

COMU Journal of Marine Sciences and Fisheries

Journal Home-Page: <http://jmsf.dergi.comu.edu.tr> Online Submission: <http://dergipark.org.tr/jmsf>



REVIEW

An Alternative for Fish Processing Industry: Electrolyzed Waters

Soner Çetinkaya

Akdeniz Su Ürünleri Araştırma Üretim ve Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

<https://orcid.org/0000-0003-2877-1248>

Received: 07.07.2022 / Accepted: 28.09.2022 / Published online: 29.12.2022

Key words:

Acidic water
Basic water
Quality change
Freshness
Green production

Abstract: In this study, electrolyzed water (EW), which is being used for disinfection in various food production applications, is discussed. Today, research on green production has intensified, aiming to preserve food for a longer time, using fewer chemicals or none, in order to preserve the initial nutritional properties of the food and deliver it to the consumer. In this context, it is an undeniable fact that there is a need to improve existing methods and practices and develop new technologies for the long-term storage of foods without quality losses and health concerns. One of the methods developed for this purpose is the use of electrolyzed water in food disinfection. While the use of electrolyzed water in various stages of the food processing industry creates a relatively new field of application, many studies have focused on its antimicrobial and antioxidant activity. However, studies on the use of this method in the fish processing industry are very limited and need to be developed. Previous studies are mainly related to the antimicrobial properties of electrolyzed water and there are limited studies on the effects of seafood products on storage times (shelf life). However, in light of the studies, it is seen that electrolyzed water has potential uses for the seafood processing industry.

Anahtar kelimeler:

Asidik su
Bazik su
Kalite değişimi
Tazelik
Yeşil üretim

Su Ürünleri İşleme Endüstrisi İçin Bir Seçenek: Elektrolize Sular

Öz: Bu çalışmada çeşitli gıda üretim alanlarında dezenfeksiyon amaçlı kullanımı yaygınlaşmakta olan elektrolize sular ele alınmıştır. Günümüzde gıdaların ilk andaki besin özelliklerinin korunarak tüketiciye ulaştırılması için daha az ya da hiç kimyasal kullanılmadan daha uzun süreli olarak saklanmasını amaçlayan yeşil üretime yönelik araştırmalar yoğunlaşmıştır. Bu kapsamda gıdaların kalite kayıpları olmaksızın ve sağlık endişeleri yaratmadan uzun süreli saklanmasına yönelik var olan yöntem ve uygulamaların iyileştirilmesi ve yeni teknolojilerin geliştirilmesine gereksinim olduğu da yadsınmaz bir gerçektir. Bu amaçla geliştirilen yöntemlerden birisi de gıda dezenfeksiyonunda elektrolize suların kullanımınıdır. Gıda işleme endüstrisinin çeşitli aşamalarında elektrolize suların kullanımı görece yeni bir uygulama alanı oluştururken, son zamanlarda yapılan çalışmalarda özellikle antimikrobiyal ve antioksidan ajan olarak da üzerinde durulmaktadır. Buna karşın bu yöntemin su ürünlerinde kullanımına yönelik çalışmalar oldukça sınırlı olup, geliştirilmesine gereksinim bulunmaktadır. Önceki çalışmalar ağırlıklı olarak elektrolize suların antimikrobiyal özellikleri ile ilgilidir ve su ürünlerinin saklama sürelerine (raf ömrü) etkisi ile ilgili olarak sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bununla birlikte yapılan çalışmalar ışığında elektrolize suyun su ürünleri işleme endüstrisinde potansiyel kullanımları olduğu görülmektedir.

Giriş

Sahip oldukları üstün beslenme özelliklerinin yanında, kolay bozulabilme gibi son derece büyük bir dezavantaja sahip olan su ürünlerinin saklanması için, diğer gıda maddelerinde de olduğu gibi insanoğlu tarih boyunca arayış içerisinde olmuştur. Tüm bu arayışların sonucunda farklı yöntemler geliştirilmiştir. Su ürünlerinin saklamasında farklı gruplarda ele alınabilecek yöntemler (ısı uygulamaları, soğukta, dondurarak, kurutarak, çeşitli kimyasallar kullanılarak vb.) kullanılmaktadır (Kaya,

1998; Gülyavuz ve Ünlüsayın, 1999; Varlık vd., 2004; Çaklı, 2007; Pazır vd., 2008). Son yıllarda tüketicilerin taze ya da tazeye yakın özellik gösteren gıda maddelerine yönelimlerinin arttığı görülmektedir (Novak vd., 2003). Bu bağlamda, tüketici talepleri daha sağlıklı gıdalara yönelim göstermektedir. Bu yönelim ürünün nasıl hazırlanacağı ve saklanacağı yanında son tüketim tarihine kadar etiket üzerinde yer alan bilgi gereksinimi şeklinde ortaya çıkmaktadır (Pilizota, 2012). Gıdaların ilk andaki besin

özelliklerinin korunarak tüketiciye ulaştırılmasına yönelik olarak daha az ya da hiç kimyasal kullanılmadan daha uzun süreli olarak saklanmasını amaçlayan araştırmalar yoğunlaşmıştır (Gray vd., 1996; Mahmoud vd., 2006; Mahmoud vd., 2007; Poçan, 2012).

Ölümden sonra balık etinde etin rengini, dokusunu ve su tutma kapasitesini etkileyebilecek çeşitli kimyasal ve fiziksel süreçler gerçekleşmeye başlar. Objektif belirteçler veya göstergeler ile tüketicinin sağlığını güvence altına almak için balıkların kalitesinin doğru bir şekilde kontrol edilmesi ve ölüm sonrası mekanizmaların bilinmesi ile de bozucu süreçlerin takip edilmesi ve hatta geciktirici yöntemler uygulanması çok önemlidir.

Su ürünlerinin yakalandıktan sonra taşınmasında, satış yerlerinde ya da işleme tesislerinde uzun süreli muhafazasında düşük sıcaklık uygulamalarından (soğukta, buzda, dondurarak) yararlanılmaktadır. Ancak balıkların satış için sergilendiği balık satış reyonlarında (ortam sıcaklığında) buz içinde saklama süresi ile ilgili bir çalışmaya rastlanamamıştır. Buna karşın Wang vd., (2014) buz (musluk suyu ve elektrolize asidik sudan elde edilen buzlar) içerisine yerleştirdikleri karidesleri ışsız, karanlık bir ortamda $18\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'de depolamış, Lin vd., (2013) musluk suyu ve elektrolize asidik sularla ürettikleri buzların içine yerleştirdikleri karidesleri 6 günlük bir süreyle $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de (klima ile sabitlenmiş) saklamıştır. Esasen su ürünlerinin naklinde yaygın olarak uygulanan buz içerisinde saklama yönteminin iyi uygulanması durumunda, ılıman veya soğuk sulardan yakalanan normal büyüklükteki beyaz etli balık türleri, duyuşal olarak tüketilemez hale gelmeden önce 12-18 güne kadar korunabilir. Büyük balıklar, özellikle rigor sonrası düşük pH'a sahip olma eğiliminde olan kalkan ve ton balığı gibi balıklar 21-22 gün arasında buz içinde tutulabilir. Buzda saklamanın 4. gününe kadar balıklar, birinci sınıf veya mükemmel tazelikte iken depolamanın 4. günü ile 15. günü arasında balıkların tazelik durumlarının bir takım kayıplar söz konusudur (Connell, 1995). Chytiri ve ark., (2004) buzda depolanan bütün ve fileto haldeki alabalığın raf ömrünü sırasıyla 15-16 ve 10-12 gün olarak bildirmiştir. Bütün alabalık için ilk 9 günlük depolama süresince elde edilen sonuçların mükemmel ve çok iyi, 12-15 günler arasında orta derecede olduğunu bildirmiştir. Buna karşın 15 günlük depolama sonrasındaki sonuçları satın almak için uygun bulmamıştır. Bu çalışmada balıklar suyun dışarı çıkmasına izin veren polisitiren kutulara 3:1 buz:balık oranı ile yerleştirilmiş ve kutular buzdolabında ($2\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) tutulmuştur. Bununla birlikte Sallam (2007) 1°C 'de depolanan alabalığın (*Onchorhynchus nerka*) raf ömrünü 8 gün olarak rapor etmiştir. Bu çalışmalarda elde edilen bulgular, elektrolize suların kullanımı ile yapılacak çalışmalar ile geliştirilebilir.

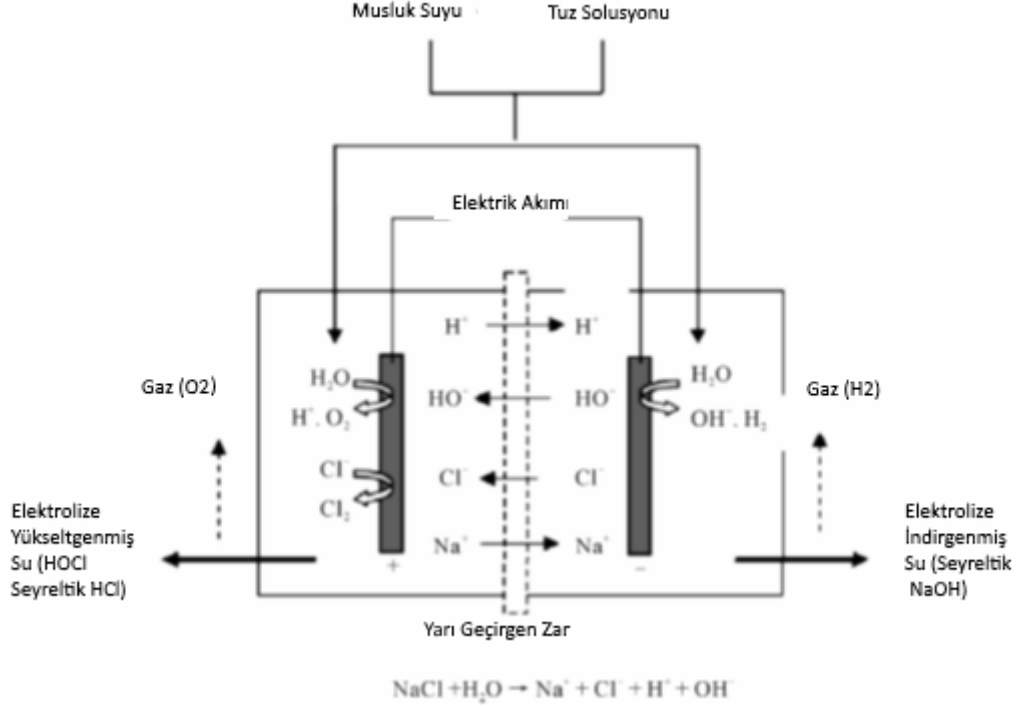
En güvenilir yöntemlerden birisi kabul edilen su ürünlerinin dondurularak saklanmasında raf ömrü süresi ile ilgili, destekleyici nitelikte yeterli çalışma bulunmamasına karşın, bu süre genellikle 24 ay olarak kabul edilmektedir. Çelik vd. (2002) bir marketten satın aldıkları dondurulmuş bazı su ürünleri türleri (mezgıt, sudak fileto, mezgıt pane, kalamar pane, balık burger, dondurulmuş kalamar, midye eti) için bu sürenin 24 ay olarak verildiğini bildirmektedir.

Bu çalışmada 24 aylık saklama süresi ile ilgili olarak yayınlanmış veriler olmadığı, bu konudaki çalışmaların bakanlığın ilgili kuruluşlarının görevi olduğu ve elde ettikleri verilerin yayınlanmadığı bildirilmiştir. Balıkların 24 aylık saklama süresi ile ilgili yayınlanmış verilere tarafımızdan da rastlanamamıştır. Bu nedenle elektrolize suların da kullanılacağı bir çalışma yapılması ile bu yöndeki ürün etiketlemesi dayanak kazanmış olacaktır.

İçerdiği yağ asitleri ve aminoasitler nedeniyle insan beslenmesinde tartışılmaz öneme sahip su ürünleri çok çabuk bozulan bir besin grubudur. Bu nedenle avlandıkları andan itibaren tüketime kadar geçen sürede kalite özelliklerinin korunması, güvenliğinin sağlanması ve saklama süresinin artırılması için depolama stratejilerinin uygulanması gerekmektedir. Günümüz koşullarında balık depolama teknolojilerindeki gelişmelere rağmen, soğutma ve dondurma hala gemide, karada taşıma sırasında ve balık tezgâhlarında kullanılan en yaygın saklama yöntemleridir. Buna karşın soğutma ya da süper soğutma işlemleri (balıkların içerdiği suyun küçük bir kısmının (%5-30) dondurulmasıyla) bozulmaya karşı sınırlı bir dayanıklılık kazandırmaktadır. Öte yandan balıkların dondurulması teknolojisi balık rigor mortis öncesi aşamadayken uygulanabilir. Bu da elde edilen ürünün rigor mortis ve rigor mortis sonrası aşamaya kıyasla daha kaliteli olmasını sağlar. Bu nedenle, kalite ve güvenliğini garanti altına almak için balığın raf ömrünü artırmak, buna bağlı olarak tüketici gereksinimlerinin karşılanması, balıkçılık endüstrilerinden kaynaklanan ekonomik kayıpların ve gıda atık ve israflarının azaltılması için bu saklama yöntemlerinin optimize edilmesi, yeni uygulamalarla geliştirilmesi gerekir (Duarte vd., 2020). Bu yenilikçi yöntemlerden biri olarak farklı gıda alanlarında dezenfeksiyon amaçlı olarak kullanılan elektrolize su teknolojisinin çok yönlü çalışmalar ile su ürünleri açısından da ele alınması yararlı sonuçlar verebilecektir.

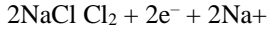
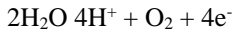
Elektrolize sular, üretimi ve özellikleri

Elektrolize sular NaCl, KCl, MgCl gibi klor içeren tuzlar (Mahmoud vd., 2006; Mahmoud, 2007; Hricova vd., 2008; Poçan vd., 2011; Hati vd., 2012; Rasco ve Ovissipour, 2015; Colangelo vd., 2015) ya da klor içeren bir asit olan HCl'nin (Kim vd., 2006; Luan vd., 2017; Huang vd., 2021) düşük yoğunlukta eklendiği sulardan, yarı geçirgen bir zar içeren (ya da içermeyen, (Athayde vd., 2018; Akbuz, 2019; Ampiauw vd., 2021)) bir düzenekte, elektrik akımı (10-12 V DC) geçirilmesi ile elde edilir (Şekil 1). Elde edilen son çözeltinin pH durumuna göre elektrolize sular asidik su (pH 2.2-2.7), zayıf asidik su (pH 2.7-5.0), hafif asidik su (pH 5.0-6.5), nötr su (6.5-7.5) ve alkali su (pH 11.0-13.8) olmak üzere çeşitli tiplerde sınıflandırılabilir (Zhao vd., 2021). Elektroliz yoluyla seyreltik bir sodyum klorür çözeltisi asidik elektrolize suya (AEW; pH 2 ila 3; oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) >1100 mV; aktif klor içeriği 10-90 ppm) ve bazik elektrolize suya (BEW; pH 10-13; ORP -800 ila -900 mV) ayrışır (Hricova vd., 2008). İşlem sırasında aşağıdaki eşitlikler gerçekleşir.

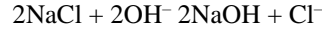
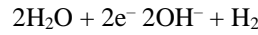


Şekil 1. Elektrolize su üretiminin şematik gösterimi (Hati vd., 2012'den alınmıştır)

Pozitif Kutup



Negatif Kutup



(Akbu, 2019)

Tepkimelerde oluşacak klor çözeltinin pH'ına bağlı olarak bileşik şeklini değiştirir. Elektrolize asidik suyun pH'ı 2,5 civarında olduğu için ortaya çıkan bileşiklerin %85' i hipokloröz asit ve %15'i klor gazından oluşur. Bu nedenle, elektrolize asidik sudaki mevcut klor, hipokloröz asit ve klor gazının bir kombinasyonunu ifade eder. Klor gazı üretim miktarı 0,012 ml/dk (15 A, 2,5 L/dk) kadar düşüktür (Hati vd., 2012).

Suyun elektrolizi ilk olarak 1789'da Hollandalı tüccarlar Jan Rudolph Deiman ve Adriaan Paets van Troostwijk tarafından bir elektrostatik jeneratör kullanılarak, suya batırılmış iki altın elektrot arasında bir elektrostatik deşarj oluşturmak için geliştirildi. Johann Wilhelm Ritter Volta'nın pil teknolojisinden yararlanarak yöntemi geliştirdi ve gazların ayrılmasında kullanıldı. 1888'de Rus mühendis Dmitry Lachinov tarafından elektroliz yoluyla hidrojen ve oksijenin endüstriyel sentezi için bir yöntem geliştirildi (Greig ve Cronin, 2016). Tarihsel süreç içerisinde elektrolize indirgenmiş su ilk olarak 1931'de tanıtıldı. Daha sonra sırasıyla 1954 ve 1960'da tarımda ve tıbbi bakım uygulamalarında kullanıldığı görülmektedir. Elektrolize indirgenmiş su 1966'da Japonya Sağlık, Çalışma ve Refah Bakanlığı tarafından kronik ishal, gastrointestinal rahatsızlıklar, hazımsızlık, hiperasidite rahatsızlıklarında tedavi edici olarak tavsiye edildi. Bakanlık ayrıca elektrolize

indirgenmiş suların ev kullanımı için de izin vermiştir. Son teknolojik gelişmeler ile elektrolize sular popülerlik kazanmıştır. Bu avantajlar nedeniyle elektrolize suların üretimi için daha iyi ekipmanlar geliştirilmiş ve elektrolize sular umut verici termal olmayan bir dezenfektan haline gelmiştir (Al-Haq vd., 2005; Hricova vd., 2008; Shirahata vd., 2012; Rahman vd., 2016). Günümüzdeki kullanım şekli ile 1980'den beri Japonya'daki tıbbi kurumlarda suların ve gıdaların dekontaminasyon, rejenerasyon ve dezenfeksiyonu gibi çok çeşitli amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yapılan çalışmaların ışığında kullanımı hayvancılık yönetimi, tarım, su ürünleri, gıda işleme, tıp, diş hekimliği gibi çeşitli alanlara yayılmıştır.

Suyun klor içeren farklı tuzlar ile elektrolizinden elde edilen elektrolize suların sebzeler ve meyveler başta olmak üzere gıdaların saklamasında yaygın olarak kullanıldığı bu yönde yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır (Mahmoud, 2007; Feliciano, 2010; Poçan vd., 2011; Colangelo, 2015; Belay vd. 2021). Buna karşın bu yöntemin su ürünlerinde kullanımına yönelik çalışmalar (Tablo 1) oldukça sınırlı olup, geliştirilmesine gereksinim bulunmaktadır. Çünkü bu çalışmalar ağırlıklı olarak elektrolize suların antimikrobiyal özellikleri ile ilgilidir. Bu çalışmalarda su ürünlerinin saklama süreleri (raf ömrü) ile ilgili olarak sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle diğer işleme yöntemleri yanında, yine en yaygın kullanılan yöntemlerden su ürünlerinin soğukta, buzda ve dondurularak saklanması işlemlerinde elektrolize suların kullanımının balıkların saklama süreleri ve bu süre içerisindeki kalite değişimleri üzerindeki etkileri daha fazla araştırılmalıdır. Böylece bu yöndeki talepler karşılanarak tüketicilere besin özellikleri korunmuş, taze balıkların daha sağlıklı koşullarda ulaştırılması

sağlanacaktır. Ayrıca başarılı sonuçlar alınması ile üreticiler açısından da ürünün yoğun olarak üretildiği dönemdeki arz fazlasına bağlı olarak ortaya çıkan fiyat dalgalanmaları ya da düşük fiyata ürün satma zorunluluğu

nedeni ile gelir kayıpları yaşamaları önenebilecektir. Bir başka yönü ile de su ürünleri işlemeciliğinin amaçlarından biri olan mevsime bağlı kalmaksızın tüketicilere ürün sunulması mümkün olacaktır.

Tablo 1. Elektrolize suların su ürünlerinde kullanımına yönelik çalışmalar

Kaynak Çalışma	Çalışma konusu
Özer ve Demirci, (2005)	<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ve <i>Listeria monocytogenes</i> ile inokule edilen salmonlara EW uygulaması
Huang vd., (2006a)	EW uygulaması ile su ürünlerinde bakteriyel yükün azaltılması
Huang vd., (2006b)	Buzdolabında ve dondurulmuş saklamada ton balıklarına EW ve karbon monoksitin etkisi
Kim vd., (2006)	Pasifik saury (<i>Collabis saira</i>) tazeliğini korumak için EW buzu kullanımı
Mahmoud vd., (2007)	Sazan balığının besin bileşenleri, amino asit ve yağ asitlerine EW'nin etkisi
Abou-Taleb ve Kawai, (2008)	Kızartılmış ton balığı dilimi raf ömrüne anodik EW'nin etkisi
Pazır vd., (2008)	Sebze ve balık işlemede EW kullanımı
Feliciana vd., (2010)	Tilapia filetosu ve erimiş buzun bakteri yükü üzerine nötral elektrolize suyun (NEW) etkinliği
Phuvasate ve Su, (2010)	Salmon ve ton balığı derisi ile kullanılan malzemelerdeki histamin üreten bakterilerin azaltımında EW kullanımı
Kasai vd., (2011)	Elektrolize deniz suyu (EW) kullanılarak istiridyelerden <i>Escherichia coli</i> 'nin eliminasyonu
Lin vd., (2013)	Karides kalitesini korumak için asidik elektrolize su (EW) buzunun kullanımı
Wang vd., (2014)	Asidik elektrolize su (EW) buzunun karanlık koşullarda karides kalitesine etkisi
Xu vd., (2014)	EW ve kitosan'ın soğuk depolama sırasında Tirsi balığının (<i>Alosa sapidissima</i>) mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyuşsal özelliklerine etkisi
Zhang vd., (2015)	Asidik EW ile glaze ve modifiye atmosfer ile paketlemenin Pasifik beyaz karidesin (<i>Litopenaeus vannamei</i>) raf ömrüne etkisi.
Shiroodi vd., (2016)	Dumanlanmış Atlantik salmonunda <i>Listeria monocytogenes</i> kontaminasyonuna karşı EW kullanımı
Dewi vd., (2017)	Su ürünlerinin raf ömrünü uzatmada sanitasyon amaçlı EW kullanımı
Luan vd., (2017)	EW ve kitosanın <i>Trichiurus haumela</i> balığının protein denatürasyonu ve oksidasyonu
Athayde vd., (2018)	EW suyun özellikleri ve gıda endüstrilerinde kullanımı
Nowsad vd., (2020)	EW'nin taze balıklarda bakterilere karşı ve taşıma ve dağıtım sırasında etkinliği
Huang vd., (2021)	SAEW (hafif asidik) ve buzun kombine muamelesinin pomfret balığı üzerindeki koruyucu etkisi

Elektrolize suların etki şekli

Çeşitli dezenfeksiyon teknikleri arasında dezenfeksiyon maddesi olarak elektrolize su (Electrolyzed Waters-EW) kullanımı bu alanda yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkan yöntemlerden birisi olup, toksik dezenfektanlara karşı çevre dostu bir temizleme seçeneği oluşturmasıyla da klorlama ve ısı işlemlere alternatif bulma arzusuyla uyumludur (Colangelo vd., 2015). Tuzlu suyun elektrolizi sonucunda mikroorganizmalara karşı öldürücü etki gösteren hipokloröz asit (HOCl) oluşmakta ve elektrik yükü olmadığı için hücre içine geçebilmektedir.

Bu asit hücre içerisinde oksidasyona neden olarak enzim sistemini olumsuz etkilemekte ve patojenlere tutunup hücre duvarından penetre olabilmektedir. Patojenlerin hücre yapısı içerisinde nükleik asitler, pürin ve pirimidinler ile reaksiyona giren klorlu bileşikler protein sentezini bozarak antimikrobiyal etki oluşturmaktadır (Park vd., 2002; Akbuz, 2019).

Diğer kimyasal dezenfektanların aksine elektrolize sular cilt ve mukoz membranlar için zararlı değildir ve kullanımı oldukça kolay, maliyeti nispeten daha düşük ve her şeyden önemlisi sürdürülebilir bir tekniktir. Bu

teknikte en büyük maliyeti elektrolitik ünitenin satın alınması oluşturmaktadır. Yönteminin uygulanması için bunun dışında sadece su, tuz ve elektrik gerekmektedir (Huang vd., 2008). Elektrolize suların kullanımının çevreye etkisi oldukça düşüktür. Çünkü organik madde ile temasında ya da musluk suyu ile seyreltildiğinde, elektrolize su tekrar "normal" hale gelir. Bu şekilde normal su haline geldiğinde antimikrobiyal özelliğini yitirmesi en önemli dezavantajını oluşturur. Yine de sonuç olarak değerlendirmek gerekirse kimyasal dezenfektanların taşınması ve depolanmasına bağlı tehlike ve zorluklar ile çevreye etkisi bakımından kıyaslandığında elektrolize suların kullanımı çok daha avantajlı görülmektedir (Colangelo vd., 2015).

Elektrolize suların kullanım alanları

Gıda, tıp ve sterilizasyon amacıyla uzun yıllardır kullanılmakta olan elektrolize sulardan Japonya, Amerika ve Rusya gibi ülkelerde, ev tipi basit cihazlarla üretilerek evlerde de yaygın olarak ve farklı amaçlarla yararlanılmaktadır. Asidik tipteki elektrolize sulardan yıpranmış kuru ciltlerin nemlendirilmesi, saç kepeğini önleme, yara temizleme, sivilce ve egzama iyileştirilmesi, böcek ısırması, hemoroit tedavisi, ayak mantarı tedavisi, mide spazmı ve ülser tedavisi, gıdaların bakteri, mantar ve virüslerden arındırılması ve soğutucu olmadan daha uzun süre saklanması, mutfak gereçlerinin temizlenmesi ile cilt yanıklarının iyileştirilmesi gibi alanlarda yararlanılmaktayken, bazik elektrolize sular ise daha çok yemek pişirme süresinin kısaltılması, çay ve kahve gibi içeceklerin hazırlanması, vücutta alkolün etkisinin hızlı bir şekilde giderilmesi, pirinç pilavının lezzetli olması ve gıdaların vücutta kolay emiliminin sağlanması, et, balık ve sebzelerin pişirilmesi ile evcil hayvan parazitlerinin temizlenmesinde tercih edilmektedir (Poçan, 2012; Rahman vd., 2016).

Elektrolize sular ve mikrobiyoloji

Elektrolize oksidize su kullanımı gıdalarda ve işleme yüzeylerinde mikrobiyal kontaminasyonu azaltmada etkili ve termal olmayan, bakterisidal özelliği olan, insanlara zararsız ve çevre dostu yeni bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Pazır vd., 2008; Lin vd., 2013; Dewi vd., 2017; Luan vd., 2017). ABD ve Japonya'da gıda endüstrisinde bakteri ve küfleri öldürmek için kullanılmakta olup, bu etkiyi üretimi sırasında ortaya çıkan aktif klor bileşiklerini (çözünmüş Cl_2 gazı, HOCl, OCl^-) içermesi ve yüksek oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) ile sağlamaktadır (Newsad vd., 2020). Oldukça düşük miktarlarda tuz içeriğine sahip (%0,1 ya da biraz daha fazla) sudan kapalı bir haznede bir elektrik akımı geçirildiğinde temel olarak iki tür su üretilir. Bunlar zararlı mikroorganizmaları öldürme yeteneğine sahip asidik su ile kesme tahtaları ve diğer mutfak eşyaları gibi eşyalardan kirin ve yağın temizliği için kullanılabilen alkali sudur (Huang vd., 2006a; Luan vd., 2017). Elektrolize suların mikroorganizmalar üzerinde hücre sitoplazmasını kısmen bozma, solunumu baskılama, hücre zarı geçirgenliğini ve hücre içi makro molekül hareketliliği, protein sentezi ve ATP biyosentez yollarında değişikliklere neden olarak

hücrelerin ölmesine yol açması yanında, protein ayrışması ve lipid oksidasyonunu da engelleyebilmektedir (Luan vd., 2017).

Dewi vd. (2017) elektrolize suların *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* ve *Vibrio parahaemolyticus* gibi patojenik bakterilere karşı etkili olduğunu, ancak işlenmiş su ürünlerinde bakterileri azaltabilmesine karşın tamamen ortadan kaldıramadığını bildirmiştir. Çiğ karides (*Litopenaeus vannamei*) (Lin vd., 2013), sardalya (*Sardinella longiceps*), Pasifik uskumru (*Scomber japonicas*) ve istavrit (*Trachurus trachurus*) (Newsad vd., 2020); tilapia (Feliciano vd., 2010); kıkıyruk (*Trichiurus haumela*) (Luan vd., 2017); Atlantik salmon (*Salmo salar*) (Shiroodi vd., 2016) vb. balıklar ile yapılan çalışmalarda mikroorganizmalar üzerindeki etkinliği ortaya konulmuş, Dewi vd., (2017) tarafından ifade edilen, elektrolize su kullanımı ile bakterilerin tamamen yok edilemediği ancak azaltılabildiği sonucunu doğrulamıştır.

Gıda kayıpları ve elektrolize sulardan yararlanma potansiyeli

Dünya genelinde artan nüfusun yanında gıda üretiminde ve gıdaya ulaşmada ciddi problemler söz konusu iken, gıdaların değerlendirilememesi ya da israfı da olayın çok önemli bir başka boyutunu oluşturmaktadır. Ne yazık ki ülkemiz de dahil olmak üzere gıda israfına yönelik olarak dünya genelinde yeterli veri elde edilememektedir. Sınırlı sayıda da olsa bu yönde yapılan çalışmalar ve tahminler içeren yayınlar bulunmaktadır. Bu alanda Parry vd., (2015) tarafından yapılan bir çalışmada su ürünleri ile ilgili olarak tüketim aşamasında ortaya çıkan kayıplar Avrupa'da (Rusya dahil) %11, Kuzey Amerika ve Okyanusya'da %33, Endüstrilemiş Asya'da %8, Japonya'da %6 olarak verilmektedir. Poçan (2012) her yıl toprağa dayalı tarımsal ürünlerin ve balıklardan elde edilen ürünlerin %25'inin gerek kimyasal yıkım ve gerekse de mikrobiyal bozulma sebebi ile kayba uğradığının tahmin edildiğini bildirmektedir. O nedenle uygulanacak yöntem ve kullanılacak girdiler geliştirilerek üretimde ciddi bir artış sağlansa bile, halen yaşanılmakta olan gıdaya erişim sorunlarını aşmada yetersiz kalacaktır. Çünkü esas olan gıdaların taşıdıkları en üstün nitelikleri ile uzun süreli olarak saklanması ve güven içerisinde insanların erişiminin sağlanmasıdır. Günümüzde diğer gıdalarda olduğu gibi su ürünlerinde de uzun süreli saklamaya yönelik çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Su ürünlerinin saklanması sırasında özellikle yağlarda ortaya çıkacak oksitlenme ve mikrobiyal üreme, çeşitli sentetik ya da doğal koruyucular kullanılarak aşılabilmektedir. Ancak özellikle kullanılan sentetik bileşiklerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin olduğunun tespit edilmesi ve tüketicilerde artan bilinç düzeyi ile insanlarda çeşitli endişelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu kapsamda yeşil üretim olarak nitelenen, insan sağlığına zarar vermeyen, çevre dostu üretime yönelik araştırmalar önemli bir yer tutmaktadır. Koruyucu olarak başta baharatlar olmak üzere çeşitli bitkisel özütlerin de ayrı ayrı ya da birlikte kullanımı ya da çeşitli teknolojiler ile desteklenmesi ile etkilerinin arttırılmaya çalışıldığı

çalışmaların yapıldığı ve olumlu sonuçlar alındığı görülmektedir (Mahmoud vd., 2006). Yine de gıdaların kalite kayıpları olmaksızın ve sağlık endişeleri yaratmadan uzun süreli saklanmasına yönelik var olan yöntem ve uygulamaların iyileştirilmesi ve yeni teknolojilerin geliştirilmesine gereksinim olduğu da yadsınamaz bir gerçektir. Gıda işleme endüstrisinin çeşitli aşamalarında elektrolize suların kullanımı yeni bir uygulama alanı oluştururken, son zamanlarda yapılan çalışmalarda özellikle antimikrobiyal ve antioksidan ajan olarak da üzerinde durulmaktadır (Poçan, 2012).

Gıdaların dezenfeksiyonu ve elektrolize sular

Gıda endüstrisi için en önemli öncelik olan gıda güvenliğinin sağlanması doğru uygulanacak bir sanitasyon programını zorunlu kılmaktadır (Colangelo vd., 2015). Gıdaların uzun süreli saklanması için uygulanan yöntemler, mikrobiyal ve enzimatik tepkimelerle gerçekleşen değişimlerin önlenmesini amaçlamaktadır (Poçan vd., 2011). Şüphesiz gıda güvenliğinin temelini hijyen ve sanitasyon oluşturur. Bunun yanında dezenfeksiyon işlemi ve bu amaçla kullanılan dezenfektan maddeler insan sağlığı açısından risk oluşturmamalıdır. Günümüzde dezenfeksiyon için birçok yöntem ya da kimyasal uygulansa da mikroorganizmaların etkisizleştirilmesi için başarılı sonuçlar alınmamaktadır. Bu işlemler ya da kullanılan kimyasallar ya da oluşturdukları bileşikler insan sağlığı ve çevre için tehlikeli olduğundan, birçok Avrupa ülkesinde klor bazlı dezenfektanların kullanımının sınırlandırılması düşünülmekte ve dezenfeksiyon için alternatif metotlar araştırılmaya devam edilmektedir (Akbu, 2019).

Elektrolize suların avantajları

Üretimi sırasında tuz dışında herhangi bir kimyasal kullanılmadığı için çevreye ve insanlara zararının bulunmaması, ucuz ve güvenilir bir dezenfeksiyon yöntemi olması, kullanımının kolay olup duyuşsal kayıplara neden olmaması, etkili dezenfeksiyon sağlaması ve aşındırıcı olmaması gibi avantajlara sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı son yıllarda geleneksel dezenfeksiyon yöntemlerine alternatif olarak ortaya çıkan ve termal olmayan bir uygulama olarak kabul edilen elektrolize su; gıda işlemede kullanılan eldivenler, kesme tahtaları, kümes hayvanlarının karkasları, balık, sığır eti, domuz eti, yumurta ile marul, elma, armut, şeftali, domates, çilek gibi meyve ve sebzeler için etkili bir antimikrobiyal ajan olarak görülmüştür (Huang vd., 2008; Poçan vd., 2011; Rahman vd., 2016; Akbu, 2019).

Elektrolize sular ve sağlık endişeleri

Gıda güvenliğinin temelini hijyen ve sanitasyon oluşturur. Bu nedenle yapılan dezenfeksiyonlar ve kullanılan dezenfektan maddeler, insan sağlığı açısından risk oluşturmamalıdır. Ancak uygulanan bazı dezenfeksiyon yöntemlerinin patojen ve fekal mikroorganizmaların, mikroorganizmaların spor formlarının ve virüslerin inaktivasyonunda yetersiz kalmaları, kloroform ve diğer trihalometanlar, kloraminler ve haloasetik asitler gibi mutajenik ve kanserojenik olarak

bilinen toksik bileşikler oluşturmaları ve çevreye zarar vermeleri gibi bazı olumsuzlukların gündeme gelmesinden dolayı Almanya, Hollanda, İsviçre ve Belçika başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde klor bazlı dezenfektanların kullanımı yerine dezenfeksiyon için farklı alternatif metotlar araştırılmaya devam edilmektedir (Meireles vd., 2016; Akbu, 2019).

Elektrolize suların temizlik, gıda işleme ekipmanlarının yüzeylerinde sanitasyon, meyve, sebze, et ya da deniz ürünlerinde bulunan gıda kaynaklı mikroorganizmaların dekontaminasyonu veya inaktivasyonu gibi farklı şekillerde kullanılması gıda güvenliği konusunda endişeleri akla getirmektedir. Bu kapsamda kullanım güvenliği ile ilgili elektrolize sular için yapılan farklı testler (sitotoksikite testi, ters mutasyon testi (ames testi), kromozomal sapma testi, hemoliz testi, tek doz toksisite testi, tekrarlanan daldırma ile cilt toksisitesi testi, antijenite testi, kümülatif cilt tahrişi testi, birincil göz mukozası tahriş testi, oral mukoza tahriş testi, solunum toksisitesi testi, duyarlılık testi, tavşanlarda birincil deri tahriş testi, kültür edilmiş hücrelerle koloni oluşum inhibisyon testi, maksimizasyon metodu ile marmot cilt hassasiyet testi, akut göz mukozası tahriş testi) sonucunda herhangi bir olumsuzluk gözlenmediği gibi, bazı testlerde (örneğin hemoliz testi) kontrole göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Hati vd., 2012).

Sonuç

Gıdaların güvenliği kapsamında özellikle çevre dostu bir dezenfektan olması ile yaygın olarak kullanılmaya başlanan elektrolize sular ve çeşitli özellikleri ele alındı. Su ürünleri alanında da sınırlı çalışmalara konu edilmiş olan elektrolize sular yeşil mutabakat çerçevesinde güvenli bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda, avcılık ve yetiştiricilik yolu ile üretilen su ürünlerinin, avlandıkları andan itibaren, elektrolize sularını ayrı ayrı ve birlikte kullanımı ile, nakliye, satış, tüketici koşullarında saklama ve dondurularak uzun süreli saklama sürelerinin ve bu süre içerisindeki besinsel kalite değişimlerinin belirlenmesi, uzun süreli ve kalite kaybı minimize edilerek muhafaza için yeni ve güvenli bir seçenek oluşturabilecektir.

Çıkar Çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Etik Onay

Bu çalışma için etik kurul onayına gerek yoktur.

Kaynaklar

Abou-Taleb, M., & Kawai, A.Y. (2008). Shelf life of semifried tuna slices coated with essential oil compounds after treatment with anodic electrolyzed NaCl solution. *Journal of Food Protection*, 71 (4), 770–774. doi:10.4315/0362-028x-71.4.770

Akbu, H. (2019). Nötral Elektrolize Su Uygulamasının Maydanoz Dezenfeksiyonu ve Depolamasında Bazı

- Kalite Kriterleri Üzerine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 48 s.
- Al-Haq, M.I., Sugiyama, J., & Isobe, S. (2005). Applications of electrolyzed water in agriculture and food industries. *Food Science and Technology Research* 11(2),135–50. doi:10.3136/fstr.11.135
- Ampiauw, R.E., Yaqub, M., & Lee, W. (2021). Electrolyzed water as a disinfectant: A systematic review of factors affecting the production and efficiency of hypochlorous acid. *Journal of Water Process Engineering*, 43 (2021), 102228 doi:10.1016/j.jwpe.2021.102228
- Athayde, D.R., Flores, D.R.M., Silva, J.S., Silva, M.S., Genro, A.L.G., Wagner, R., Campagnol, P.C.B., Menezes, C.R., & Cichoski, A.J. (2018). Characteristics and use of electrolyzed water in food industries. *International Food Research Journal*, 25(1): 11 – 16
- Belay, Z. A., Botes, W. J., & Caleb, O.J. (2021). Effects of alkaline electrolyzed water pretreatment on the physicochemical quality attributes of fresh nectarine during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 00, e15879. doi:10.1111/jfpp.15879
- Chytiri, S., Chouliara, I., Savvaidis, I.N., & Kontominas, M.G. (2004). Microbiological, chemical and sensory assessment of iced whole and filleted aquacultured rainbow trout. *Food Microbiology*, (21), 157-165. doi:10.1016/S0740-0020(03)00059-5
- Colangelo, M.A., Caruso, M.C., Favati, F., Scarpa, T., Condelli, N., & Galgano, F. (2015). Electrolysed water in the food industry as supporting of environmental sustainability. In: *The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin*. Ed: Vastola, A. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. Pp 397. DOI:10.1007/978-3-319-16357-4
- Connell, J. J. (1995). *Control of fish quality*. Fourth edition. Fishing News Books. Blackwell Science, Oxford. 245 p.
- Çaklı, Ş. (2007). *Su Ürünleri İşleme Teknolojisi*. Ege Üniversitesi. Yayın No:76, Su Ürünleri Fakültesi. ISBN: 978-975-483-7611-2, Cilt 1, 696s.
- Çelik, U., Çaklı, Ş., & Taşkaya, L. (2002). Bir süpermarkette tüketime sunulan dondurulmuş su ürünlerinin biyokimyasal kompozisyonu, fiziksel ve kimyasal kalite kontrolü. *Su Ürünleri Dergisi (EgeJFAS)*, 9 (1-2), 85-96.
- Dewi, F.R., Stanley, R., Powell, S.M., & Burke, C.M. (2017). Application of electrolysed oxidising water as a sanitiser to extend the shelf-life of seafood products. *Journal Food Science and Technology*, 54(5), 1321-1332. doi:10.1007/s13197-017-2577-9
- Duarte, A.M., Silva, F., Pinto, F.R., Barroso, S., & Gil, M.M. (2020). Quality assessment of chilled and frozen fish. *Foods*, 9, 1739; doi:10.3390/foods9121739
- Feliciano, L., Lee, J., Lopes, J. A., & Pascall, M.A. (2010). Efficacy of sanitized ice in reducing bacterial load on fish fillet and in the water collected from the melted ice. *Journal Of Food Science*, 75 (4), 231-238 doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01583.x
- Gray, J.J., Gomaa, E.A., & Buckley, D.J., (1996). Oxidation quality and shelf-life of meat. *Meat Science*, 43, 111-123.
- Greig, C., & Cronin, L. (2016). Hydrogen from water electrolysis. Chapter 16. In: *Storing Energy with Special Reference to Renewable Energy Sources*. Ed: Letcher, T. M. Elsevier, Netherlands, 565 p.
- Gülyavuz, , H., & Ünlüsayın, M. (1999). *Su Ürünleri İşleme Teknolojisi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fak. Ders Kitabı, Sahin Matbaası, Ankara, 366s.
- Hati, S., Mandal, S., Minz, P.S., Vij, S., Khetra, Y., Sinh, B.P., & Yadav, D. (2012). Electrolyzed oxidized water (EOW): Non-thermal approach for decontamination of food borne microorganisms in food industry. *Food and Nutrition Sciences*, 2012, (3), 760-768 doi:10.4236/fns.2012.36102
- Hricova, D., Stephan, R., & Zweifel, C. (2008). Electrolyzed water and its application in the food industry. *Journal of Food Protection*, 71(9),1934-1947.
- Huang, Y., Hsieh, H., Lin, S., Lin, S., Hung, Y., & Hwang, D. (2006a). Application of electrolyzed oxidizing water on the reduction of bacterial contamination for seafood. *Food Control*, 17 (2006), 987-993.
- Huang, Y., Shiao, C., Hung, Y., & Hwang, D. (2006b). Change of hygienic quality and freshness in tuna treated with electrolyzed water and carbon monoxide gas during refrigerated and frozen storage. *Journal of Food Science*, 71(4), M127-M133.
- Huang, Y.R., Hung, Y.C., Hsu, S.Y. Huang, Y. W., & Hwang, D.F. (2008). Application of electrolyzed water in the food industry. *Food Control*, 19(2008), 329-345. doi:10.1016/j.foodcont.2007.08.012
- Huang, X., Zhu, S., Zhou, X., He, J., Yu, Y., & Ye, Z. (2021). Preservative effects of the combined treatment of slightly acidic electrolyzed water and ice on pomfret. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(1), 230-236. doi: 10.25165/j.ijabe.20211401.5967
- Kasai, H., Kawana, K., Labaiden, M., Namba, K., & Yoshimizu, M. (2011). Elimination of *Escherichia coli* from oysters using electrolyzed seawater. *Aquaculture*, 319 (2011), 315-318. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.07.025
- Kaya, Y. (1998). Balık dondurma teknolojisinde kalite ve dayanma süresini etkileyen faktörler üzerine bir

- araştırma. Doktora Tezi. Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop, 93 s.
- Kim, W., Lim, Y., Shin, I., Park, H., Chung, D., Suzuki, T. (2006). Use of electrolyzed water ice for preserving freshness of pacific saury (*Cololabis saira*). *Journal of Food Protection*, 69 (9), 2199-2204.
- Lin, T., Wang, J.J., Li, J.B., Liao, C., Pan, Y.J., & Zhao, Y. (2013). Use of acidic electrolyzed water ice for preserving the quality of shrimp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, (61), 8695-8702. doi:10.1021/jf4019933
- Luan, L., Wu, C., Wang, L., Li, Y., Ishimura, G., Yuan, C., Ding, T., & Hu, Y. (2017). Protein denaturation and oxidation in chilled hairtail (*Trichiurus haumela*) as affected by electrolyzed oxidizing water and chitosan treatment, *International Journal of Food Properties*, 20 (3), S2696-S2707. doi:10.1080/10942912.2017.1397693
- Mahmoud, B.S.M., Yamazaki, K., Miyashita, K., Kawai, Y., Shin, I-S., & Suzuki, T. (2006). Preservative effect of combined treatment with electrolyzed NaCl solutions and essential oil compounds on carp fillets during convectional air-drying. *International Journal of Food Microbiology*, 106, 331-337 doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2005.09.010
- Mahmoud, B. S. M. 2007. Electrolyzed water: A new technology for food decontamination. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 103 (5), 212-221.
- Mahmoud, B. S. M., Kawai, Y., Yamazaki, K., Miyashita, K., & Suzuki, T. (2007). Effect of treatment with electrolyzed NaCl solutions and essential oil compounds on the proximate composition, amino acid and fatty acid composition of carp fillets. *Food Chemistry*, 101 (2007), 1492-1498. doi:10.1016/j.foodchem.2006.03.057
- Meireles, A., Giaouris, E., & Simões, M., (2016). Alternative disinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry. *Food Research International*, 82, 71- 85. doi:10.1016/j.foodres.2016.01.021
- Novak, J. S., Sapers, G. M., & Juneja, V. K. (2003). *Microbial safety of minimally processed foods*. CRC Press LLC, 343p, Boca Raton, USA.
- Newsad, A.A.K.M., Khan, N.D., Hasan, M.M., Rahman, S.M.E., Araki, T., & Yoshimatsu, T. (2020). Efficacy of electrolyzed water against bacteria on fresh fish for increasing the shelf-life during transportation and distribution. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, (15), 351-362. doi:10.1007/s00003-020-01288-9
- Özer, N. P., & Demirci, A. (2005). Electrolyzed oxidizing water treatment for decontamination of raw salmon inoculated with *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* Scott A and response surface modeling. *Journal of Food Engineering*, 72 (2006), 234-241.
- Park, H., Hung, Y., & Kim, C. 2002. Effectiveness of electrolyzed water as a sanitizer for treating different surfaces. *Journal of Food Protection*, 65 (8), 1276-1280. doi:10.4315/0362-028x-65.8.1276.
- Parry, A., P. Bleazard., & K. Okawa. (2015). *Preventing Food Waste: Case Studies of Japan and the United Kingdom*. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 76, OECD Publishing, Paris. DOI:10.1787/5js4w29cf0f7-en
- Pazır, F., Kışla, D., Taşkaya, L., Kuşçu, A., Dinçer, M.T., & Baydar, T. (2008). *Sebze ve balık işlemede elektrolize yükseltgen suyun kullanımı*. Proje Sonuç Raporu. PROJE NO: TOVAG-106 O 110
- Pilizota, V. (2012). Consumer needs for affordable food of good quality: serving consumer demands. *Rad Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti Tehničke znanosti knj*, 513(15), 77-92.
- Phuvasate, S., & Su, Y. (2010). Effects of electrolyzed oxidizing water and ice treatments on reducing histamine-producing bacteria on fish skin and food contact surface. *Food Control*, 21 (2010), 286-291. doi:10.1016/j.foodcont.2009.06.007
- Poçan, H.B., Karakaya, M., & Ulusoy, K. (2011). Elektrolize Suyun Gıda Endüstrisinde Kullanımı. *Gıda*, 36(3), 169-176.
- Poçan, H. B. (2012). Elektrolize suyun sığır ve tavuk etlerinin bazı emülsiyon karakteristikleri üzerine etkisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Konya, 80 s.
- Rahman, S.M.E., Khan, I., & Oh, D. (2016). Electrolyzed Water as a Novel Sanitizer in the Food Industry: Current Trends and Future Perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 471-490. doi: 10.1111/1541-4337.12200
- Rasco, B., & Ovissipour, M. (2015). Electrolyzed water applications in aquaculture and the seafood industry. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 2015(6), 293. doi:10.4172/2155-9546.100
- Sallam, I.K. (2007). Chemical, sensory and shelf life evaluation of sliced salmon treated with salts of organic acids. *Food Chemistry*, 101(2), 592-600. doi:10.1016/j.foodchem.2006.02.019
- Shirahata S, Hamasaki T., & Teruya K. (2012). Advanced research on the health benefit of reduced water. *Trends in Food Science and Technology*, 23(2), 124-31. doi:10.1016/j.tifs.2011.10.009
- Shiroodi, S.G., Ovissipour, M., Ross, C.F., & Rasco, B.A. (2016). Efficacy of electrolyzed oxidizing water as a pretreatment method for reducing *Listeria monocytogenes* contamination in cold-smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Control*, 60(2016), 401-407 doi:10.1016/j.foodcont.2015.08.020

- Varlık, C., Erkan, N., Özden, Ö., Mol, S., & Baygar, T. (2004). *Su ürünleri İşleme Teknolojisi*. İstanbul Üniversitesi Yayın No: 4465, İstanbul, 491 s.
- Wang, J.J., Lin, T., Li, J.B., Liao, C., Pan, Y.J., & Zhao, Y. (2014). Effect of acidic electrolyzed water ice on quality of shrimp in dark condition. *Food Control*, 35(2014), 207-212. doi:10.1016/j.foodcont.2013.07.005
- Xu, G., Tang, X., Tang, S., You, H., Shi, H., & Gu, R. (2014). Combined effect of electrolyzed oxidizing water and chitosan on the microbiological, physicochemical, and sensory attributes of American shad (*Alosa sapidissima*) during refrigerated storage. *Food Control*, 46 (2014), 397-402 doi:10.1016/j.foodcont.2014.06.010
- Zhang, B., Ma, K., Deng, S., Xie, C., & Qui, X. (2015). Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging. *Food Control*, 51 (2015), 114-121 doi:10.1016/j.foodcont.2014.11.016
- Zhao, L., Li, S., & Yang, H. (2021). Recent advances on research of electrolyzed water and its applications. *Current Opinion in Food Science*, 2021(42), 180–188. doi:10.1016/j.cofs.2021.03.004