

**Su Ürünlerinde Uygulanan Minimal İşleme Yöntemleri****Rukiye KÖKLÜ¹** ve **Hülya TURAN²**

How to cite: Köklü, R., & Turan, H. (2025). Su ürünlerinde uygulanan minimal işleme yöntemleri. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 709-730. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.1768673>

Derleme

Sorumlu Yazar
Rukiye KÖKLÜ
koklurukiye@gmail.com

Yazarlara ait ORCID
R.K: 0000-0001-6146-5125
H.T: 0000-0002-2944-1032

Received: 19.08.2025
Accepted: 25.11.2025

Öz

Sağlıklı beslenme için insan hayatında çok önemli bir yere sahip olan su ürünleri, dünya genelinde daha çok taze/işlenmemiş olarak tüketilmektedir. Bununla birlikte, çağımızın değişmekte olan yaşam biçimi ve tüketici yönelimlerinden ortaya çıkan taleplerle işlenmiş su ürünlerine olan ihtiyaç gün geçtikçe artış göstermektedir. Diğer et türlerine göre çok daha hassas bir yapıya sahip olan su ürünleri, çabuk bozulmaya elverişlidir. Geleneksel ya da klasik endüstriyel işleme yöntemleri ile işlendiklerinde yüksek besinsel kayıplar meydana gelebilmekte, uzun depolama ömrü için kullanılan katkı maddeleri ise tüketici algısını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle artık klasik işleme yöntemlerinin yerini besinsel değerlerde en az kayıp ve maksimum koruma sağlayan yeni teknolojiler almaktadır. Bu teknolojiler, genel olarak su ürünlerinin işleme kalitesini artıran, raf ömrünü uzatan minimal işleme teknikleri olarak tanımlanmaktadır. Minimal işleme yöntemleri ürünlerin işlenmesi, depolanması ve paketlenmesine kadar her aşamada uygulanabilmektedir. Su ürünlerinde kullanılan minimal işleme yöntemleri, ısıl olmayan işlemler (yüksek hidrostatik basınç, vurgulu elektrik alan, ışınlama, ultrases, paketlenme), ısıl işlemler (sous vide, kızılötesi ısıtma, mikrodalga ısıtma, ohmik ısıtma) ve doğal antimikrobiyaller başlıkları altında incelenmiştir. Ayrıca minimal işlemeyi mümkün kılan uygulamaların birlikte kullanılabildiği hurdle teknolojisi (çoklu engel teknolojisi) de ele alınmıştır. Bu derleme makalesinde minimal işleme yöntemlerinin temel prensipleri, kullanım alanları ve konu ile ilgili yapılan araştırmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su ürünleri, işleme teknikleri, minimal işleme

Minimal Processing Methods Applied to Seafood

¹Sinop Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Sinop, Türkiye

²Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Sinop, Türkiye

Abstract

Seafood, which has a very important place in human life for healthy nutrition, is consumed mostly fresh/unprocessed all over the world. However, the need for processed seafood is increasing day by day due to the demands arising from the changing lifestyle and consumer trends of our age. Seafood, which has a much more delicate structure compared to other types of meat, is prone to rapid spoilage. When processed with traditional or classical industrial processing methods, high nutritional losses can occur, and additives used for long storage life can negatively affect consumer perception. For this reason, classical processing methods are now being replaced by new technologies that provide minimum loss and maximum preservation of nutritional values. These technologies are generally defined as minimal processing methods that increase the processing quality of seafood and extend shelf life. Minimal processing methods can be applied at every stage, from processing to storage and

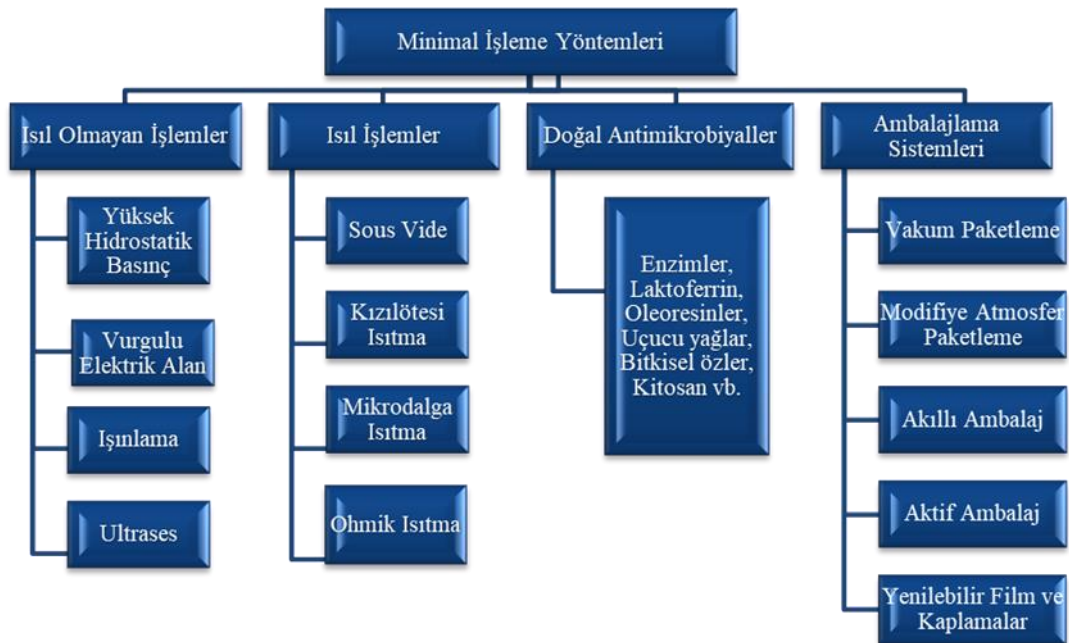
Giriş

Su ürünleri yüksek protein içeriği, değerli vitamin ve mineral maddeleri, esansiyel amino asitleri ve yağ asitleriyle en değerli besin maddelerinden biridir. Beslenmemizde önemli bir yeri olan proteinlerin balık etindeki oranı %18 ila 22 arasında [1] olup vücut için gerekli tüm esansiyel amino asitleri içerir [2]. Esansiyel amino asitler sayesinde biyolojik değeri yüksek proteine sahip olan 150 g balık, bir yetişkinin günlük protein ihtiyacının %50-60'ını karşılayabilmektedir [3]. İnsan sağlığı için gerekli olan tüm vitaminler balıkta yüksek miktarda yer almaktadır, ancak bu miktarlar türden türe ve yıl boyunca büyük farklılıklar göstermektedir [4]. Suda çözünen B ve C vitaminleri, karasal hayvan etlerindeki miktar ile benzer düzeyde, yağda çözünen A, D, E ve K vitaminleri ise genel olarak daha yüksek düzeylerde bulunmaktadırlar [5]. Büyüme ve sağlıklı yaşam için gerekli olan mineral maddeler balık etinde önemli bir yere sahiptir. Kalsiyum, fosfor, sodyum, potasyum, magnezyum, iyot, demir, bakır, flor, kobalt ve çinko su ürünlerinin içerdiği önemli minerallerdendir [1]. Balık eti içerdiği çok değerli yağ asitleri ile sağlıklı beslenmede ön plana çıkan bir besindir. Su ürünlerinde bulunan eicosapentaenoic asit (EPA) ve docosahexaenoic asit (DHA) iki önemli omega 3 yağ asidi olup, bu yağ asitleri insan vücudu tarafından sentezlenemez ve diyet veya takviye yolu ile alınmalıdır [6]. EPA ve DHA vücutta önemli biyokimyasal ve fizyolojik fonksiyonlarda değişimlere neden olmaktadır [7]. Günümüzde insanların karşı karşıya kaldığı bazı hastalıklarda beslenme rejiminin büyük bir etkisi olduğu kanıtlandığından insanlar sağlıklı beslenme konusunda daha bilinçli hale gelmişlerdir. Balık tüketiminin insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri birçok çalışma ile kanıtlanmış olup, haftada 2-3 kez tüketilmesi tavsiye edilmektedir [8]. İçerdiği çok değerli besin öğeleri yanında yüksek su miktarı nedeniyle, su ürünleri mikrobiyal gelişmeye, otolitik aktiviteye ve lipid oksidasyonuna hassas olduklarından çabuk bozulabilir. Bu yüzden su ürünlerinde işleme teknolojileri önemli yer tutmaktadır. İşleme teknolojileri ile su ürünlerinin muhafazası sağlanmakta ayrıca ürünün kalitesi ve güvenliği korunmaktadır. Su ürünlerinin raf ömrünü uzatmak için uzun yıllardır geleneksel yöntemler kullanılmaktadır. Bu işlemler arasında fermentasyon, tütsüleme, tuzlama, soğutma, dondurma, kurutma gibi işlemler yer almaktadır [9]. Su ürünlerinde uygulanan pastörizasyon ve sterilizasyon gibi geleneksel ısı işlem uygulamaları, bakteriyel patojenleri etkisiz hale getirmede veya engellemede oldukça etkili olmalarına rağmen genellikle gıdalarda istenmeyen besinsel, kimyasal/biyokimyasal ve duyuşal değişikliklere yol açabilmektedir.

[10]. Ayrıca kurutma ve aşırı tuzlama gibi işlemler de lipid oksidasyonuna ve duyu kalitenin bozulmasına neden olabilmektedir [11]. Bu nedenlerden dolayı geleneksel yöntemler, besin değeri yüksek, uzun raf ömrüne sahip ürün arayan tüketicilerin taleplerini karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu amaç doğrultusunda besin değerini ve duyu özellikleri koruyarak raf ömrünü uzatan minimal işleme elverişli yeni işleme teknolojileri geliştirilmiştir. Minimal işleme yöntemleri ile su ürünlerinin doğal özellikleri korunarak raf ömrü uzamakta ve mikrobiyal gelişme azaltılarak gıda güvenliği sağlanmaktadır. Bu derleme makalesinde minimal işleme yöntemlerinin temel prensipleri, kullanım alanları ve konu ile ilgili yapılan araştırmalar hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Minimal İşleme

Minimal işleme, ürünün bozulmasını, patojen mikroorganizmaların ve/veya enzimlerin etkisini kısmen ya da tamamen kontrol altına alarak, gıdanın besin içeriğini, duyu özelliklerini ve yapısal bütünlüğünü olabildiğince koruyan, aynı zamanda raf ömrünü uzatarak gıda güvenliğini sağlayan işlemler bütünüdür [11]. Codex Alimentarius Komisyonu (C.A.C.)'na göre, minimal işlenmiş gıdalar, mikroorganizma gelişimini engellemek amacıyla soğukta muhafaza edilen, raf ömrü 5 günden daha fazla olan, başlangıçtaki mikrobiyal yükü azaltmak için ısı işlemleri ve diğer işlemler kullanılan ve ayrıca bu işlemlere ilaveten soğukta muhafazaya ihtiyaç duyan gıdalar olarak tanımlanmaktadır. Minimal işleme yöntemleri; ısı olmayan işlemler, ısı işlemleri, biyolojik koruma veya doğal antimikrobiyallerin uygulanması olarak kategorize edilebilir (Şekil 1) [12].



Şekil 1. Et ve balık ürünlerinde minimal işleme yöntemleri [12].

Isıl Olmayan Minimal İşleme Yöntemleri

Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisi

Isıl olmayan işlemler arasında olan ve 1990'lı yıllardan beri gıda uygulamalarında kullanılan yüksek hidrostatik basınç (YHB), [10] son yıllarda su ürünlerinde de kullanılan bir teknolojidir. Yüksek hidrostatik basınç teknolojisinde 100 ile 800 MPa arasında birkaç dakika basınç uygulanmaktadır [13]. Pascal'ın izostatik prensibine göre, ürünün boyutuna bakılmazsın basınç uygulaması ürünün her tarafına eşit dağılım göstermekte, Chatelier prensibine göre ise sıvıya uygulanan kuvvet sıvının sıkıştırılması yoluyla ürüne etki etmektedir [14]. YHB uygulaması ile *Listeria*, *Salmonella* ve *E. coli* gibi patojenik bakteriler yok edilerek mikroorganizmaların gelişimi önlenmekte [15], proteinler gibi büyük bileşiklerin yapısında ve işlevinde değişiklikler olabilirken, amino asitler, vitaminler gibi diğer küçük moleküller değişikliğe uğramadan kalabilmektedir [16]. Isıl uygulamalar ile kovalent ve kovalent olmayan bağlar etkilense de oda sıcaklığında uygulanan yüksek basınç sadece zayıf kimyasal bağları etkilemektedir [17]. Bu sayede gıdanın içerdiği vitaminler, pigmentler, fenoller ve benzer bileşenlerinde değişiklik olmadan, tat ve aroma bozulmadan doğallıkları korunabilmektedir [14]. Fakat yoğun YHB uygulandığında pH ve sertlikte artış, renk değişimi, su tutma kapasitesinin azalması ve oksidasyon gibi olumsuz etkiler görülmektedir [18]. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde; Vakumla paketlenmiş karideslere (*Penaeus monodon*) uygulanan YHB (5 dakika boyunca $15\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de 100, 300 ve 500 MPa) ile toplam uçucu bazik azot artışı ve mikrobiyal gelişim geciktirilmiş ancak, basıncın artmasıyla su tutma kapasitesi azalmıştır. Orta düzeydeki basınç (300 MPa, 5 dakika) karidesin duyu özelliklerini korumaktayken, yüksek düzeydeki (500 MPa, 5 dakika) basınç miyofibriller proteinlerin doğal yapısını tahrip etmiştir [19]. YHB uygulamasının çözdürme ve pişirme sırasında ağırlık kaybına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; dondurulmadan önce farklı YHB (200, 250 ve 300 MPa; 2, 4, 6 dakika) uygulanan uzun kanat orkinos balıklarında (*Thunnus alalunga*), 6 dakika ve 200 MPa lık YHB, ağırlık kaybı ve renk değişimine neden olurken, en az ağırlık kaybı ve renk değişimi 2 dakika ve 200 MPa ile sağlanmıştır [20]. Avrupa levrek (*Dicentrarchus labrax*) filetolarına YHB (600 MPa, 5 dakika, 25°C) uygulamasının kaliteyi iyileştirdiği ve mikrobiyal yükü azaltarak raf ömrünü uzattığı bildirilmiştir [21]. Dondurulmuş ve çözdürülmüş morina (*Gadus morhua*) ile somon (*Salmo salar*) balıklarına 20°C 'de 5 dakika süreyle uygulanan YHB (150, 300 ve 450 MPa) sonucunda; 450 MPa YHB mikrobiyal gelişmeyi önemli derece azaltmış fakat balık eti; tekstür, lipid oksidasyonu ve protein denatürasyonu açısından olumsuz etkilenmiştir [22]. Marine edilmiş ringa balığına (*Clupea harengus*) uygulanan farklı YHB'ler (5 ve 10 dakika, 100, 300, 500 ve 600 MPa) arasında 100 ile 300 MPa YHB uygulamasının duyu açıdan daha çok tercih edildiği bildirilmiştir [23]. Burada yer verilen araştırma sonuçlarından da anlaşılacağı üzere; YHB uygulaması çok yüksek dozlarda kullanılmadığı takdirde balık etinin kimyasal, mikrobiyolojik ve duyu özelliklerinde koruyucu etki gösterdiği anlaşılmaktadır.

Vurgulu Elektrik Alan Teknolojisi

Vurgulu elektrik alan, son yıllarda gıda sektöründe önem kazanan termal olmayan bir işleme teknolojisidir [10]. Bu teknolojinin temel prensibi iki elektrot arasına yerleştirilen gıdaya yüksek voltaj darbelerinin (0,1-80 kV/cm, 0,1-100 µs) verilmesi şeklinde uygulanmasıdır [24]. Vurgulu elektrik alan teknolojisi mikroorganizmaların inaktivasyonunda oldukça etkilidir [25]. Ayrıca, enzim inaktivasyonunda, kurutma verimliliğinin artırılmasında, sıvı atıkların arıtılmasında ve gıdanın işlevsel özelliklerinin iyileştirilmesi gibi amaçlarla da kullanılmaktadır [26]. Midyeden protein ekstraksiyonu üzerine vurgulu elektrik alan uygulamasının etkisi; farklı alan şiddetleri, farklı darbe sayısı ve farklı enzimoliz süreleri ile denenmiş, 20 kV/cm, 8 darbe vurgulu elektrik alan uygulaması sonrası 2 saat enzimoliz süresinin oldukça verimli olduğu tespit edilmiştir [27]. Pasifik beyaz karideslere sırasıyla 54, 214 ve 483 kJ/kg özgül enerjiye sahip üç farklı PEF (5 kV/cm, 200 darbe; 10 kV/cm, 400 darbe; 15 kV/cm, 600 darbe) uygulaması sonucunda, 15 kV/cm ve 600 darbe uygulanan gruplarda daha düşük polifenol oksidaz (PPO) aktivitesi ve melanoz skoru tespit edilmiş, ayrıca 10 günlük depolama sonunda mikrobiyal yük en az tespit edilmiştir [28]. Tilapia filetolarına düşük frekanslı (0.1 Hz, 500 kV/m, 6.5 saniyeli darbe) vurgulu elektrik alan uygulaması, protein denatürasyonu ve lipid oksidasyonunu azaltmış ve raf ömrünü artırmıştır [29]. Sardalya balıklarına (*Sardina pilchardus*) salamura öncesi ve salamura sırasında vurgulu elektrik alan (6.36 kV/cm) uygulaması sonucunda kontrol grubunun tuz konsantrasyonu daha düşük tespit edilmiş ve vurgulu elektrik alan uygulamasının süresi arttıkça dokudaki gözenek sayısı ve çapı artmıştır [30]. Yukarıda yer verilen araştırma sonuçlarına göre vurgulu elektrik alan uygulaması üründe çeşitli avantajlar sağlamaktadır.

Işınlama Teknolojisi

Gıdalarda raf ömrünü uzatmak için geliştirilen ışınlama teknolojisi, hastalıklara yol açan mikropları ve mikroorganizmaları yok eden, gıdaların çürümesini, bozulmasını ve haşere istilasını engelleyen bir koruma yöntemi olup; gıda ışınlama işlemi, Kobalt-60 gama ışınları, elektronik olarak hızlandırılmış elektron demetleri ve x-ışınları ile gerçekleştirilmektedir [31]. Gıdaların ışınlama yöntemiyle korunması, "soğuk işlem" olarak bilinmektedir [32]. Işınlanmış gıdalarda, Radura sembolünün (Şekil 2) yer alması ve aynı zamanda "ışınlanmıştır" veya "ışınlama işlemi yapılmıştır" ifadelerinin belirtilmesi zorunludur [33].



Şekil 2. Radura simgesi [34]

Gıdalarda ışınlamanın etkisi birçok etkene bağlı olarak değişebilmektedir. Bunların en aza indirgenmesi için gıdanın yapısı, ışınlamada kullanılan doz, ürünün depolama koşulları gibi parametreler oldukça önemli yer tutmaktadır [35]. Işınlama uygulanmış su ürünlerinde besin değerindeki kayıplar, uygulanan doz, sıcaklık, oksijen varlığı ve su ürünlerinin kompozisyonuna bağlı olarak değişiklik gösterir [34, 36]. Özellikle yağlı balıklar, radyolitik hidroksil iyonlarının oksidasyonundan kaynaklanan acı tadı ve kokusu nedeniyle ışınlamaya daha duyarlıdır [34]. Yüksek dozlarda kullanılan ışınlama dozunun (5 kGy ve üzeri) balık aromasını azaltıcı etkisi olduğu belirtilmiştir [37]. Su ürünlerinde yüksek dozlarda ışınlama uygulaması protein denatürasyonuna yol açarken [36], 10 kGy'den daha az uygulanan ışınlama dozunun proteinlere zarar vermediği bildirilmiştir [12]. Farklı dozlarda (3 ve 5 kGy) ışınlanıp vakum paketlenerek dondurulan ve -20°C'de 12 ay depolanan palamut balıklarının (*Sarda sarda*) fiziksel ve kimyasal özelliklerinde her iki ışınlama dozu benzer etki gösterirken, yüksek dozdaki ışın mikrobiyal yükün azalmasında daha etkili olmuştur [38]. Benzer şekilde, *Salmonella* suşları ile aşılanan çığ ton balığı filetolarında farklı dozlarda X ışını uygulamasının mikrobiyal yük üzerindeki etkisi artan doz miktarı ile artmış, yüksek doz uygulanmasının renk ve doku üzerinde de olumsuz bir etkisi olmamıştır [39]. Işınlamanın kerevitler üzerinde de olumlu etkileri vardır. Haşlanmış ve paketlenmiş kerevitlerde (*Procambarus clarkii*) 3.32 kGy Kobalt 60 uygulaması hem sterilizasyonu sağlamakta hem de et kalitesini maksimum düzeyde korumaktadır [40]. Işın uygulaması ürünün depo ömrünü artırmaktadır. Kıyasal bir dip türü olan *Cynoscion guatucupa* filetolarında farklı dozlarda uygulanan (0, 1.5, 4 ve 6.5 kGy) gamma ışınının raf ömrü üzerindeki etkisi artan doz miktarı ile artmıştır. 4 kGy dozunda ışın uygulanan ve 4±1°C de depolanan, balık filetolarının 16 gün olan raf ömrü, 6.5 kGy dozunda 33 güne çıkmaktadır [41]. Gerek taze gerekse işlenmiş ürünlerde uygun dozlarda ışınlama yapılması ürünün kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik kalitesi üzerinde olumlu etki göstermektedir.

Ultrases Teknolojisi

Ultrases, insanın işitme frekansından daha yüksek, yani 20 kHz'in üzerinde belirli bir frekansa sahip bir ses dalgasıdır [42]. Biyolojik bir yapı etrafına dağıldığında ortamdaki parçacıklarda sıkışma ve gevşeme hareketlerine yol açmaktadır. Bu hareketlenme ile materyale yüksek miktarda enerji aktarımı sağlanmaktadır [43]. Gıda işlemede kullanılan ses dalgaları, düşük enerjili yüksek frekanslı ve yüksek enerjili düşük frekanslı olmak üzere iki gruba ayrılır [3]. 1 W/cm²'den düşük yoğunluklarda ve 100 kHz'in üzerinde frekanslarda uygulanan düşük enerjili ses uygulamaları; genellikle dondurulmuş etlerin tenderizasyonunda, hücresel aktivitelerin uyarılmasında, filtrasyon ve emülsifikasyon gibi işlemlerde kullanılmaktadır [44]. 1 W/cm²'nin üzerindeki yoğunluklarda ve 20-100 kHz frekans aralığında olan yüksek enerjili ultrases uygulamaları; hücre parçalama, partikül küçültme, enzim inaktivasyonu, proteinlerin ekstraksiyonu, oksidasyon-redüksiyon gibi işlemlerde kullanılmaktadır [45]. Tuzlanmış kurutulmuş ot sazanlarında (*Ctenopharyngodon idella*) kuruma sürecini hızlandırmak ve kuruma süresini kısaltmak için uygulanan ultrasonik işlemin (0-480 W, 40 kHz'de 120 dk) su kaybı oranını

önemli ölçüde artırdığı ve ürün kalitesini iyileştirdiği, ultrason gücünün artması ile birlikte tekli doymamış yağ asidi ve çoklu doymamış yağ asidi göreceli içeriğinde, toplam serbest amino asit içeriğinde ve sertlikte azalma gözlenirken, doymuş yağ asidi oranında artış olduğu bildirilmiştir [46]. Ultrason uygulamalarının mikrobiyal gelişime etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; farklı yoğunluklarda ultrason uygulanan (200 W/L, 300 W/L, 500 W/L, 20 kHz, 2 dk.) taze sardalya (*Sardina pilchardus*) filetolarında 200 W/L güçte ultrason uygulamasının mikrobiyal bozulmayı geciktirdiği ve depolama süresini uzattığı tespit edilmiştir [47]. Farklı yoğunluklarda (250 W/L, 500 W/L, 750 W/L) ultrason uygulanan marine hamsilerde düşük yoğunluklu ultrasonun (250 W/L) renk, tekstür ve duyu özellikleri olumlu etkilediği yüksek yoğunluklu ultrasonun (750 W/L) ise raf ömrünü kısalttığı bildirilmiştir [48]. *Labeo rohita* (Rohu balığı)'nın kafa bölgesindeki umami bileşiklerin enzimatik ekstraksiyonunda ultrason destekli ekstraksiyonun geleneksel ekstraksiyon yönteminden daha etkili olduğu tespit edilmiştir [49]. Bu konuda yapılan araştırma sonuçlarından da anlaşılabacağı üzere çeşitli işleme yöntemlerinde ultrason uygulamaları iyi sonuçlar vermekte ve düşük yoğunluklu ultrason uygulamaları balığın duyu ve mikrobiyal kalitesini iyi yönde etkilemektedir.

Paketleme Teknolojisi

Gıda sanayiinde paketleme, gıdanın tüketiciye ulaşana kadar gıdayı çevresel faktörlerin (ısı, ışık, nem, basınç ve mikroorganizmalar gibi) bozucu etkilerine karşı koruyarak gıda güvenliğini sağlamaktadır [50]. Taze veya işlenmiş ürünlerin paketlenmesinde vakum paketleme, modifiye atmosfer paketleme yaygın olarak kullanılmakta olup son yıllarda, akıllı paketleme, aktif paketleme, yenilebilir film paketleme gibi yeni paketleme teknolojileri de kullanılmaya başlamıştır.

Vakum Paketleme Teknolojisi (VP)

Vakum paketleme (VP), gıdanın hava geçirmez bir pakete yerleştirilip havanın çekilmesi ve paketin hava almayacak şekilde kapatılmasıyla uygulanan bir yöntemdir. Vakum uygulaması ile paket içerisindeki oksijen seviyesi azaltılarak aerobik mikroorganizmaların gelişimi ve oksidasyon engellenmekte ve ürünün raf ömrünün uzatılması sağlanmaktadır [43]. Vakum paketlemenin ürün üzerindeki koruyucu etkisi sayısız çalışmalarla ortaya konulmuştur. Örneğin; Kuru tuzlanmış palamut lakerdasının vakum paketlenmesi, streç filme kıyasla lakerdanın, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini korumuş ve raf ömrünü uzatmıştır [51]. *Scomberomorus niphonius* (Japon İspanyol uskumrusu) filetolarının vakum paketlenmesi ile, 4°C'nin altındaki depolamada histamin oluşumu yavaşlamış ve böylece raf ömrü artmıştır [52]. *Lethrinus atkinsoni* (Pasifik sarıkuyruk imparatoru) filetoları vakum paketlenerek dondurulduğunda yağ oksidasyonu azalmış ve raf ömrü artmıştır [53]. *Sciaenops ocellatus* (kırmızı davul balığı) filetolarının vakum ve modifiye atmosfer altında paketlenmesi balığın depo ömrünü 29 güne kadar uzatmıştır [54]. Yapılan çalışmalar ile günümüzde vakum paketleme özellikle uzun süreli depolamalarda normal hava ile paketlemenin yerini almıştır.

Modifiye Atmosfer Paketleme Teknolojisi (MAP)

Modifiye Atmosfer Paketleme (MAP), gıdanın etrafında bulunan atmosferik bileşimin değiştirilmesi prensibine dayanır. Bu yöntem, paketin içerisinde oksijenin uzaklaştırılması ve farklı oranlarda CO₂ ve N₂ ile doldurulması şeklinde gerçekleşmektedir [55]. Ürünü çevreleyen hava bileşiminin değiştirilmesi ile, mikrobiyal gelişimin yavaşlaması ve oksidasyon reaksiyonlarının engellenmesi sağlanarak raf ömrü uzamakta, ürün güvenliği ve kalitesi korunmaktadır [56]. MAP teknolojisinde O₂, CO₂ ve N₂ yaygın olarak kullanılan gazlardır. Bu gazların dışında karbon monoksit, etilen oksit, ozon, nitroz oksit, helyum, neon, argon, hidrojen, sülfür dioksit birçok gıdanın paketlenmesinde kullanılabilmekte fakat bu gazlar ekonomik olmamakla birlikte duyu kaliteyi de olumsuz etkilemektedir [57]. Karbondioksit (CO₂), MAP teknolojisinde kullanılan temel gazlardan [58] olup, bozulmaya neden olan *Pseudomonas spp.*, *Acinetobacter* ve *Moraxella* gibi bakterilerin gelişimini inhibe etmektedir [57]. Azot (N₂) ise kendi başına çok az antimikrobiyal aktivite gösteren veya hiç göstermeyen inert, tatsız bir gazdır. Su ve yağdaki düşük çözünürlüğü nedeniyle, modifiye atmosfer paketlemede yüksek konsantrasyonlarda CO₂ kullanıldığında meydana gelebilecek paket çökmesini önleyebilir [59]. Düşük yağlı, beyaz etli balıklar için %30 O₂ / %40 CO₂ / %30 N₂ gaz karışımı önerilmekte olup kabuklular ve yumuşakçaların paketlenmesinde de bu oran kullanılabilmektedir. Yağlı balıklarda ise %40 CO₂ / %60 N₂ gaz karışımı önerilmektedir [60]. Modifiye atmosfer altında paketlemeye dair birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin; sotelenmiş kırlangıç balıkları (*Chelidonichthys lucernus*) MAP yapılarak +4°C'de depolandığında 16 günlük bir raf ömrü belirlenmiştir [61]. Vakum ve MAP uygulanan tilapia (*O. niloticus*) filetolarında nitrit oksit içeren MAP uygulamasının balık filetolarının raf ömrünü uzattığı ve kalitesini iyileştirdiği bildirilmiştir [62]. Turan ve Kocatepe [63] hava, vakum ve gaz karışımı (M1: %75 CO₂/ %25 N₂; M2: %60 CO₂/ %40 N₂; M3: %30 O₂/ %30 CO₂/ %40 N₂) paketlerinde paketlenen ve 2,9±0,02°C'de 40 gün boyunca depolanan kültür levreğinde %75 ve %60 CO₂ içeren bir gaz karışımıyla depolamanın, vakumlu işleme ve oksijen içeren bir gaz karışımıyla paketlemeden daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Vakum, lipid oksidasyonunu önlemenin en etkili yöntemi olmakla birlikte, tüm analiz sonuçlarına göre levrek balığı için en uygun yöntemin modifiye atmosfer paketleme olduğu ve en uygun gaz karışım oranının %75 CO₂ / %25 N₂ olduğunu bildirmişlerdir.

Akıllı Ambalaj Teknolojisi

Akıllı ambalaj teknolojisi, gıdaların üretimden tüketime kadar geçen süreçte çeşitli göstergeler (zaman-sıcaklık, oksijen (O₂), karbondioksit (CO₂), renk, tazelik, sızıntı) [64] kullanılarak paket içerisinde oluşan değişiklikler (gaz oluşumu, sıcaklık değişimleri, mikrobiyal bozulma gibi) ile ilgili uyarı yapabilen, gıdanın güvenliği ve kalitesi hakkında üretici ve tüketiciye bilgi sağlayan bir ambalajlama sistemidir [60, 65]. Balık bozulmasının izlenmesi amacıyla geliştirilen biyopolimer bazlı bir pH indikatör filmi kullanılan akıllı ambalajda, balık bozulmasına bağlı olarak değişen pH nedeniyle

gösterge rengi kırmızıdan sarıya dönmüş ve bu değişim 1 gün içinde gerçekleşmiştir [66]. Balık tazeliğinin izlenmesi amacıyla mor domatesten elde edilen antosiyanin içerikli akıllı kolorimetrik gösterge filmlerinde de bozulmaya bağlı renk değişimleri bildirilmiştir [67].

Aktif Ambalaj Teknolojisi

Aktif paketlenme, paket içerisine gıdanın mikroorganizma gelişimi ile enzimatik ve oksidatif bozulmasını önleyen aktif bir maddenin salınması ile oluşan sistemlerdir. Bu sayede, kolay bozulabilen gıdaların raf ömrü uzatılmaktadır [68]. Aktif ambalajlama sistemleri, korunması hedeflenen kalite özelliklerine göre çeşitli çözümler sunmaktadır. Örneğin, gıdadaki oksidasyonu azaltmak amacıyla oksijen giderici veya antioksidan içeren bir aktif ambalajlama sistemi tercih edilmektedir. Eğer bozulma paket içerisindeki nemden dolayı oluşuyorsa, paketlenmede nem emici bir sistem kullanılmaktadır [69]. Aktif paketlenme sistemleri içerisinde tutucular ve yayıcılar yer almaktadır [70]. Tutucular; oksijen, karbondioksit, etilen, nem, aroma, koku ve ultraviyole ışık gibi sistemlerdir. Yayıcılar ise karbondioksit, etanol, antioksidan ve antimikrobiyal içeren sistemlerden oluşmaktadır [71]. Bu konuda yapılan çalışmalardan birinde; probiyotik mikroorganizma içeren jelatin-sodyum alginat tabanlı nanofiber matları aktif paketlenen gümüş sazan filetolarında patojen mikroorganizma gelişimini geciktirmiş ve raf ömrünü artırmıştır [72]. Oksijen giderici ve antimikrobiyal film kombinasyonu *Rachycentron canadum* balık dilimlerinde yağ oksidasyonu ve mikrobiyal gelişimi geciktirmiştir [73].

Yenilebilir Film ve Kaplamalar

Yenilebilir film ve kaplamalar, gıda yüzeyinde ince bir tabaka oluşturarak gıdaları koruma ve raf ömrünü uzatma amacıyla kullanılan, doğal kaynaklardan elde edilen ve gıdayla birlikte tüketilebilen malzemelerdir [74]. Yenilebilir film ve kaplamalar, polisakkaritler, proteinler ve lipitler gibi hammaddelerden üretilmektedir [60]. Yenilebilir polisakkarit film ve kaplama üretiminde selüloz, nişasta (doğal ve modifiye), pektin türevleri, deniz yosunu özleri (örneğin aljinatlar, karragenan ve agar), gamlar ve kitosan kullanılmaktadır [75]. Polisakkarit kaplamalar ve filmlerin en önemli özelliği yapısal olarak stabil olmaları ve oksijen geçiş hızını düşürebilmeleridir [76]. Fakat genellikle çok hidrofiliktir ve bu nedenle neme karşı koruma sağlamamaktadır [60]. Yenilebilir protein filmler ve kaplamalar, bitkisel kökenli ve hayvansal kökenli olabilir. Bitkisel proteinler; mısır zeini, buğday gluteni, soya proteini, bezelye proteini, ayçiçeği proteini, yer fıstığı proteini ve çığit proteini gibi proteinlerdir. Hayvansal proteinler ise keratin, kollajen, jelatin, balık miyofibriller proteini, yumurta beyazı proteini, kazein ve peynir altı suyu proteindir [74]. Proteinden elde edilen filmlerin mekanik ve bariyer özellikleri polisakkaritler ve lipitlerden elde edilenlere göre iyi olmaktadır [76]. Yenilebilir lipit bazlı film ve kaplamaların üretiminde ise asetillenmiş monogliseritler, doğal mumlar ve çeşitli yağlı bileşikler kullanılmaktadır [74]. Polisakkaritler ve proteinlerin aksine lipitler kohezif filmler oluşturamamakta fakat düşük polariteleri ve yüksek nem bariyeri özellikleri sayesinde kaplama maddesi olarak kullanılmaktadır [75, 77]. Yenilebilir film ve kaplamaların su ürünlerinin raf ömrü ve kalite özellikleri

üzerine etkisi konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan birinde, %10 zencefil ekstaktı içeren kitosan çözeltisi ile oluşturulan film, gümüş sazan balığı (*Hypophthalmichthys molitrix*) filetolarına uygulandığında balığın kalitesini 12 gün korumuştur [78]. Başka bir çalışmada; keçiyoynuzu, ksantan, karreganan, portakal ve limon kabuğu ekstraktları ile oluşturulan antimikrobiyal film, kalamar halkaları (*Loligo vulgaris*) ve gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarında duyuusal ve mikrobiyolojik açıdan iyi sonuçlar vermiştir [79]. Başka bir çalışmada ise peynir altı suyu protein bazlı kaplamaların dondurulmuş somon filetolarının lipit oksidasyonunu geciktirdiğini belirtmiştir [80]. Gümüş sazan balığında kullanılan nanokitosa kaplama yüksek antimikrobiyal etkisi sayesinde balığın raf ömrünü artırmıştır [81]. Soğuk koşullarda depolanan beluga mersin balığı filetolarında ısırgan otu esansiyel yağı (%2, %3,5 ve %5 ağırlık) içeren hünnap zımkı (%4, %8 ve %12 ağırlık) bazlı nanoemülsiyonların yenilebilir kaplamalar olarak uygulanması da balığın raf ömrünü uzatmıştır [82].

Isıl İşlemlerle Minimal İşleme Yöntemleri

Sous Vide Teknolojisi

Sous vide, Fransızca'da "vakum altında" anlamına gelir ve sous vide pişirme, "ısıya dayanıklı, vakumlu poşetler içinde kontrollü sıcaklık ve süre koşulları altında pişirilen hammadde veya ham maddeler" olarak tanımlanmaktadır [83]. Bu teknikle pişirilen ürünler, pişirme-servis etme (cook-serve/hold) yöntemi ile ürün vakumlandıktan sonra sıcak su içerisinde pişirilip doğrudan tüketime sunulabilir ya da pişirme-soğutma/dondurma (cook-chill/freeze) yöntemi ile ürün vakumlandıktan sonra sıcak su içerisinde pişirilip, hızlıca soğutulup, buzdolabında veya dondurucuda saklanarak servis edileceği zaman ısıtılıp tüketilebilir. Sous vide teknolojisinde pişirme sıcaklığı genellikle 65-95°C arasındaki sıcaklıklarda değişkenlik göstermektedir. Pişirme süresi ise sıcaklık ve et kalınlığına bağlı olarak 5 dakika ile 6 saat arasındadır [84]. Sous vide teknolojisi, ürünün hava ile temasını engelleyerek istenmeyen koku ve tatların ürüne geçmesini önleyen, oksidasyonu azaltarak raf ömrünü uzatan ve besin değerlerindeki kaybı minimum düzeyde tutan etkili bir muhafaza yöntemidir [84, 85]. Kocatepe ve ark. [86] farklı pişirme teknikleri arasında, sous vide pişirme yönteminin diğer yöntemlere göre su kaybının en az olduğu ve balık eti dokusunun en iyi korunduğu yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Gu ve ark. [87] da geleneksel (100°C'de 15 dakika) ve sous vide yöntemiyle (75°C'de 30 dakika) pişirilerek soğukta saklanan deniz tarağında (*Chlamys farreri*) mikrobiyal kalite, su tutma kapasitesi ve protein denatürasyonu açısından sous vide pişirme işleminin daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Sous-vide yöntemi ürünün besin değerini korumada ve depolamada tek başına etkili olduğu kadar diğer uygulamalarla da kombine edilebilen bir yöntemdir. Esansiyel yağlardan kişniş ile sous vide (50 ve 55°C, 7 dakika) yapılan gökkuşağı alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*) yüksek sıcaklıktaki uygulamanın *L. monocytogenes* inhibisyonunda etkili olduğu bildirilmiştir [88]. Sıvı dumanla aromalandırılarak üç farklı sıcaklıkta sous vide (60-65-70°C, 20 dakika) yapılan levrek (*Dicentrarchus*

labrax) filetoları soğuk koşullarda saklandığında yine yüksek sıcaklıktaki pişirme kimyasal ve mikrobiyolojik kalite açısından daha etkili bulunmuştur [89].

Kızılötesi (Infrared) Isıtma Teknolojisi

Elektromanyetik spektrumda, görünür ışık ile mikrodalga radyasyonu arasında yer alan kızılötesi (IR) bölge, 0,78 µm ile 1.000 µm arasında bir dalga boyu aralığına sahiptir [43]. Kızılötesi (IR) ışınlam, gazla çalışan veya elektrikle ısıtılan emitörler tarafından üretilen elektromanyetik dalga formundaki bir enerji olup, gıdaların pişirilmesinde temassız ısıtma sağlayan bir yöntemdir [90]. IR ısıtma, her türlü ısıtma uygulamasına uygunluk, enerji verimliliği, kısa işlem süresi, homojen ısıtma, gıda ürünlerinde kalite ve besin kayıplarını azaltma, ekipmanların basit ve esnek yapısı, hibrit sistemlerle kolay entegrasyonu ve önemli enerji tasarrufu sağlamasıyla konvansiyonel yöntemlere göre birçok avantaj sunar. Ayrıca, ortam havasını ısıtmadığı için oda sıcaklığını korur ve kontrollü ısı transferi sayesinde gıda ürünlerinde hasarı en aza indirir [91]. Küçük ve büyük boy hamsi balıklarının kurutulmasında kullanılan kızılötesi kurutucunun 2.000 W/m² ışınlam şiddeti ve 5 cm mesafede en yüksek kurutma verimine sahip olduğu ve böylece kurutma işleminde oldukça etkili olduğu bildirilmiştir [92]. Sıcak hava destekli sürekli kızılötesi kurutma sistemi [1,5 m/s hava hızında üç farklı kızılötesi radyasyon (IR) yoğunluğu seviyesi (1.000, 2.000 ve 3.000 W/m²), üç farklı kurutma hava sıcaklığı (55, 65 ve 75°C), ve IR ısı kaynağı-numune mesafesi (5, 10 ve 15 cm)] ile kurutulan karideslerde optimum değerler 2.300 W/m², 55°C ve 10 cm olarak tespit edilmiş ve bu yöntemin enerji verimliliği yüksek ve kaliteli kurutulmuş karides üretimi için uygun olduğu belirtilmiştir [93].

Mikrodalga Isıtma Teknolojisi

Mikrodalgalar, frekansı 300 MHz ile 300 GHz frekansları arasında yer alan iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik dalgalar [94]. Mikrodalga ısıtma, materyallerin mikrodalga enerjisini absorbe ederek ısıya dönüştürmesiyle gerçekleşir. Gıdadaki su içeriği, suyun dipolar yapısından kaynaklanan dielektrik ısıtmaya neden olur. Salınlı elektrik alanın etkisiyle dipolar moleküller, alanın yönüne hizalanır ve yüksek frekanslı bu hareket, moleküller arası sürtünmeye yol açarak materyalin hacimsel olarak ısınmasını sağlar [95]. Mikrodalga ısıtmanın su ürünleri işleme üzerindeki uygulamaları arasında kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon, çözündürme, temperleme ve pişirme gibi işlemler yer almaktadır [43]. *E. coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus* ve *Listeria monocytogenes* ile aşılaman ve farklı sıcaklıklarda mikrodalgada (50 ve 70°C) pişirilen mezgit ve somon filetolarında; 70°C'de yapılan pişirme ile *S. aureus* ve *L. monocytogenes* sayılarının 2 log cfu/cm² altına düştüğü, patojen mikroorganizmaların tamamen yok edilmesi için ise iç sıcaklığın 70°C derecenin üzerinde olması gerektiği bildirilmiştir [96]. Marinopoulou ve Petridis [97] mikrodalga ısıtmanın midyelerde kabuk açmada en iyi yöntem olduğunu, Yan vd. [98] ise surimlerde jelleşme özelliğini geliştirdiğini bildirmişlerdir.

Ohmik Isıtma Teknolojisi

Ohmik ısıtma, gıdanın içinden bir elektrik akımının geçirilmesiyle doğrudan dirençle ısıtma esasına dayanır [43] ve bu işlemde, gıdaların elektrotlara doğrudan temas etmesi ile ürün içerisinden homojen bir şekilde geçen elektrik enerjisinin termal enerjiye dönüşerek gıdaların ısınması sağlanır. Elektrik akımı ürün üzerinden geçerken, ürünün akıma karşı gösterdiği direnç miktarıyla orantılı olarak ısınma gerçekleşir [99]. Ohmik ısıtma, haşlama, buharlaştırma, kurutma, fermentasyon, ekstraksiyon, sterilizasyon, pastörizasyon ve çeşitli gıdaların ısıtılmasında kullanılmaktadır [6]. Dondurulmuş ton balığının çözülme kalitesi üzerine farklı voltajlarda (40, 50 ve 60 V) ve farklı konsantrasyonlarda (%0.3, %0.4 ve %0.5w/v) tuz çözeltilerine daldırma şeklinde uygulanan ohmik ısıtma uygulamalarından, 50V voltaj ve %0.3 tuzlu suda çözülme süresinin geleneksel yöntemlere kıyasla 5.95 kat daha kısa olduğu bildirilmektedir [100]. Pasifik mezgıt balığından (*Merluccius productus*) balık sosu üretiminde ohmik ısıtma fermentasyon süresini hızlandırdığı için geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılabileceği önerilmektedir [101].

Doğal Antimikrobiyallerle Minimal İşleme

Antimikrobiyaller, patojen ve gıda bozulmasına sebep olan mikroorganizmaların büyümesini engellemek veya inaktive etmek amacıyla gıdalara, ambalajlara veya işleme ortamlarına eklenen doğal bileşenler olup, gıda endüstrisinde gıda güvenliğini ve kalitesini korumak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal antimikrobiyallerin gıdalara eklenmesi, minimum düzeyde işlenmiş gıda ürünlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır [102]. Doğal antimikrobiyaller hayvansal, bitkisel kaynaklı ürünler ve mikrobiyal metabolitler olabilir [103]. Yaygın olarak kullanılan doğal koruyucular; bitki özleri, kitosan ve kitooligosakkaritler, bakteriyosinler, biyoaktif peptitler ve uçucu yağlar gibi bileşenlerdir [104]. Bu bileşenlerin kullanımına dair yapılan birçok çalışmada özellikle taze olarak soğuk koşullarda muhafaza edilen su ürünlerinde iyi kalite özellikleri ile depolama ömründe artışlar bildirilmiştir. Örneğin; %0,2 nisin, %15 kitosan ve kırmızı alg (*Porphyra yezoensis*) ekstrektı içeren solüsyon ile raf ömrü oda sıcaklığındaki yayın balıklarında 12 saatten 24 saate, 4°C de olanlarda ise 6 günden 9 güne uzamıştır [105]. Turuncgillerden elde edilen R (+) limonen (terpen) kullanılarak vakum paketlenen ve 2°C’de depolanan çipura (*Sparus aurata*) filetolarının raf ömründe 6 ila 9 gün artış sağlanmıştır [106]. Limon yağı nanoemülsiyonu ile muamele edilen çiğ ve buharda pişirilen alabalıkların soğuk koşullarda muhafazası sırasında mikroorganizma gelişimi önemli derecede azalmıştır. Ayrıca duyusal kalite üzerinde de oldukça olumlu etkiler gösteren limon yağı nanoemülsiyonu ürünün raf ömrünü artırmıştır [107].

Minimal İşlemlerin Hurdle (Engel) Teknolojiler ile Uygulanması

Gıdaların mikrobiyal güvenliği ve stabilitesi, genellikle “engel” (hurdle) olarak adlandırılan koruyucu işlemlerin uygulanmasıyla sağlanır. Her bir engel, “mikroorganizmaların büyümelerini engelleyen veya

ölümlerine neden olan uygun olmayan bir ortamda tutmayı” ifade eder. Hurdle teknolojisi, mikrobiyal kontrol ve bozulmayı önlemek için farklı koruma yöntemlerinin bir araya getirildiği etkili bir stratejidir. Bu yaklaşım, “mikroorganizmaların büyümesini destekleyen koşullara bir bariyer oluşturmayı” hedefler ve “sıcaklık, nem, asitlik, redoks potansiyeli gibi parametrelerin değiştirilmesiyle” uygulanabilir [108]. Su ürünlerinde tuz, duman, asitler, sıcaklık, fermente mikroorganizmalar ve redoks potansiyeli engel olarak kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak, organik asitler, bakteriyosinler, kitosan, nitrat, laktoperoksidaz, uçucu yağlar, modifiye atmosfer paketlenme gibi koruyucu işlemler ile mikrodalga, yüksek basınç, ultraviyole ışık, ultrason, ışınlama ve yeni dekontaminasyon teknolojileri de potansiyel engeller arasında yer almaktadır [109]. Örneğin; karboksil metil selüloz bazlı yenilebilir film içindeki biberiye ekstraktları, tütsülenmiş yılan balığı (*Anguilla anguilla*) filetosunda 200–800 ppm düzeyinde antioksidan koruma sağlarken, 800 ppm ise mikrobiyal gelişim hızını azaltmaktadır [110]. Yüksek hidrostatik basınç (YHP) (300 MPa/350 MPa/400 MPa) ve sous vide (65°C/15 dk) kombinasyonlarının taze beyaz karidesin (*Litopenaeus setiferus*) duyu ve tekstürel özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği bildirilmiştir [111]. Hurdle teknolojisinde aynı anda uygulanan iyi seçilmiş çoklu engeller ile ürün kalitesi iyileşmekte bu da ürünün depolama süresinde olumlu etki göstermektedir.

Sonuç ve Öneriler

Son yıllarda değişen sosyal yaşam koşulları ve yoğun çalışma hayatı tüketicileri hazır, kolay ulaşılabilen gıdalara yönlentmektedir. Tüketiciler bu yönelimleriyle birlikte sağlıklı beslenme konusunda da oldukça hassasiyet göstermekte ve doğal, katkısız gıda arayışına girmektedir. Gıda sektörü, tüketicilerin bu ihtiyaçlarını karşılamak için minimal işleme yöntemlerini geliştirmiştir. Minimal işleme ile besin değeri yüksek, az işlenmiş ürün geliştirme yönünde artan talebe cevap vermek amacıyla ürün geliştirilmekte ve geliştirilen bu ürünler market raflarında yerini almaktadır. Ancak su ürünleri işleme sektörü ülkemizde bu konuda diğer gıda sektörlerine nazaran daha yavaş gelişmektedir. Minimal işleme yöntemlerinin su ürünleri alanında uygulanmasına dair çalışmalar incelendiğinde kullanılan yeni yöntemlerin su ürünlerinin besin değerini koruduğu, raf ömrünü artırdığı görülmektedir. Bu yüzden diğer gıdalarda olduğu gibi su ürünleri alanında da minimal işleme yöntemlerinin daha yaygın kullanılması beklenmektedir. Özellikle de çoklu engellerin kullanımının yaygınlaşması ve endüstriyel ürünlerde uygulanması önerilmektedir.

Teşekkür -

Fon/Finansman bilgileri -

Etik Kurul Onayı ve İzinler Çalışma, etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Çıkar çatışmaları/Çatışan çıkarlar Herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Yazarların Katkısı Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır.

Kaynaklar

- [1] Dean, L. M. (1990). Nutrition and preparation. In R. E. Martin, G. J. Flick (eds.), *The seafood industry*. Chap.16. Published Van Nostrand Reinhold, (p. 255-267) New York. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-2041-2_16#citeas
- [2] Love, R. M. (1982). Basic facts about fish. In A. Aitken, I. M. Mackie, J. H. Merritt & M. L. Windsor (eds.), *Fish handling & Processing*. Chap 2. Ministry of Agriculture, Fisheries & Food. Torry Research Station, (p. 2-19). Edinburgh.
- [3] Thakur, A., Dhiman, A. K., Thakur, N. S., Hamid, C. M., & Gautam, S. (2019). An introduction to seafood and recent advances in the processing of seafood products. *International Archive of Applied Sciences and Technoogy*, 10, 169-180. <https://doi.org/10.15515/iaast.0976-4828.10.2.169180>
- [4] Pal, J., Shukla, B. N., Maurya, A. K., Verma, H. O., Pandey, G., & Amitha, A. (2018). A review on role of fish in human nutrition with special emphasis to essential fatty acid. *International journal of fisheries and aquatic studies*, 6(2), 427-430.
- [5] Pigott, G.M., & B.W. Tucker. (1990). Seafood effects of technology on nutrition. Marcel Dekker, Inc. New York.
- [6] Knirsch, M. C., Dos Santos, C. A., de Oliveira Soares, A. A. M., & Penna, T. C. V. (2010). Ohmic heating—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(9), 436-441. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.06.003>
- [7] Gordon, D.T., Ratliff, V. (1992). The implications of omega 3 fatty acids in human health. In G.J. Flick, R.E. Martin (eds.), *Advances in seafood biochemistry composition and quality*, Technomic Publishing Co. Inc. (p. 69-98).
- [8] Turan, H., Kaya, Y., & Sönmez, G. (2006). Balık etinin besin değeri ve insan sağlığındaki yeri. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*. 23, Ek. (1/3): 505-508.
- [9] Ghaly, A. E., Dave, D., Budge, S., & Brooks, M. S. (2010). Fish spoilage mechanisms and preservation techniques. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7), 859.
- [10] Ekonomou, S. I., & Bozaris, I. S. (2021). Non-thermal methods for ensuring the microbiological quality and safety of seafood. *Applied Sciences*, 11(2), 833. <https://doi.org/10.3390/app11020833>
- [11] Abel, N., Rotabakk, B. T., & Lerfall, J. (2022). Mild processing of seafood A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(1), 340-370. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12876>
- [12] Banerjee, R., & Verma, A. K. (2014). Minimally processed meat and fish products. In *Minimally Processed Foods: Technologies for Safety, Quality, and Convenience*. Cham: Springer International Publishing. (p. 193-250).
- [13] Khouryieh, H. A. (2021). Novel and emerging technologies used by the US food processing industry. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 67, 102559. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102559>
- [14] Uçak, İ. (2018). Su ürünleri işleme ve muhafazasında yüksek hidrostatik basınç kullanımı. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 4(1), 47-57. <https://doi.org/10.17216/limnofish.340039>

- [15] Roobab, U., Fidalgo, L. G., Arshad, R. N., Khan, A. W., Zeng, X. A., Bhat, Z. F., Bekhit A. E. A., Batool, Z., & Aadil, R. M. (2022). High-pressure processing of fish and shellfish products: Safety, quality, and research prospects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(4), 3297-3325. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12977>
- [16] Patterson, M. F. (2014). Food Technologies: High Pressure Processing. *Encyclopedia of Food Safety*, 196–201.
- [17] Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I., & Weemaes, C. (1998). Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 9(5), 197-203. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00039-9)
- [18] de Oliveira, F. A., Neto, O. C., dos Santos, L. M. R., Ferreira, E. H. R., & Rosenthal, A. (2017). Effect of high pressure on fish meat quality—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.014>
- [19] Chen, L., Jiao, D., Liu, H., Zhu, C., Sun, Y., Wu, J., Zheng, M., & Zhang, D. (2022). Effects of water distribution and protein degradation on the texture of high pressure-treated shrimp (*Penaeus monodon*) during chilled storage. *Food Control*, 132, 108555. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108555>
- [20] Cartagena, L., Puertolas, E., & Martinez de Marañon, I. (2021). Highpressure pretreatment in albacore (*Thunnus alalunga*) for reducing freeze-driven weight losses with minimal quality changes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(7), 2704–2711. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10895>
- [21] Tsironi, T., Anjos, L., Pinto, P. I., Dimopoulos, G., Santos, S., Santa, C., Manadas, B., Canario, A., Taoukis P., & Power, D. (2019). High pressure processing of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets and tools for flesh quality and shelf life monitoring. *Journal of Food Engineering*, 262, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.010>
- [22] Arnaud, C., de Lamballerie, M., & Pottier, L. (2018). Effect of high pressure processing on the preservation of frozen and re-thawed sliced cod (*Gadus morhua*) and salmon (*Salmo salar*) fillets. *High Pressure Research*, 38(1), 62-79. <https://doi.org/10.1080/08957959.2017.1399372>
- [23] Uçak, İ., & Gökoğlu, N. (2017). Effect of high hydrostatic pressure on sensory quality of marinated herring (*Clupea harengus*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), e12784. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12784>
- [24] Barba, F. J., Koubaa, M., do Prado-Silva, L., Orlie, V., & de Souza Sant’Ana, A. (2017). Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 20-35. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.011>
- [25] Erafşar, F. K., & Çınar, İ. (2018). Gıda işlemede ısısal olmayan uygulamalar: vurgulu elektrik alan. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (19), 26-33.
- [26] Ağçam, E., Akyıldız, A., Evrendilek, G. A. (2014). Vurgulu elektrik alan teknolojisi pef: sistem ve uygulama odacıkları. *Akademik Gıda*, 12(2), 69-78.
- [27] Zhou, Y., He, Q., & Zhou, D. (2017). Optimization extraction of protein from mussel by high-Intensity pulsed electric fields. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3), e12962. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12962>

- [28] Shiekh, K. A., & Benjakul, S. (2020). Effect of pulsed electric field treatments on melanosis and quality changes of Pacific white shrimp during refrigerated storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(1), e14292. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14292>
- [29] Wang, J., Wang, Q., Xu, L., & Sun, D. W. (2022). Effects of extremely low frequency pulsed electric field (ELF-PEF) on the quality and microstructure of tilapia during cold storage. *LWT*, 169, 113937. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113937>
- [30] Canbaz, E. A., Üçgül, B., & Seydim, A. C. (2023). Vurgulu elektrik alanının sardalya (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) balıklarında tuz transferi üzerine etkisi. *Ege Journal of Fisheries & Aquatic Sciences (EgeJFAS)/Su Ürünleri Dergisi*, 40(2). <https://doi.org/10.12714/egejfas.40.2.09>
- [31] Alkan, H. (2006). Gıda ışınlama yöntemi ile gıdaların mikroorganizmalardan temizlenmesi. *Gıda Teknolojisi Dergisi*, Mart, 60-61.
- [32] Webb, M., & Penner, K. (2000). *Food irradiation* (MF-2426). Kansas State University. <https://www.ksre.k-state.edu/historicpublications/pubs/mf2426.pdf>
- [33] Codex Alimentarius Commission. (1985). *General standard for the labelling of prepackaged foods* (CXS 1-1985). FAO/WHO. 6 Nisan 2025. https://www.fao.org/faowhocodexalimentarius/shproxy/fr/?lnk=1&url=https%3A%2F%2Fworkspace.fao.org%2Fsites%2Fcodex%2FStandards%2FCXS%2B1-1985%2FCXS_001e.pdf
- [34] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. (2007). *Gıda ışınlama*. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
- [35] Australia New Zealand Food Authority. (2001). *Legibility requirements for food labels: ANZFA user guides to the new food standards code*. Food Standards Australia New Zealand.
- [36] Varlık, C., Erkan, N., Özden, Ö., Mol, S., Baygar, T. (2004). *Su Ürünleri İşleme Teknolojisi*. İstanbul Üniversitesi.
- [37] Kim, J. H., Ahn, H. J., Yook, H. S., Kim, K. S., Rhee, M. S., Ryu, G. H., & Byun, M. W. (2004). Color, flavor, and sensory characteristics of gamma-irradiated salted and fermented anchovy sauce. *Radiation Physics and Chemistry*, 69(2), 179-187.
- [38] Altan, C. O., & Turan, H. (2016). Synergistic effect of freezing and irradiation on Bonito fish (*Sarda sarda* Bloch, 1793). *Journal of Food Protection*, 79(12), 2136-2142. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-16-026>
- [39] Mahmoud, B. S., Nannapaneni, R., Chang, S., Wu, Y., & Coker, R. (2016). Improving the safety and quality of raw tuna fillets by X-ray irradiation. *Food Control*, 60, 569-574. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.039>
- [40] Li, H. L., Huang, J. J., Li, M. J., Chen, Y. N., Xiong, G. Q., Cai, J., & Zu, X. Y. (2023). Effects of cobalt-sourced γ -irradiation on the meat quality and storage stability of crayfishes (*Procambarus clarkii*). *Food Science and Technology*, 43, e104222. <https://doi.org/10.1590/fst.104222>
- [41] Cenci, M. P., Marchetti, M. D., Felix, M. L., Cova, M. C., Loreda, A. B. G., & Tomac, A. (2025). Screening the effect of ionizing radiation on microbiological quality, sensory acceptability and shelf-life extension of lean fish fillets. *Radiation Physics and Chemistry*, 228, 112408. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.112408>
- [42] Mason, T. J., & Cintas, P. (2002). Sonochemistry. *Handbook of Green Chemistry and Technology*. <https://doi.org/10.1002/9780470988305>

- [43] Nagarajarao, R. C. (2016). Recent advances in processing and packaging of fishery products: A review. *Aquatic Procedia*, 7, 201-213. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2016.07.028>
- [44] Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., & Lee, D. U. (2004). Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 261-266. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.12.001>
- [45] Thakur, B. R., & Nelson, P. E. (1997). Inactivation of lipoxygenase in whole soy flour suspension by ultrasonic cavitation. *Food/Nahrung*, 41(5), 299-301. <https://doi.org/10.1002/food.19970410510>
- [46] Wang, T., Ning, Z., Wang, X., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2018). Effects of ultrasound on the physicochemical properties and microstructure of salted-dried grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Journal of Food Process Engineering*, 41(1), e12643. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12643>
- [47] Gündüz, H., Hisar, Ş. A., & Gündüz, F. (2019). The effect of different ultrasound powers treatment on some quality parameters of sardines (*Sardina pilchardus*) packed in vacuum packaging. *Gıda*, 44(6), 1071-1080. <https://doi.org/10.15237/gida.GD19114>
- [48] Ayvaz, Z., Çakır, F., Gündüz, H., & Erdağ, M. (2019). Determination of the effect of different frequency ultrasound waves on the color and shelf life of vacuum packaged marinated anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology*, 7(3), 405–416. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i3.405-416.2341>
- [49] Siewe, F. B., Kudre, T. G., & Narayan, B. (2021). Optimisation of ultrasound-assisted enzymatic extraction conditions of umami compounds from fish by-products using the combination of fractional factorial design and central composite design. *Food Chemistry*, 334, 127498. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127498>
- [50] Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., & Srinivasagopal, T. K. (2016). Packaging interventions in low temperature preservation of fish-a review. *MOJ Food Process Technol*, 2(1), 13-25.
- [51] Kocatepe, D., Turan, H., Altan, C. O., & Gökner, G. (2014). Effect of the vacuum packaging on the shelf life of Lakerda. *International Journal of Food Science Nutrition and Dietetics*, 3(9), 157-159.
- [52] Lee, Y. C., Tseng, P. H., Hwang, C. C., Kung, H. F., Huang, Y. L., Lin, C. S., Wei, C.C., & Tsai, Y. H. (2019). Effect of vacuum packaging on histamine production in Japanese Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) stored at various temperatures. *Journal of Food Protection*, 82(11), 1931-1937. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-143>
- [53] Aberoumand, A., & Baesi, F. (2020). Effects of vacuum packaging in freezer on oxidative spoilage indexes of fish *Lethrinus atkinsoni*. *Food Science & Nutrition*, 8(8), 4145-4150. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1704>
- [54] Silbande, A., Adenet, S., Chopin, C., Cornet, J., Smith-Ravin, J., Rochefort, & K., Leroi, F. (2018). Effect of vacuum and modified atmosphere packaging on the microbiological, chemical and sensory properties of tropical red drum (*Sciaenops ocellatus*) fillets stored at 4 C. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.10.015>
- [55] Kocatepe, D., & Turan, H. (2011). Su ürünlerinin muhafazasında modifiye atmosfer paketleme teknolojisinin kullanımı. *Gıda*, 36(4), 233-240.
- [56] Oğuzhan, P., Angiş, S. (2008, Mayıs 21-23). Su Ürünlerinin Paketlenmesi. Türkiye 10. Gıda Kongresi Erzurum Türkiye, 10, 21-23.

<https://www.gidadernegi.org/TR/Genel/BelgeGoster8bf7.html?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EF9B26DB8A4F93DD83>

- [57] Sivertsvik, M., Rosnes, J. T., & Bergslien, H. (2002). Modified atmosphere packaging. *Minimal Processing Technologies in the Food Industry*, 61-86.
- [58] Laorenza, Y., Chonhenchob, V., Bumbudsanpharoke, N., Jittanit, W., Sae-Tan, S., Rachtanapun, C., Chanput, WP; Charoensiddhi, S.; Srisa, A.; Promhuad, K., Wongphan, P., & Harnkarnsujarit, N. (2022). Polymeric packaging applications for seafood products: Packaging-deterioration relevance, technology and trends. *Polymers*, 14(18), 3706. <https://doi.org/10.3390/polym14183706>
- [59] Pagarkar, A. U., Gaikwad, B. V., Kudale, A. S., Chogale, N. D., Satam, S. B., Pol, V. R., Shingare, P. E., Sawant, S. K., Rathod, N. B., Bhosale, B. P., Yadav B. M., Shinde, K. M., & Sawant, N. H. (2020). Modified atmosphere packaging: an approach to seafood industry. *Journal of Experimental Zoology India*, 23.
- [60] Kontominas, M. G., Badeka, A. V., Kosma, I. S., & Nathanailides, C. I. (2021). Recent developments in seafood packaging technologies. *Foods*, 10(5), 940. <https://doi.org/10.3390/foods10050940>
- [61] Çorapçı, B., & Kocatepe, D. (2019). Modifiye atmosfer (MA) paketlenmiş kırlangıç (*Chelidonichthys lucerna* Linnaeus, 1758) sotenin kalite özellikleri. *Gıda*, 44(6), 1059-1070. <https://doi.org/10.15237/gida.GD19093>
- [62] Wang, Z. C., Yan, Y., Fang, Z., Nisar, T., Sun, L., Guo, Y., Xia, N., Wang, H., & Chen, D. W. (2019). Application of nitric oxide in modified atmosphere packaging of tilapia (*Oreochromis niloticus*) filets. *Food Control*, 98, 209-215. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.043>
- [63] Turan, H., & Kocatepe, D. (2013). Different MAP Conditions to Improve the Shelf Life of Sea Bass. *Food Science and Biotechnology*. 22(6): 1589-1599. <https://doi.org/10.1007/s10068-013-0255-x>
- [64] Otles, S., & Yalcin, B. (2008). Intelligent food packaging. *LogForum*, 4(4), 3. <http://www.logforum.net/vol4/issue4/no3>
- [65] Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz, J. (2005). Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science*, 70(1), R1-R10. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x>
- [66] Sobhan, A., Muthukumarappan, K., & Wei, L. (2022). A biopolymer-based pH indicator film for visually monitoring beef and fish spoilage. *Food Bioscience*, 46, 101523. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101523>
- [67] Li, Y., Wu, K., Wang, B., & Li, X. (2021). Colorimetric indicator based on purple tomato anthocyanins and chitosan for application in intelligent packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 174, 370-376. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.182>
- [68] Yu, D., Wu, L., Regenstein, J. M., Jiang, Q., Yang, F., Xu, Y., & Xia, W. (2020). Recent advances in quality retention of non-frozen fish and fishery products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), 1747-1759. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1596067>
- [69] Pereira de Abreu, D. A., Cruz, J. M., & Paseiro Losada, P. (2012). Active and intelligent packaging for the food industry. *Food Reviews International*, 28(2), 146-187. <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.595022>

- [70] Hempel, A. W., Papkovsky, D. B., & Kerry, J. P. (2013). Use of optical oxygen sensors in non-destructively determining the levels of oxygen present in combined vacuum and modified atmosphere packaged pre-cooked convenience-style foods and the use of ethanol emitters to extend product shelf-life. *Foods*, 2(4), 507-520. <https://doi.org/10.3390/foods2040507>
- [71] Göncü, A., & Özkal, S. G. (2017). Ekmeklerde aktif paketlenme uygulamaları. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(11), 1264-1273. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i11.1264-1273.1247>
- [72] Ghalehjooghi, H. D., Tajik, H., & Shahbazi, Y. (2023). Development and characterization of active packaging nanofiber mats based on gelatin-sodium alginate containing probiotic microorganisms to improve the shelf-life and safety quality of silver carp fillets. *International Journal of Food Microbiology*, 384, 109984. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109984>
- [73] Remya, S., Mohan, C. O., Venkateshwarlu, G., Sivaraman, G. K., & Ravishankar, C. N. (2017). Combined effect of O₂ scavenger and antimicrobial film on shelf life of fresh cobia (*Rachycentron canadum*) fish steaks stored at 2°C. *Food Control*, 71, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.038>
- [74] Dursun, S., & Erkan, N. (2009). Yenilebilir protein filmler ve su ürünlerinde kullanımı. *Journal of FisheriesSciences.com*, 3(4), 352.
- [75] Dehghani, S., Hosseini, S. V., & Regenstein, J. M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chemistry*, 240, 505-513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.034>
- [76] Khalil, Y. R., & Ogunkalu, O. A. (2019). Edible films in seafood. *Eurasian J. agric. Res*, 1, 85-94.
- [77] Tural, S., Sarıcaoğlu, F. T., & Turhan, S. (2017). Yenilebilir film ve kaplamalar: Üretimleri, uygulama yöntemleri, fonksiyonları ve kaslı gıdalarda kullanımları. *Akademik Gıda*, 15(1), 84-94. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.306077>
- [78] Rostamzad, H., Abbasi Mesrdashti, R., Akbari Nargesi, E., & Fakouri, Z. (2019). Shelf life of refrigerated silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, fillets treated with chitosan film and coating incorporated with ginger extract. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 17(2), 143-153. <https://doi.org/10.22124/cjes.2019.3408>
- [79] Kılınç, B., Sürengil, G., & Yalçın, T. (2023). The impact of edible film coatings with lemon and orange peel extracts on microbiological quality and shelf-life of squid (*Loligo vulgaris*) rings and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 26(1), 172-182. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.995995>
- [80] Rodriguez-Turienzo, L., Cobos, A., Moreno, V., Caride, A., Vieites, J. M., & Diaz, O. (2011). Whey protein-based coatings on frozen Atlantic salmon (*Salmo salar*): Influence of the plasticiser and the moment of coating on quality preservation. *Food Chemistry*, 128(1), 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.026>
- [81] Ramezani, Z., Zarei, M., & Raminnejad, N. (2015). Comparing the effectiveness of chitosan and nanochitosan coatings on the quality of refrigerated silver carp fillets. *Food Control*, 51, 43-48.
- [82] Gharibzahedi, S. M. T., & Mohammadnabi, S. (2017). Effect of novel bioactive edible coatings based on jujube gum and nettle oil-loaded nanoemulsions on the shelf-life of Beluga sturgeon fillets. *International journal of biological macromolecules*, 95, 769-777.

- [83] Schellekens, M. (1996). New research issues in sous-vide cooking. *Trends in Food Science & Technology*, 7(8), 256-262. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10027-3](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10027-3)
- [84] Baldwin, D. E. (2012). Sous vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1(1), 15-30. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2011.11.002>
- [85] Haskaraca, G., & Kolsarıcı, N. (2013). Sous vide pişirme ve et teknolojisinde uygulama olanakları. *Akademik Gıda*, 11(2), 94-101.
- [86] Kocatepe, D., Turan, H., Şengör, G.F.U., Corapçı, B., Altan, C. O., & Kostekli, B. (2025). Effects of Innovative Cooking Techniques on the Physico-Chemical, Color, Structural and Sensory Properties of the Rainbow Trout (*O. mykiss*). *Journal of Culinary Science & Technology*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/15428052.2024.2373767>
- [87] Gu, M., Tu, C., Jiang, H., Li, T., Xu, N., Shui, S., Benjakul, S., & Zhang, B. (2024). Physicochemical characteristics and microbial diversity of sous vide scallops (*Chlamys farreri*) during chilled storage. *LWT*, 204, 116437. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116437>
- [88] Öztürk, F., Gündüz, H., & Sürengil, G. (2021). The effects of essential oils on inactivation of *Listeria monocytogenes* in rainbow trout cooked with sous-vide. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15878. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15878>
- [89] Köklü, R. (2023). *Levrek balığının raf ömrü ve besin kompozisyonu üzerine kombine işleme (sıvı duman ve sous vide) tekniklerinin etkisi*. (Tez no. 843797). [Yüksek Lisans Tezi, Sinop Üniversitesi]
- [90] Candan, T., & Bağdatlı, A. (2018). Et teknolojisinde alternatif ısıtma yöntemleri. *El-Cezeri*, 5(2), 656-670. <https://doi.org/10.31202/ecjse.403806>
- [91] Ravishankar, C. N. (2019). Advances in processing and packaging of fish and fishery products. *Advanced Agricultural Research & Technology Journal*, 3(2), 168-181.
- [92] Aniesrani Delfiya, D. S., Sneha, R., Prashob, K., Murali, S., Alfiya, P. V., & Samuel, M. P. (2022). Hot air-assisted continuous infrared dryer for anchovy fish drying. *Journal of Food Process Engineering*, 45(6), e13824. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13824>
- [93] Prashob, K., Aniesrani Delfiya, D. S., Murali, S., Alfiya, P. V., & Samuel, M. P. (2022). Drying of shrimp using hot air-assisted continuous infrared drying system. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(9), e16364. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16364>
- [94] Viji, P., Rao, B. M., Debbarma, J., & Ravishankar, C. N. (2022). Research developments in the applications of microwave energy in fish processing: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 123, 222-232. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.010>
- [95] Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., & Basak, T. (2013). Microwave food processing—A review. *Food Research International*, 52(1), 243-261. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.033>
- [96] Ulusoy, Ş., Üçok Alakavuk, D., Mol, S., & Coşansu, S. (2019). Effect of microwave cooking on foodborne pathogens in fish. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(8), e14045. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14045>
- [97] Marinopoulou, A., & Petridis, D. (2022). A comparative study of the effect of different cooking methods on the quality and shucking of mussels. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), e15875. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15875>
- [98] Yan, B., Jiao, X., Zhu, H., Wang, Q., Huang, J., Zhao, J., Cao, H., Zhou, W., Zhang W., Ye, W., Zhang H., & Fan, D. (2020). Chemical interactions involved in microwave heat-induced surimi gel

- fortified with fish oil and its formation mechanism. *Food Hydrocolloids*, 105, 105779. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105779>
- [99] Jaeger, H., Roth, A., Toepfl, S., Holzhauser, T., Engel, K. H., Knorr, D., Vogel, R. F., Bandick, N., Kulling, S., & Steinberg, P. (2016). Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 55, 84-97. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.007>
- [100] Fattahi, S., & Zamindar, N. (2020). Effect of immersion ohmic heating on thawing rate and properties of frozen tuna fish. *Food Science and Technology International*, 26(5), 453-461. <https://doi.org/10.1177/1082013219895884>
- [101] Kim, H. J., DeWitt, C. A. M., & Park, J. W. (2023). Application of ohmic heating for accelerating Pacific whiting fish sauce fermentation. *LWT*, 174, 114299. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114299>
- [102] Davidson, P. M., Critzer, F. J., & Taylor, T. M. (2013). Naturally occurring antimicrobials for minimally processed foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4(1), 163-190. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182535>
- [103] Carocho, M., Morales, P., & Ferreira, I. C. (2015). Natural food additives: Quo vadis? *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 284-295 <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.06.007>
- [104] Olatunde, O. O., & Benjakul, S. (2018). Natural preservatives for extending the shelf-life of seafood: A revisit. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(6), 1595-1612. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12390>
- [105] Qian, Z.G., Jiang, L.F., & Rui, L. (2013). Catfish preservation using *porphyra yezoensis* composites preservatives. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(9): 1255-1259. <https://doi.org/10.19026/ajfst.5.3092>
- [106] Giarratana, F., Muscolino, D., Beninati, C., Ziino, G., Giuffrida, A., & Panebianco, A. (2016). Activity of R (+) limonene on the maximum growth rate of fish spoilage organisms and related effects on shelf-life prolongation of fresh gilthead sea bream fillets. *International Journal of Food Microbiology*, 237, 109-113. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.08.023>
- [107] Corapci, B., Kocatepe, D., Altan, C. O., Ceylan, Z., Kostekli, B., & Turan, H. (2025). Effects of lemon oil-based nanoemulsion on sensory and microbiological quality of vacuum packed raw versus steam cooked trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) stored at + 4±2°C. *Journal of Food Science and Technology*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13197-025-06352-6>
- [108] Leistner, L. (2000). Basic aspects of food preservation by hurdle technology. *International Journal of Food Microbiology*, 55(1-3), 181-186. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)001616](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)001616)
- [109] Leroi, F., Amarita, F., Arbolea, J. C., Bjørkevoll, I., Cruz, Z., Dousset, X., Izurieta E., Joffraud, J.J., Lasagabaster, A., Lauzon, H.L., Lorentzen, G., Martínez de Marañón, I., Matamoros S., Miranda I, Nuin, M., Olabarrieta, I., Olsen, R., Pilet, M. F., Prevost, H., & Skjerdal, T. (2008). Hurdle technology to ensure the safety of seafood products. *Improving Seafood Products for the Consumer (book)*, (19), 399-425.
- [110] Choulitoudi, E., Ganiari, S., Tsironi, T., Ntzimani, A., Tsimogiannis, D., Taoukis, P., & Oreopoulou, V. (2017). Edible coating enriched with rosemary extracts to enhance oxidative and microbial stability of smoked eel fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.009>

- [111] Ahmad, I., & Traynor, M. P. (2022). Impact of high-pressure processing and sous vide cooking on the physicochemical, sensorial, and textural properties of fresh whiteleg shrimp (*Litopenaeus setiferus*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 31(6), 508-524. <https://doi.org/10.1080/10498850.2022.2077157>