve yağ tutma kapasitesinin yanı sıra, emülsifikasyon özellikleri de gıda sektöründe kullanım potansiyelini artırmaktadır. Bu özellikler, *U. lactuca*'nın beslenme profili, yüksek besin değerine sahip önemli bir

deniz canlı kaynağı olarak gıda ve ilaç uygulamaları için umut verici olduğunu göstermektedir. *U. lactuca*'nın potansiyelini en iyi şekilde değerlendirebilmek için, bu yosunun protein ekstraksiyon yöntemleri ve fonksiyonel özellikleri üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Ekstraksiyon süreçlerinin standardize edilmesi, farklı biyolojik bileşenlerin tanımlanması ve bu bileşenlerin sağlık üzerindeki etkilerinin optimize edilmesi önemli bir geleceği şekillendirecektir. Ayrıca, *U. lactuca*'nın, sağlıklı yaşam tarzlarını teşvik etmek amacıyla besin takviyeleri ve fonksiyonel gıda ürünleri geliştirilmesinde daha fazla kullanılması beklenmektedir. Bunun için sürdürülebilir ve çevre dostu yetiştirme ve işleme tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

#### **Yazarların Katkı Oranı Beyanı**

**Emine Nakilcioğlu:** Kavramsallaştırma, Araştırma, Yazılım, Gözden Geçirme ve Düzenleme. **Gizem Tiryaki:** Kavramsallaştırma, Araştırma, Yazılım, Gözden Geçirme ve Düzenleme.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Bu makalenin yazarları çalışmalarında araştırma ve yayın etiğine uyduklarını beyan ederler.

#### **Etik Kurul Beyanı**

Bu makalenin yazarları çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### **Yapay Zeka Kullanımı**

Yazarlar, bu makalenin yazımında, görsellerin, grafiklerin, tabloların ya da bunlara karşılık gelen başlıkların oluşturulmasında herhangi bir tür üretken yapay zekâ kullanmadıklarını beyan ederler.

#### **Kaynakça**

- Abd El-Baky, H. H., El Baz, F. K., and El-Baroty, G. S. (2008). Evaluation of marine alga *Ulva lactuca* L. as a source of natural preservative ingredient. *American-Eurasian Journal Agricultural Environmental Sciences*, 3(3), 434-444. <https://www.researchgate.net/publication/229028081>
- Abdel-Daim, M. M., El-Tawil, O. S., Bungau, S. G., & Atanasov, A. G. (2019). Applications of antioxidants in metabolic disorders and degenerative diseases: Mechanistic approach. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2019, 4179676. <https://doi.org/10.1155/2019/4179676>
- Abirami, R. G., and Kowsalya, S. (2011). Nutrient and nutraceutical potentials of seaweed biomass *Ulva lactuca* and *Kappaphycus alvarezii*. *Nong Ye Ke Xue Yu Ji Shu*, 5(1). <https://www.researchgate.net/publication/288267856>
- Acharya, D., Satapathy, S., Yadav, K. K., Somu, P., & Mishra, G. (2022). Systemic evaluation of mechanism of cytotoxicity in human colon cancer HCT-116 cells of silver nanoparticles synthesized using marine algae *Ulva lactuca* extract. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 32(2), 596-605. <https://doi.org/10.1007/s10904-021-02133-8>
- Ahmed, S. A., Abdelrheem, D. A., El-Mageed, H. A., Mohamed, H. S., Rahman, A. A., Elsayed, K. N., & Ahmed, S. A. (2020). Destabilizing the structural integrity of COVID-19 by caulerpin and its derivatives along with some antiviral drugs: An in silico approaches for a combination therapy. *Structural Chemistry*, 31(6), 2391-2412. <https://doi.org/10.1007/s11224-020-01586-w>
- Ajomiwe, N., Boland, M., Phongthai, S., Bagiyal, M., Singh, J., & Kaur, L. (2024). Protein nutrition: understanding structure, digestibility, and bioavailability for optimal health. *Foods*, 13(11), 1771. <https://doi.org/10.3390/foods13111771>
- Alam, T., Najam, L., and Al Harrasi, A. (2018). Extraction of natural pigments from marine algae. *Journal of Agricultural and Marine Sciences (JAMS)*, 23. <https://doi.org/10.24200/jams.vol23iss0pp81-91>

- Angell, A. R., Mata, L., de Nys, R., and Paul, N. A. (2016). The protein content of seaweeds: a universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *Journal of applied phycology*, 28, 511-524. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0650-1>
- Anjali, K. P., Sangeetha, B. M., Devi, G., Raghunathan, R., & Dutta, S. (2019). Bioprospecting of seaweeds (*Ulva lactuca* and *Stoechospermum marginatum*): The compound characterization and functional applications in medicine-a comparative study. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 200, 111622. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111622>
- Ardita, N. F., Mithasari, L., Untoro, D., and Salasia, S. I. O. (2021). Potential antimicrobial properties of the *Ulva lactuca* extract against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*-infected wounds: A review. *Veterinary World*, 14(5), 1116. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.1116-1123>
- Benítez García, I., Dueñas Ledezma, A. K., Martínez Montaña, E., Salazar Leyva, J. A., Carrera, E., and Osuna Ruiz, I. (2020). Identification and quantification of plant growth regulators and antioxidant compounds in aqueous extracts of *Padina durvillaei* and *Ulva lactuca*. *Agronomy*, 10(6), 866. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060866>
- Bikker, P., Stokvis, L., Van Krimpen, M. M., Van Wikselaar, P. G., and Cone, J. W. (2020). Evaluation of seaweeds from marine waters in Northwestern Europe for application in animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 263, 114460. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114460>
- Bleakley, S., and Hayes, M. (2017). Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*, 6(5), 33. <https://doi.org/10.3390/foods6050033>
- Bolton, J. J., Cyrus, M. D., Brand, M. J., Joubert, M., and Macey, B. M. (2016). Why grow *Ulva*? Its potential role in the future of aquaculture. *Perspect. Phycol*, 3(3), 113-120. <https://doi.org/10.1127/pip/2016/0058>
- Cai, J., Lovatelli, A., Aguilar-Manjarrez, J., Cornish, L., Dabbadie, L., Desrochers, A., and Yuan, X. (2021). Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*, (1229). <https://doi.org/10.4060/cb5670en>
- Chen, Q., Pan, X. D., Huang, B. F., and Han, J. L. (2018). Distribution of metals and metalloids in dried seaweeds and health risk to population in southeastern China. *Scientific reports*, 8(1), 3578. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21732-z>
- Chen, W., & Sun, M. (2024). Acute copper stress showed toxic effects on the physiological metabolism of *Ulva lactuca*, a common green macroalgae. *Scientific Reports*, 14(1), 24883. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76517-4>
- Chiu, Y. H., Chan, Y. L., Li, T. L., and Wu, C. J. (2012). Inhibition of Japanese encephalitis virus infection by the sulfated polysaccharide extracts from *Ulva lactuca*. *Marine biotechnology*, 14, 468-478. <https://doi.org/10.1007/s10126-011-9428-x>
- Cindana Mo'o, F. R., Wilar, G., Devkota, H. P., and Wathoni, N. (2020). Ulvan, a polysaccharide from macroalga *Ulva* sp.: a review of chemistry, biological activities and potential for food and biomedical applications. *Applied Sciences*, 10(16), 5488. <https://doi.org/10.3390/app10165488>
- De Bhowmick, G., & Hayes, M. (2022). In vitro protein digestibility of selected seaweeds. *Foods*, 11(3), 289. <https://doi.org/10.3390/foods11030289>
- Debbarma, J., Rao, B. M., Murthy, L. N., Mathew, S., Venkateshwarlu, G., and Ravishankar, C. N. (2016). Nutritional profiling of the edible seaweeds *Gracilaria edulis*, *Ulva lactuca* and *Sargassum* sp. *Indian Journal of Fisheries*, 63(3), 81-87. <https://doi.org/10.21077/ijf.2016.63.3.60073-11>
- Dimidi, E., Cox, S. R., Rossi, M., and Whelan, K. (2019). Fermented foods: definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease. *Nutrients*, 11(8), 1806. <https://doi.org/10.3390/nu11081806>
- Dominguez, H., & Loret, E. P. (2019). *Ulva lactuca*, a source of troubles and potential riches. *Marine drugs*, 17(6), 357. <https://doi.org/10.3390/md17060357>
- Duinker, A., Roiha, I. S., Amlund, H., Dahl, L., Lock, E. J., Kögel, T., and Lunestad, B. T. (2016). Potential risks posed by macroalgae for application as feed and food—a Norwegian

- perspective. *National Institute of Nutrition and Seafood Research (NIFES)*, 23. <https://www.researchgate.net/publication/307956500>
- Echave, J., Fraga-Corral, M., Garcia-Perez, P., Popović-Djordjević, J., H. Avdović, E., Radulović, M., Xiao, J., Prieto, M. A., and Simal-Gandara, J. (2021). Seaweed protein hydrolysates and bioactive peptides: extraction, purification, and applications. *Marine Drugs*, 19(9), 500. <https://doi.org/10.3390/md19090500>
- Egea, B. C. B., Campos, A. L. M., De Carvalho-Eliane, J. C. M., and Danesi, D. G. (2014). Antioxidant and nutritional potential of cookies enriched with *Spirulina platensis* and sources of fibre. *Journal of Food and Nutrition Research*, 53(2), 171-179. <https://www.vup.sk/en/download.php?bulID=1612>
- Elmegeed, D. F. A., Ghareeb, D. A., Elsayed, M., and El-Saadani, M. (2014). Phytochemical constituents and bioscreening activities of green algae (*Ulva lactuca*). *Phytochemical Analysis*, 25(2), 163-172. <https://dx.doi.org/10.15739/IJAPR.009>
- Elnabris, K. J., Elmanama, A. A., and Chihadeh, W. N. (2013). Antibacterial activity of four marine seaweeds collected from the coast of Gaza Strip, Palestine. *Mesopotamian Journal of Marine Sciences*, 28(1). <https://doi.org/10.58629/mjms.v28i1.157>
- Engin, Y. Ö., Yağmur, B., Çirik, S., Okur, B., Eşiyok, D., and Gökpinar, Ş. (2019). *Ulva rigida* (C. Agardh) makroalginin fasulye bitkisinin üretiminde organik madde kaynağı olarak kullanımının araştırılması. *Acta Aquatica Turcica*, 15(2), 151-162. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.577506>
- Erguden, S. A., Erguden, D., Ciftci, N., Akbora, H. D., and Ayas, D. (2021). Metal levels of macroalgae from Iskenderun and Mersin Bay Turkey eastern Mediterranean. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(07), 8365-8371. <https://www.researchgate.net/publication/352735468>
- Erniati, Z. F., Prangdimurti, E. N. D. A. N. G., Adawiyah, D. R., Priosoeryanto, B. P., and Huda, N. U. R. U. L. (2018). Chemical evaluation of a nori-like product (geluring) made from the mixture of *Gelidium* sp. and *Ulva lactuca* seaweeds. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 6, 664-671. <https://doi.org/10.12944/crnfsj.6.3.08>
- Fantonalgo, R. N., and Falguisana, M. N. (2017). Detrimental effects of the selected heavy metals to seaweeds: A review. *Jornal of Environment and Earth Science*, 7, 30-39. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEES/article/view/37713>
- Fernando, I. S., Nah, J. W., and Jeon, Y. J. (2016). Potential anti-inflammatory natural products from marine algae. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 48, 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.09.023>
- Guiry, M. D. (2013). AlgaeBase. World-wide electronic publication. <http://www.algaebase.org>.
- Harrysson, H., Hayes, M., Eimer, F., Carlsson, N. G., Toth, G. B., and Undeland, I. (2018). Production of protein extracts from Swedish red, green, and brown seaweeds, *Porphyra umbilicalis* Kützinger, *Ulva lactuca* Linnaeus, and *Saccharina latissima* (Linnaeus) J.V. Lamouroux using three different methods. *Journal of Applied Phycology*, 30(6), 3565-3580. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1481-7>
- Harrysson, H., Konasani, V. R., Toth, G. B., Pavia, H., Albers, E., and Undeland, I. (2019). Strategies for improving the protein yield in pH-shift processing of *Ulva lactuca* linnaeus: Effects of *Ulvan* lyases, pH-exposure time, and temperature. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(15), 12688-12691. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b02781>
- Hassan, S., Abd El-Twab, S., Hetta, M., and Mahmoud, B. (2011). Improvement of lipid profile and antioxidant of hypercholesterolemic albino rats by polysaccharides extracted from the green alga *Ulva lactuca* Linnaeus. *Saudi journal of biological sciences*, 18(4), 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2011.01.005>
- Hofmann, L. C., Strauss, S., Shpigel, M., Guttman, L., Stengel, D. B., Rebours, C., and Meléndez-Martínez, A. J. (2024). The green seaweed *Ulva*: tomorrow's "wheat of the sea" in foods, feeds, nutrition, and biomaterials. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1-36. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2370489>
- Ibrahim, W. M., Ali, R. M., Hemida, K. A., and Sayed, M. A. (2014). Role of *Ulva lactuca* extract in alleviation of salinity stress on wheat seedlings. *The Scientific world journal*, 2014(1), 847290. <https://doi.org/10.1155/2014/847290>

- Jacobsen, M., Bianchi, M., Trigo, J. P., Undeland, I., Hallström, E., and Bryngelsson, S. (2023). Nutritional and toxicological characteristics of *Saccharina latissima*, *Ulva fenestrata*, *Ulva intestinalis*, and *Ulva rigida*: a review. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 2349-2378. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2246677>
- Jansen, H. M., Bernard, M. S., Nederlof, M. A., van der Meer, I. M., and van der Werf, A. (2022). Seasonal variation in productivity, chemical composition and nutrient uptake of *Ulva* spp. (Chlorophyta) strains. *Journal of Applied Phycology*, 34(3), 1649-1660. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02708-z>
- Jayasinghe, P. S., Pahalawattaarachchi, V., Ranaweera, K. K. D. S., and Author, C. (2016). Seaweed extract as a natural food coloring agent in jelly desserts on chemical, microbial and sensory quality. *Academy of Agriculture Journal*, 1, 65-69. <https://www.researchgate.net/publication/309699839>
- Jenifer, A., and Kanjana, K. (2019). Effect of seaweed based biscuit supplementation on anthropometric profile of malnourished children residing at Tuticorin. *Journal of Science and Technology*, 4, 2349-2456. <https://www.researchgate.net/publication/330555724>
- Jesumani, V., Du, H., Aslam, M., Pei, P., and Huang, N. (2019). Potential use of seaweed bioactive compounds in skincare—A review. *Marine drugs*, 17(12), 688. <https://doi.org/10.3390/md17120688>
- Juul, L., Danielsen, M., Nebel, C., Steinhagen, S., Bruhn, A., Jensen, S. K., and Dalsgaard, T. K. (2021a). *Ulva fenestrata* protein—comparison of three extraction methods with respect to protein yield and protein quality. *Algal Research*, 60, 102496. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102496>
- Juul, L., Møller, A. H., Bruhn, A., Jensen, S. K., and Dalsgaard, T. K. (2021b). Protein solubility is increased by antioxidant addition during protein extraction from the green macroalga, *Ulva* sp. *Journal of Applied Phycology*, 33(1), 545-555. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02285-z>
- Juul, L., Nissen, S. H., Bruhn, A., Alexi, N., Jensen, S. K., Hammershøj, M., and Dalsgaard, T. K. (2024). *Ulva* species: A critical review on the green seaweed as a source of food protein. *Trends in Food Science ve Technology*, 104534. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104534>
- Juul, L., Steinhagen, S., Bruhn, A., Jensen, S. K., Undeland, I., and Dalsgaard, T. K. (2022a). Combining pressing and alkaline extraction to increase protein yield from *Ulva fenestrata* biomass. *Food and Bioproducts Processing*, 134, 80-85. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.05.006>
- Juul, L., Stødtkilde, L., Ingerslev, A. K., Bruhn, A., Jensen, S. K., and Dalsgaard, T. K. (2022b). Digestibility of seaweed protein from *Ulva* sp. and *Saccharina latissima* in rats. *Algal Research*, 63, 102644. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102644>
- Khalil Mohamed, A. A., Mohamed, E. A. M., and Mohamed, A. F. (2023). Evaluation of anticancer activities of *Ulva lactuca* ethanolic extract on colorectal cancer cells. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66(13), 531-539. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2023.206838.7891>
- Kumar, Y., Tarafdar, A., and Badgujar, P. C. (2021). Seaweed as a source of natural antioxidants: Therapeutic activity and food applications. *Journal of Food Quality*, 2021(1), 5753391. <https://doi.org/10.1155/2021/5753391>
- Kumarathunge, N. C., Jayasinghe, J. M. P., and Abeyrathne, E. D. N. S. (2016). Development of sea lettuce (*Ulva lactuca*) and Catla (*Catla catla*) incorporated protein and fiber rich fish burger. *International Journal of Research in Agricultural Sciences*, 4, 2348-3997.
- Labbaci, F. Z., and Boukortt, F. O. (2020). Beneficial effects of Algerian green alga *Ulva lactuca* and its hydroethanolic extract on insulin resistance and cholesterol reverse transport in high-fat/streptozotocin diabetic rats. *Preventive Nutrition and Food Science*, 25(4), 353. <https://doi.org/10.3746/pnf.2020.25.4.353>
- Labib, W., and Hosny, S. (2020). Nitrogen and protein contents of *Ulva fasciata* and *Corallina officinalis* under environmental variations. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(3), 425-438. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2020.92403>
- Lagourgue, L., Gobin, S., Brisset, M., Vandenberghe, S., Bonneville, C., Jauffrais, T., and Payri, C. E. (2022). Ten new species of *Ulva* (*Ulvophyceae*, *Chlorophyta*) discovered in New Caledonia:

- Genetic and morphological diversity, and bloom potential. *European Journal of Phycology*, 57(4), 458-478. <https://doi.org/10.1080/09670262.2022.2027023>
- Lange, K. W., Hauser, J., Nakamura, Y., and Kanaya, S. (2015). Dietary seaweeds and obesity. *Food Science and Human Wellness*, 4(3), 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.08.001>
- Liu, X. Y., Liu, D., Lin, G. P., Wu, Y. J., Gao, L. Y., Ai, C., and Zhao, C. (2019). Anti-ageing and antioxidant effects of sulfate oligosaccharides from green algae *Ulva lactuca* and *Enteromorpha prolifera* in SAMP8 mice. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 342-351. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.195>
- Lopes, D., Moreira, A. S., Rey, F., da Costa, E., Melo, T., Maciel, E., and Rosário Domingues, M. (2019). Lipidomic signature of the green macroalgae *Ulva rigida* farmed in a sustainable integrated multi-trophic aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, 31, 1369-1381. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1644-6>
- Loureiro, R., Gachon, C. M., and Rebours, C. (2015). Seaweed cultivation: potential and challenges of crop domestication at an unprecedented pace. *New Phytologist*, 206(2), 489-492. <https://doi.org/10.1111/nph.13278>
- Lund, E. D., and Smoot, J. M. (1982). Dietary fiber content of some tropical fruits and vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 30(6), 1123-1127. <https://doi.org/10.1021/jf00114a030>
- Madhusudan, S., and Baskaran, R. (2023). The sea lettuce *Ulva sensu lato*: Future food with health-promoting bioactives. *Algal Research*, 71, 103069. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103069>
- Malo, A. R. (2017). *Prospection of bioactivities, bioaccessibility, and biochemical characterization of green seaweeds grown in integrated multi-trophic aquaculture environments* (Master's thesis). Universidade do Algarve, Faro, Portugal. Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. <https://www.proquest.com/docview/2674896332>
- Mamede, R., Ricardo, F., Abreu, M. H., da Silva, E. F., Patinha, C., and Calado, R. (2021). Spatial variability of elemental fingerprints of sea lettuce (*Ulva* spp.) and its potential use to trace geographic origin. *Algal Research*, 59, 102451. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102451>
- Morais, T., Inácio, A., Coutinho, T., Ministro, M., Cotas, J., Pereira, L., and Bahcevandziev, K. (2020). Seaweed potential in the animal feed: A review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(8), 559. <https://doi.org/10.3390/jmse8080559>
- Moreda-Piñeiro, J., Moreda-Piñeiro, A., Romaris-Hortas, V., Domínguez-González, R., Alonso-Rodríguez, E., López-Mahía, P., and Bermejo-Barrera, P. (2012). Trace metals in marine foodstuff: Bioavailability estimation and effect of major food constituents. *Food Chemistry*, 134(1), 339-345. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.165>
- Morelli, A., Massironi, A., Puppi, D., Creti, D., Domingo Martinez, E., Bonistalli, C., and Chiellini, F. (2019). Development of Ulvan-based emulsions containing flavour and fragrances for food and cosmetic applications. *Flavour and Fragrance Journal*, 34(6), 411-425. <https://doi.org/10.1002/ffj.3519>
- Matos, G. S., Pereira, S. G., Genisheva, Z. A., Gomes, A. M., Teixeira, J. A., and Rocha, C. M. (2021). Advances in extraction methods to recover added-value compounds from seaweeds: sustainability and functionality. *Foods*, 10(3), 516. <https://doi.org/10.3390/foods10030516>
- Molina-Gilarranz, I., Cebrian-Lloret, V., Recio, I., and Martinez-Sanz, M. (2025). Impact of structure and composition on the digestibility and nutritional quality of alternative protein-rich extracts from the green seaweed *Ulva lacunculata*. *Food Research International*, 201, 115646. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115646>
- Mæhre, H. K., Dalheim, L., Edvinsen, G. K., Elvevoll, E. O., and Jensen, I. J. (2018). Protein determination—method matters. *Foods*, 7(1), 5. <https://doi.org/10.3390/foods7010005>
- Naidoo, K., Maneveldt, G., Ruck, K., and Bolton, J. J. (2006). A comparison of various seaweed-based diets and formulated feed on growth rate of abalone in a land-based aquaculture system. *Journal of Applied Phycology*, 18, 437-443. <https://doi.org/10.1007/s10811-006-9045-7>
- Naz, M., Şenol, H., Okudan, E. Ş., Sayın, S., Konuklugil, B., and Topçu, G. (2024). Analyzing eight Turkish macroalgae: Fatty acids, proteins, and in silico biological activity profiles. *European*

- Journal of Lipid Science and Technology*, 126(11), 2400025.  
<https://doi.org/10.1002/ejlt.202400025>
- Nissen, S. H., Juul, L., Bruhn, A., Søndergaard, J., and Dalsgaard, T. K. (2024). The biochemical composition and its relation to color of *Ulva* spp. upon harvest time. *Journal of Applied Phycology*, 36(4), 2095-2107. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03207-z>
- Orhan, Y. (2019). Deniz marulundan (*Ulva lactuca* Linnaeus, 1753) elde edilen ekstraktların antimikrobiyal ve antioksidan etkilerinin incelenmesi. (PhD), İstanbul Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. YÖK Ulusal Tez Merkezi. Tez No: 606008.
- Ortiz, J., Romero, N., Robert, P., Araya, J., Lopez-Hernández, J., Bozzo, C., and Rios, A. (2006). Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea antarctica*. *Food chemistry*, 99(1), 98-104. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.027>
- Öztürk, F., and Hamzaçebi, S. (2019). Farklı çözügenlerle elde edilmiş *Ulva lactuca* ekstraktlarının antibakteriyal aktivitesi. *Acta Aquatica Turcica*, 15(3), 272-279. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.508150>
- Paiva, L., Lima, E., Neto, A. I., Marcone, M., and Baptista, J. (2016). Health-promoting ingredients from four selected Azorean macroalgae. *Food Research International*, 89, 432-438. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.007>
- Pangestuti, R., and Kim, S. K. (2015). Seaweed proteins, peptides, and amino acids. In *Seaweed sustainability* (pp. 125-140). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-418697-2.00006-4>
- Pan-Utai, W., Pantoa, T., Roytrakul, S., Praiboon, J., Kosawatpat, P., Tamtin, M., and Thongdang, B. (2022). Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant potential of valuable protein from *Ulva rigida* macroalgae. *Life*, 13(1), 86. <https://doi.org/10.3390/life13010086>
- Pappou, S., Dardavila, M. M., Savvidou, M. G., Louli, V., Magoulas, K., and Voutsas, E. (2022). Extraction of bioactive compounds from *Ulva lactuca*. *Applied Sciences*, 12(4), 2117. <https://doi.org/10.3390/app12042117>
- Pereira, L. (2011). A review of the nutrient composition of selected edible seaweeds. *Seaweed: Ecology, nutrient composition and medicinal uses*, 7(4), 15-47. <https://www.researchgate.net/publication/235767788>
- Peter, N. R., Raja, N. R., Rengarajan, J., Pillai, A. R., Kondusamy, A., Saravanan, A. K., and Lal, K. K. (2024). A comprehensive study on ecological insights of *Ulva lactuca* seaweed bloom in a lagoon along the southeast coast of India. *Ocean & Coastal Management*, 248, 106964. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106964>
- Pirian, K., Piri, K., Sohrabipour, J., Jahromi, S. T., and Blomster, J. (2016). Nutritional and phytochemical evaluation of the common green algae, *Ulva* spp. (*Ulvophyceae*), from the Persian Gulf. *Fund Appl Limnol*, 188(4), 315-327. <https://doi.org/10.1127/fal/2016/0947>
- Polikovskiy, M., Fernand, F., Sack, M., Frey, W., Müller, G., and Golberg, A. (2016). Towards marine biorefineries: Selective proteins extractions from marine macroalgae *Ulva* with pulsed electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37, 194-200. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.03.013>
- Postma, P. R., Cerezo-Chinarro, O., Akkerman, R. J., Olivieri, G., Wijffels, R. H., Brandenburg, W. A., and Eppink, M. H. (2018). Biorefinery of the macroalgae *Ulva lactuca*: extraction of proteins and carbohydrates by mild disintegration. *Journal of Applied Phycology*, 30(2), 1281-1293. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1319-8>
- Putra, N. R., Fajriah, S., Qomariyah, L., Dewi, A. S., Rizkiyah, D. N., Irianto, I., and Arya, N. N. (2024). Exploring the potential of *Ulva lactuca*: Emerging extraction methods, bioactive compounds, and health applications-A perspective review. *South African Journal of Chemical Engineering*, 47(1), 233-245. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.11.017>
- Pycke, B. F. G., and Faasse, M. (2015). Biochemical composition and quality assessment of native macroalgae collected along the Flemish coast: Public Output report of the EnAlgae project, Oostende, December 2015. <https://documentatiecentrum.watlab.be/imis.php?module=ref&refid=253361>
- Pádua, M. D., Fontoura, P. S. G., and Mathias, A. L. (2004). Chemical composition of *Ulvaria oxysperma* (Kützinger) bliding, *Ulva lactuca* (Linnaeus) and *Ulva fasciata* (Delile). *Brazilian*

- archives of biology and technology*, 47, 49-55. <https://doi.org/10.1590/s1516-89132004000100007>
- Rahhou, A., Layachi, M., Akodad, M., El Ouamari, N., Rezzoum, N. E., Skalli, A., and Baghour, M. (2023). The bioremediation potential of *Ulva lactuca* (chlorophyta) causing green tide in marchica lagoon (NE Morocco, Mediterranean Sea): Biomass, heavy metals, and health risk assessment. *Water*, 15(7), 1310. <https://doi.org/10.3390/w15071310>
- Raj, R., Anandan, R., KK, A., Mathew, S., and CN, R. (2020). Nutritional and human healthcare aspects of *Ulva lactuca*. *Chemical Science Review and Letters*, 9(34), 541-545. [https://chesci.com/wp-content/uploads/2020/07/41\\_CS205101130\\_p541-545.pdf](https://chesci.com/wp-content/uploads/2020/07/41_CS205101130_p541-545.pdf)
- Ramulu, P., and Rao, P. U. (2003). Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of food composition and analysis*, 16(6), 677-685. [https://doi.org/10.1016/s0889-1575\(03\)00095-4](https://doi.org/10.1016/s0889-1575(03)00095-4)
- Rasyid, A. (2017). Evaluation of nutritional composition of the dried seaweed *Ulva lactuca* from Pameungpeuk waters, Indonesia. *Tropical Life Sciences Research*, 28(2), 119. <https://doi.org/10.21315/tlsr2017.28.2.9>
- Ratana-arporn, P., and Chirapart, A. (2006). Nutritional evaluation of tropical green seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *Ulva reticulata*. *Agriculture and Natural Resources*, 40(6 (Suppl.)), 75-83. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/244017>
- Reddy, C. R. K., Rao, P. S., Ganesan, M., Eswaran, K., Zaidi, S. H., and Mantri, V. A. (2006). The seaweed resources of India. *World Seaweed Resources. Eti Information Services Ltd., Wokingham, Berkshire, UK, 25pp*. <https://www.researchgate.net/publication/235568953>
- Reka, P., Banu, T., and Seethalakshmi, M. (2017). Alpha amylase and alpha glucosidase inhibition activity of selected edible seaweeds from south coast area of India, *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 9(6), 64-68. <https://doi.org/10.22159/ijpps.2017v9i6.17684>
- Ribeiro, D. M., Lopes, P. A., Pinto, R. M., Pestana, J. M., Costa, M. M., Alfaia, C. M., and Prates, J. A. (2023). Dietary *Ulva lactuca* and CAZyme supplementation improve serum biochemical profile and hepatic composition of weaned piglets. *Scientific Reports*, 13(1), 8784. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36008-4>
- Robic, A., Rondeau-Mouro, C., Sassi, J. F., Lerat, Y., and Lahaye, M. (2009). Structure and interactions of Ulvan in the cell wall of the marine green algae *Ulva rotundata* (Ulvales, Chlorophyceae). *Carbohydrate Polymers*, 77(2), 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.12.023>
- Roleda, M. Y., and Heesch, S. (2021). Chemical profiling of *Ulva* species for food applications: What is in a name?. *Food Chemistry*, 361, 130084. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130084>
- Roleda, M. Y., Lage, S., Aluwini, D. F., Rebours, C., Brurberg, M. B., Nitschke, U., and Gentili, F. G. (2021). Chemical profiling of the Arctic sea lettuce *Ulva lactuca* (Chlorophyta) mass-cultivated on land under controlled conditions for food applications. *Food Chemistry*, 341, 127999. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127999>
- Roohinejad, S., Koubaa, M., Barba, F. J., Saljoughian, S., Amid, M., and Greiner, R. (2017). Application of seaweeds to develop new food products with enhanced shelf-life, quality and health-related beneficial properties. *Food Research International*, 99, 1066-1083. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.016>
- Santos-Sánchez, G., Miralles, B., Brodkorb, A., Dupont, D., Egger, L., and Recio, I. (2024). Current advances for in vitro protein digestibility. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1404538. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1404538>
- Shalaby, M. S., and Amin, H. H. (2019). Potential using of Ulvan polysaccharide from *Ulva lactuca* as a prebiotic in synbiotic yogurt production. *Journal of Probiotics and Health*, 7, 1-9. <https://doi.org/10.35248/2329-8901.19.7.208>
- Shuuluka, D., Bolton, J. J., and Anderson, R. J. (2013). Protein content, amino acid composition and nitrogen-to-protein conversion factors of *Ulva rigida* and *Ulva capensis* from natural populations and *Ulva lactuca* from an aquaculture system, in South Africa. *Journal of Applied Phycology*, 25, 677-685. <https://doi.org/10.1007/s10811-012-9902-5>

- Simon, C., McHale, M., and Sulpice, R. (2022). Applications of *Ulva* biomass and strategies to improve its yield and composition: a perspective for *Ulva* aquaculture. *Biology*, 11(11), 1593. <https://doi.org/10.3390/biology11111593>
- Singh, C. B., Hassan, M. A., Gudipati, V., Deshmukhe, G., Xavier, K. A. M., and Balange, A. K. (2016). Extruded snacks fortified with seaweed (*Ulva lactuca*): process optimization by response surface methodology. *Journal of Environment and Biological Science*, 30(2), 289-297. <https://www.researchgate.net/publication/312777332>
- Stedt, K., Toth, G. B., Davegård, J., Pavia, H., and Steinhagen, S. (2022). Determination of nitrogen content in *Ulva fenestrata* by color image analysis—a rapid and cost-efficient method to estimate nitrogen content in seaweeds. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1081870. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1081870>
- Sudharsan, S., Seedeve, P., Ramasamy, P., Subhadrappa, N., Vairamani, S., and Shanmugam, A. (2012). Heavy metal accumulation in seaweeds and sea grasses along southeast coast of India. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 4(9), 4240-4244. <https://www.researchgate.net/publication/315747494>
- Sundhar, S., Shakila, R. J., Shalini, R., Aanand, S., Jayakumar, N., Arisekar, U., and Manikandan, B. (2024). Bioaccessibility of toxic heavy metals/metalloids in edible seaweeds: Exposure and health risk assessment. *Food Research International*, 182, 114135. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114135>
- Tabarsa, M., Rezaei, M., Ramezani, Z., and Waaland, J. R. (2012). Chemical compositions of the marine algae *Gracilaria salicornia* (Rhodophyta) and *Ulva lactuca* (Chlorophyta) as a potential food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(12), 2500-2506. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5659>
- Templeton, D. W., and Laurens, L. M. (2015). Nitrogen-to-protein conversion factors revisited for applications of microalgal biomass conversion to food, feed and fuel. *Algal Research*, 11, 359-367. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.07.013>
- Trigo, J. P., Engström, N., Steinhagen, S., Juul, L., Harrysson, H., Toth, G. B., and Undeland, I. (2021). In vitro digestibility and Caco-2 cell bioavailability of sea lettuce (*Ulva fenestrata*) proteins extracted using pH-shift processing. *Food Chemistry*, 356, 129683. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129683>
- Udayangani, C., Wijesekara, I., and Wickramasinghe, I. (2019). Characterization of sea lettuce (*Ulva lactuca*) from Matara, Sri Lanka and development of nutri-bars as a functional food. <https://doi.org/10.4038/rjs.v10i2.76>
- Venugopal, V. (2019). Sulfated and non-sulfated polysaccharides from seaweeds and their uses: An overview. *ECronicon Nutrition*, 2(2), 126-41. <https://ecronicon.net/assets/ecnu/pdf/ECNU-14-00556.pdf>
- Yaich, H., Amira, A. B., Abbes, F., Bouaziz, M., Besbes, S., Richel, A., and Garna, H. (2017). Effect of extraction procedures on structural, thermal and antioxidant properties of Ulvan from *Ulva lactuca* collected in Monastir coast. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1430-1439. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.141>
- Yaich, H., Garna, H., Besbes, S., Paquot, M., Blecker, C., and Attia, H. (2011). Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia. *Food chemistry*, 128(4), 895-901. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.114>
- Yaich, H., Garna, H., Bchir, B., Besbes, S., Paquot, M., Richel, A., and Attia, H. (2015). Chemical composition and functional properties of dietary fibre extracted by Englyst and Prosky methods from the alga *Ulva lactuca* collected in Tunisia. *Algal Research*, 9, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.02.017>
- Yu-Qing, T., Mahmood, K., Shehzadi, R., and Ashraf, M. F. (2016). *Ulva lactuca* and its polysaccharides: Food and biomedical aspects. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 6(1), 140-151. <https://www.researchgate.net/publication/292156349>
- Zeng, Z., Yang, W., Liao, J., Wu, X., Lei, M., Lin, K., and Cui, J. (2025). Optimizing temperature, light intensity, and salinity conditions for the culture of an asexual population of *Ulva ohnoi*. *Aquaculture Reports*, 44, 103070. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.103070>

- Zollmann, M., Liberzon, A., and Golberg, A. (2023). Modeling of growth of the macroalga *Ulva* sp. in a controlled photobioreactor based on nitrogen accumulation dynamics. *Applied Phycology*, 4(1), 121-140. <https://doi.org/10.1080/26388081.2023.2224423>
- Qi, H., Zhang, Q., Zhao, T., Chen, R., Zhang, H., Niu, X., and Li, Z. (2005). Antioxidant activity of different sulfate content derivatives of polysaccharide extracted from *Ulva pertusa* (Chlorophyta) in vitro. *International journal of biological macromolecules*, 37(4), 195-199. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2005.10.008>
- Wan, A. C., Tai, B. C., and Du, C. (2021). Food security and nutrition-a systematic approach. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 738-745. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.024>
- Wells, M. L., Potin, P., Craigie, J. S., Raven, J. A., Merchant, S. S., Helliwell, K. E., and Brawley, S. H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of applied phycology*, 29, 949-982. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5>
- Wijffels, R. H., Barbosa, M. J., and Eppink, M. H. (2010). Microalgae for the production of bulk chemicals and biofuels. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy*, 4(3), 287-295. <https://doi.org/10.1002/bbb.215>
- Wong, K. H., ve Cheung, P. C. (2000). Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds: Part I—proximate composition, amino acid profiles and some physico-chemical properties. *Food chemistry*, 71(4), 475-482. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(00\)00175-8](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(00)00175-8)