

Vurgulu elektrik alanın sardalya (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) balıklarında tuz transferi üzerine etkisi

Effect of the pulsed electric field method on salt transfer in European sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792)

Emine Aşık Canbaz^{1*} • Bilgenur Üçgül² • Atıf Can Seydim³

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Şarkikaraağaç Meslek Yüksekokulu, 32200, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, 32200, Isparta, Türkiye

 <https://orcid.org/0000-0003-1326-9159>

 <https://orcid.org/0000-0002-6834-5086>

 <https://orcid.org/0000-0003-3808-509X>

*Corresponding author: emineasik@isparta.edu.tr

Received date: 27.04.2022

Accepted date: 30.09.2022

How to cite this paper:

Canbaz, E.A., Üçgül, B., & Seydim, A.C. (2023). Vurgulu elektrik alanın sardalya (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) balıklarında tuz transferi üzerine etkisi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40(2), 145-151. <https://doi.org/10.12714/egejfas.40.2.09>

Öz: Besleyici değeri ve lezzetiyle tüketiciler tarafından yoğunlukla talep edilen Sardalya (*Sardina pilchardus*) balığının daha uzun raf ömrü ile pazarlanma seçeneklerinden biri salamuraya işlenmesidir. Salamura prosesinde tuz difüzyon hızının düşük olması balıkların depolama kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Son yıllarda vurgulu elektrik alan yöntemi (PEF) kütle transferini hızlandıran yenilikçi bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, sardalyaların salamura işlemi öncesi ve salamura işlemi süresince PEF (6,36 kV/cm) uygulanmış ve son ürünlerdeki tuz konsantrasyonu incelenmiştir. PEF uygulanmış örnekler arasında tuz konsantrasyonunun (%16,32) daha düşük olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$). Ancak PEF uygulanmış örnekler arasında tuz konsantrasyonu (%18,17 ve %18,22) açısından önemli bir fark tespit edilmemiştir. Tüm örneklerde tuz absorpsiyonuna bağlı olarak kül oranı artmış ve su aktivitesi değeri azalmıştır. pH değerleri kıyaslandığında, örnekler ve depolama zamanları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark gözlemlenmemiştir. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri incelendiğinde ise PEF uygulama süresi arttıkça gözeneklerin sayısının ve çapının arttığı belirlenmiştir. Bu nedenle, PEF uygulamasının sardalya balıklarında tuz difüzyonunu artırmak için bir ön işlem olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sardalya, vurgulu elektrik alan, salamura, tuz difüzyonu

Abstract: One of the marketing options for European sardine (*Sardina pilchardus*), which consumers demand nutritional value and taste, is processing in brine that provides a longer shelf life. However, the slow rate of salt diffusion is the biggest obstacle to be overcome. In this context, the pulsed electric field method (PEF) is considered an innovative method that accelerates mass transfer. This study applied PEF to sardine before and while they were kept in brine. The salt concentration of the final product was found to be higher than the control group, which was not applied PEF ($p < 0.05$). However, the difference between the PEF applied samples was insignificant while ash content increased, and water activity value decreased in all samples due to salt absorption. When pH values were compared, no significant difference was observed between samples and storage periods. According to the scanning electron microscope (SEM) images, the number and diameter of the pores increased due to the rise in application time. Therefore, it was concluded that PEF application could be considered a pretreatment to increase salt diffusion in European sardine.

Keywords: European sardine, pulsed electric field, brine, salt diffusion

GİRİŞ

Ülkemizde en çok avlanan deniz balıkları arasında yer alan sardalya, değerli besin kompozisyonu ve lezzet kazandıran duyuşal bileşenlerinin yanı sıra düşük fiyatı ile de tüketiciler tarafından tercih edilen su ürünleri arasında yer almaktadır (Wawire vd., 2019; Anonim, 2020; Çöteli, 2021). Ancak, taze sardalyalar bakteriyel gelişim, enzim aktivitesi ve yağ oksidasyonu gibi değişimler sonucunda kolayca bozulabilmektedir. Hem sardalyaların raf ömrünü uzatmak hem de tüketime hazır işlenmiş su ürünlerine karşı artan talebi karşılayabilmek için tuzlama, kurutma, marinasyon, konserve gibi uygulamalar duyuşal, fiziksel ve kimyasal dönüşümlere uğrattılmaktadır. Uygulaması kolay ve ucuz bir yöntem olan tuzlama işlemi, balığı otolitik dekompozisyonundan korumakta ve yağ oksidasyonunu en aza indirgemektedir (Ormancı vd., 2018; Wawire vd., 2019). Salamurada muhafaza ile tuzun dokulara nüfuz etmesi sağlanarak gerçekleştirilen dehidrasyon

sonucu hem raf ömrü geliştirilmekte hem de ham maddeye yeni yapısal özellikler kazandırılmaktadır. Tuzun difüzyonu ürüne göre farklı sürelerde görevini tamamlamakta, bu sürenin hızlandırılması sadece salamura ile hazırlanan ürünlerde değil, farklı formülasyona sahip marinatlarda veya kürlenmiş ürünlerde de önem kazanmaktadır. Bu amaçla son yıllarda ultrases, yüksek basınç ve vurgulu elektrik alan (pulsed electric field; PEF) gibi yöntemlerin uygunluğu araştırılmaktadır (McDonnel vd., 2014; Inguglia vd., 2020).

PEF, hem gıdaların muhafazası hem de yapısal değişikliklerin gerçekleştirilmesi için yaygın olarak araştırılan ısı olmayan, yenilikçi bir yöntemdir. PEF yöntemi ile iki elektrot arasında bulunan ortama çok küçük zaman (μ s veya ms) dilimlerinde yüksek voltajlı elektrik akımı uygulanmakta, böylece hücre yapısında geçici veya kalıcı düzenlemeler

gerçekleştirilmektedir. Bu düzenlemeler hücre zarında gözenek oluşumu ile sonuçlandığında elektroporasyon olarak adlandırılmaktadır. Yüksek yoğunluklu elektrik darbeleri (>~18 kV/cm) uygulandığında hücre zarında kalıcı elektroporasyon oluşurken, göreceli olarak düşük elektrik alan gücüne sahip darbeler (~5-15 kV/cm) ile hücre zarında geri dönüşümlü olarak geçirgenlik artmaktadır (Aşık Canbaz vd., 2020). Aynı zamanda enerji tasarrufu sağlama ve çevreci olma gibi avantajları bulunan PEF yöntemi, tek başına veya diğer yöntemlerle birlikte et ve et ürünlerinin kalitesini ve proses etkinliğini geliştirmek üzere kullanılmaktadır (Gómez vd., 2019). Toepfl vd. (2006), domuz etine uyguladıkları 2 kV/cm yoğunluktaki vurgulu elektrik alanın, salamuranın dokuda homojen yayılmasını sağladığı, su tutma kapasitesini artırdığı, pişme esnasında ağırlık kaybını azalttığı ve son ürüne daha yumuşak bir yapı kazandırdığı sonucuna varmışlardır. PEF ile et ve et ürünlerinin tekstürel özelliklerinin iyileştirilmesi membran geçirgenliğinin artması ile gerekli iyon ve enzimlerin salınması mümkün olmaktadır (Bekhit vd., 2014). PEF aynı zamanda, balık atıklarında ekstraksiyon verimini artırmak için bir ön-işlem olarak uygulanabilmektedir. Zhou vd. (2012) ve He vd. (2014), PEF kullanarak balık kılıçından sırasıyla kalsiyum ve kondroitin sülfat ekstrakte ettikleri çalışmalarında, daha kısa sürede daha verimli sonuçlar aldıklarını vurgulamışlardır. PEF ile hücre geçirgenliğinin artması sonucu, marinasyon, kurutma veya kürlenme işlemlerinde kullanılan baharat, tuz, antimikrobiyal ajanlar gibi maddelerin, taze etlere nüfuz etmesi sağlanmaktadır. Toepfl vd. (2006), PEF uygulandıktan sonra salamura çözeltisine daldırdıkları domuz etinde, tuz ve nitrat geçişinin arttığını bildirmiştir. McDonnell vd. (2014) ise, PEF uygulamasını domuz etinin tuzlanmasını hızlandıran bir ön işlem olarak değerlendirmiştir. Astráin-Redín vd. (2019), sosislerde bir ön işlem olarak PEF uygulamanın su transferini hızlandırdığını ve kurutma süresini yaklaşık bir hafta kısalttığını vurgulamışlardır.

PEF yönteminin su ürünlerinde kütle transferi üzerine etkisini içeren araştırmalar oldukça kısıtlıdır. Söz konusu bu çalışmada da PEF yönteminin bir ön işlem olarak veya tuzlama işlemine eşlik ederek uygulanmasının, salamura sardalyalarda tuz difüzyonu üzerine etkisi, farklı kalite parametreleri ile desteklenerek araştırılmıştır.

MATERYAL ve METOT

Materyal

Araştırmada kullanılan sardalya balıkları avlanmanın hemen ardından satış yerine ulaştığı gün soğuk zincir korunarak laboratuvara getirilmiştir. Çalışmada kullanılan balıkların ortalama boyları $11,16 \pm 0,42$ cm ve ortalama ağırlıkları $11,76 \pm 0,90$ g olarak tespit edilmiştir. Her bir uygulama için toplam 200 g ağırlığında 17 adet sardalya kullanılmıştır. Ayıklama işlemi satış yerinde gerçekleştirilen sardalyalar, aseptik koşullar altında hazırlanmıştır. Akan su altında yıkanan sardalyaların fazla suyu süzme işlemi ile uzaklaştırılmıştır. 11 cm çapı ve 12 cm yüksekliğinde polipropilen (PP) kaplara yerleştirilen sardalyalar beş gruba ayrılmıştır. Birinci grup (KS), %18'lik salamura (1:2) (w/v) içinde 24 saat boyunca +4°C'ta muhafaza edilmiştir. İkinci grup (KP), +4°C'ta 60 dakika PEF uygulandıktan sonra %18'lik salamura

(1:2) (w/v) içinde 24 saat boyunca yine +4°C'ta muhafaza edilmiştir. Üçüncü grup (KPS) ise %18'lik salamura (1:2) (w/v) içinde 24 saat boyunca buzdolabı koşullarında muhafaza edilirken PEF uygulanmıştır. KP ve KPS gruplarında farklı uygulama sürelerinin kullanılması, KP grubunda PEF etkinliğinin bir ön işlem olarak değerlendirilmek istenmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, SEM analizinde ele alınan sardalyalarda taze balık örnekleri kontrol (K), sadece PEF uygulanan örnekler ise (P) grubu olarak değerlendirilmiştir.

Vurgulu elektrik alan düzeneği ve uygulaması

Buzdolabına entegre edilmiş bir güç kaynağı (Türkoğlu Neon Trafoları, İstanbul, Türkiye) ve uygulama bölgesinden meydana gelen PEF sistemi Süleyman Demirel Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında prototip olarak üretilmiştir (Şekil 1). Darbe jeneratörü cihazın metal gövdesi ile canlı uç çıkışı arasında 70 kV potansiyel farkı vermiş ve bu yüksek gerilim kablolar ile emniyetli biçimde buzdolabı içindeki paralel plakalara aktarılmıştır. Darbe jeneratöründen 0,2 ms genişliğe ve 11,6 ms sıklığa sahip darbeler elde edilmiştir. Güç kaynağına eklenmiş olan doğrultma devresi ile plakalara iletilen darbelerin tek kutuplu (DC) ve üstel azalan şekilde olması sağlanmıştır. Uygulama bölgesinde bulunan $21,5 \times 29 \times 0,2$ cm boyutlarındaki paralel plakalar (Cr-Ni) kullanılarak elektrik alan oluşturulmuştur.

Örneklerin maruz kaldığı elektrik alan değeri (kV/m) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$E = V/d$$

E: elektrik alan değeri (kV/cm)

V: voltaj (kV)

d: mesafe (cm)

PEF sistemi ile paralel plakalar arasındaki mesafe değiştirilerek 2,5-7 kV/cm aralığında elektrik alan değerleri elde edilebilmektedir. Bu çalışmada plakalar arasındaki mesafe 11 cm'ye ayarlanarak 6,36 kV/cm elektrik alan değeri uygulanmıştır. CST Microwave Studio (Computer Simulation Technology GmbH, Almanya) programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olan denemelerle PP kabın elektrik alan vektörlerini engellemediği görülmüştür. Dolayısıyla, diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada elektrotların gıda veya ambalaj ile temas etmediği indirekt bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Tuz tayini

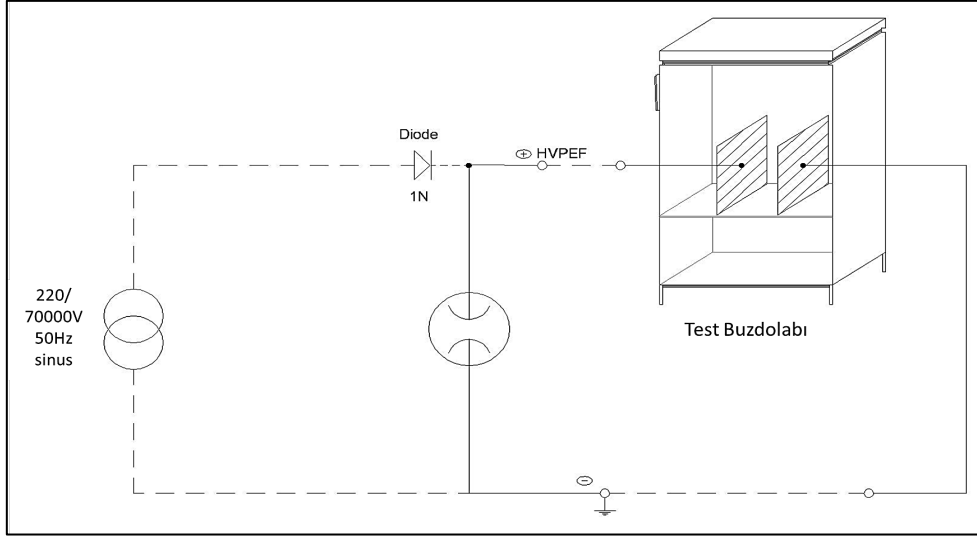
Sardalya balıklarının tuz içerikleri Mohr yöntemi uygulanarak çalışmanın başında ve depolamanın 12. ve 24. saatlerinde tespit edilmiştir. 5 gram homojen örnek K-kromat (%5) ve 0,1 N NaOH eşliğinde normalitesi belli AgNO_3 çözeltisi ile titre edilmiştir (Dericioğlu vd., 2019). Örneklerin tuz miktarı aşağıda gösterilmiş olan formül ile hesaplanmıştır:

$$\text{Tuz miktarı (\%)} = V \cdot f \cdot 0,00585 \cdot S_f \cdot \frac{100}{m}$$

V: titrasyonda harcanan 0,1 N AgNO_3 (ml)

f: 0,1 N AgNO_3 çözelti faktörü

S_f: Seyreltme faktörü



Şekil 1. Buzdolabına entegre edilmiş PEF sisteminin şematik gösterimi

Figure 1. Schematic representation of PEF system integrated into refrigerator

Kül tayini

Sardalya örneklerinin kül miktarının belirlenmesi için sabit ağırlığa getirilen porselen kül kapsüllerine yaklaşık 3-4 g örnek tartılmıştır. Örnekler kül fırınına yerleştirildikten sonra sıcaklık kademeli olarak artırılarak 600 °C'a getirilmiş ve kül kapsülündeki örnek rengi gri-beyaz olana kadar yakma işlemine devam edilmiştir. Kül kapsüllerinin tartım farkından örnekteki % kül miktarı belirlenmiştir (Anonim, 1990).

Su aktivitesi tayini

Sardalya balıklarının su aktivitesi değeri su aktivitesi cihazı (LabSwift, Novasina, İsviçre) kullanılarak tespit edilmiştir. Homojenize edilmiş (Waring Commercial, A.B.D.) örnekler cihazın ölçüm haznesine yerleştirildikten sonra, cihazın uyarı sesi ile gözlenen değer kaydedilmiştir.

pH tayini

10 g sardalya örneği 90 ml destile su ile homojenize edildikten (Waring Commercial, A.B.D.) sonra pH-metre (Schott Lab 860, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir (Anonim, 1990).

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntüleme

Sardalya balıklarının salamurada beklemesi sonucu ve PEF uygulaması ile yapısında meydana gelen değişim taramalı elektron mikroskobu (SEM) (FEI QUANTA FEG 250, A.B.D.) kullanılarak izlenmiştir. Örnek hazırlama aşamasında Castejón (2012) tarafından önerilen kriyojenik kırma metodu uygulanmıştır.

Depolamanın başında taze balıktan (K), sadece PEF uygulanan sardalya balıklarından (P), depolamanın sonunda KS, KP ve KPS gruplarından alınan örnekler sıvı nitrojene daldırıldıktan sonra dikey kesit olacak şekilde kırılmıştır. Ardından, çift taraflı yapışkan bant kullanılarak SEM numune haznesine yerleştirilerek incelenmiştir.

İstatistik analiz

İki tekerrürlü ve 2 paraleli olarak gerçekleştirilen deneylerin sonucunda uygulamalar arasındaki fark varyans analizi (ANOVA) ve Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak %95 güven aralığında belirlenmiştir. İstatistiksel analiz, Statistical Package for Social Science software (SPSS Inc. version 24.0, A.B.D.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR

Salamurada bekletilmiş sardalya balıklarının tuz ve kül içeriği (%) ile a_w ve pH değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Örneklerin başlangıç tuz konsantrasyonu %2,75 olarak tespit edilmiş olup depolamanın sonunda bu değer KS, KP ve KPS örnekleri için sırasıyla %16,32, %18,17 ve %18,22 seviyesine ulaşmıştır. Depolama boyunca her üç örnek grubunda da tuz konsantrasyonu artmış olmakla birlikte 12. saatte tuz içeriği açısından örnekler arasında istatistiksel bir fark gözlenmezken, 24. saatin sonunda PEF uygulanmış örnekler, uygulanmamış örneklerle göre önemli seviyede ($p<0,05$) yüksek tuz içeriğine ulaşmıştır. PEF tekniğinin salamuraya daldırmadan önce veya salamurada bekletilirken uygulanması tuz difüzyonu açısından aynı etkiyi göstermiştir.

Sardalya balıklarının tuz oranındaki artışa paralel olarak kül oranının arttığı ve su aktivitesi değerinin ise azaldığı gözlenmiştir. Başlangıçta tespit edilen %2,14 oranındaki kül miktarı aynı örnek grubunun 12. ve 24. saatlerinde önemli seviyede artış gösterirken ($p<0,05$), örnekler arasındaki fark anlamsız bulunmuştur. Başlangıçta kaydedilen su aktivitesi değerinin (0,92) ise depolamanın sonunda KS grubunda 0,87, PEF uygulanmış olan örnek gruplarında ise 0,88'e düştüğü gözlenmiştir. Ancak örnek grupları arasındaki fark 12. ve 24. saatlerde önemsiz bulunmuştur. Taze sardalya balıklarının pH değeri 6,68 olarak tespit edilmiş olup depolama sonunda KS ve KP örnekleri için 6,54, KPS örnekleri için ise 6,58 olarak belirlenmiştir. Gözlenen bu düşüş değerlendirildiğinde ise hem grup içi hem de gruplar arasındaki değişimin önemsiz olduğu kaydedilmiştir.

Tablo 1. +4°C'ta 24 saat boyunca depolanan sardalya örneklerinin tuz (%), kül (%), a_w ve pH değerleri**Table 1.** Salt (%), ash (%), a_w , and pH values of sardine samples stored at +4°C for 24 hours

	0 (h)	12 (h)	24 (h)
Tuz (%)			
KS	2,75±0,61 ^{Ac}	14,52±0,44 ^{Ab}	16,32±0,76 ^{Ba}
KP	2,75±0,61 ^{Ac}	15,22±0,68 ^{Ab}	18,17±0,24 ^{Aa}
KPS	2,75±0,61 ^{Ac}	14,28±0,98 ^{Ab}	18,22±0,17 ^{Aa}
Kül (%)			
KS	2,14±0,19 ^{Ab}	6,60±0,76 ^{Aa}	7,07±0,96 ^{Ba}
KP	2,14±0,19 ^{Ac}	6,06±0,92 ^{Ab}	7,72±0,97 ^{Aa}
KPS	2,14±0,19 ^{Ac}	6,47±0,71 ^{Ab}	8,48±1,01 ^{Aa}
a_w			
KS	0,92±0,003 ^{Aa}	0,88±0,001 ^{Ab}	0,87±0,006 ^{Ac}
KP	0,92±0,003 ^{Aa}	0,89±0,007 ^{Ab}	0,88±0,004 ^{Ac}
KPS	0,92±0,003 ^{Aa}	0,88±0,006 ^{Abc}	0,88±0,003 ^{Ac}
pH			
KS	6,68±0,07 ^{Aa}	6,60±0,09 ^{Aa}	6,54±0,07 ^{Aa}
KP	6,68±0,07 ^{Aa}	6,60±0,18 ^{Aa}	6,54±0,08 ^{Aa}
KPS	6,68±0,07 ^{Aa}	6,51±0,12 ^{Aa}	6,58±0,06 ^{Aa}

KS PEF uygulanmadan, *KP* 60 dakika PEF uygulandıktan sonra ve *KPS* PEF uygulanarak depolanan örnekleri göstermektedir.

^{A-B}: Aynı sütunda farklı harfleri taşıyan örnek ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0,05$).

^{a-c}: Aynı satırda farklı harfleri taşıyan örnek ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0,05$).

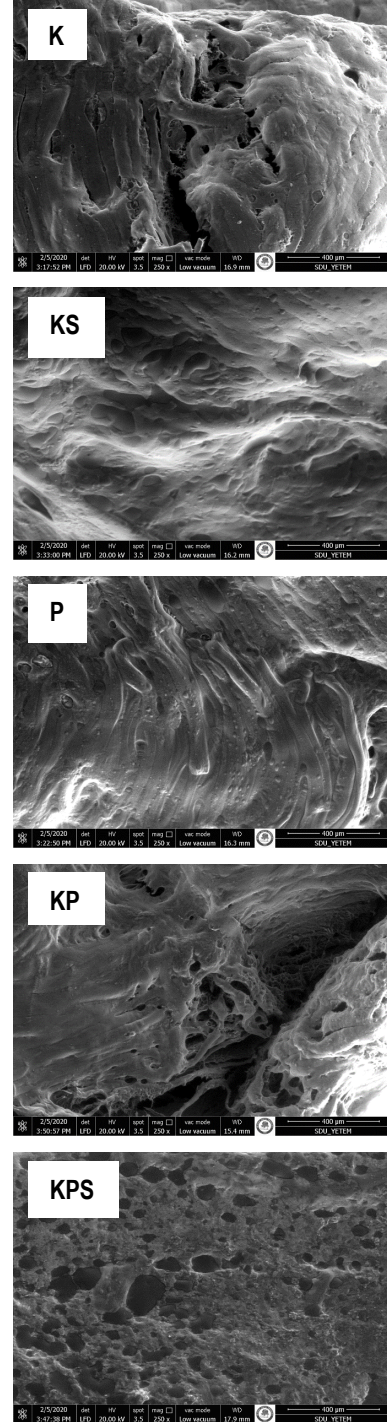
KS: samples stored without PEF application, *KP*: samples stored after 60 minutes PEF application; *KPS*: samples stored under PEF.

^{A-B}: Upper case letters over the indicate a statistically significant difference between sample groups ($p < 0,05$).

^{a-c}: Lower case letters over the bars indicate a statistically significant difference between storage days ($p < 0,05$).

PEF uygulamasının canlı hücre yapılarında sebep olduğu değişiklikler proses etkinliği açısından avantajlı olarak kabul edilmekte ve dokularda meydana gelen dönüşümlerin izlenebilmesi için görüntüleme tekniklerine başvurulmaktadır. Bu çalışmada SEM kullanılarak elde edilen görüntüler Şekil 2'de gösterilmektedir.

Elektroporasyon ile oluşan gözeneklere K ve KS grubunda rastlanmazken, KPS grubunda KP grubuna göre gözeneklerin çapı büyümekte ve sayısı artmaktadır. Depolama boyunca PEF uygulanmış KPS grubu örneklerinde gözlenen fiziki deformasyon diğer örneklere göre daha belirgin görülse de bu değişiklik tuz difüzyonunda önemli bir fark ile sonuçlanmamıştır.



Şekil 2. Sardalya balıklarına ait SEM görüntüleri. K: taze sardalya; KS: salamurada muhafaza edilmiş sardalya; P: PEF uygulanmış taze sardalya; KP: PEF uygulandıktan sonra salamurada muhafaza edilmiş sardalya; KPS: salamurada muhafaza edilirken PEF uygulanmış sardalya

Figure 2. SEM images of sardine samples. K: fresh sardine; KS: brined sardine; P: PEF applied fresh sardine; KP: sardine brined after PEF application of 60 minutes; KPS: sardine brined under PEF

TARTIŞMA

Su ürünlerinin salamurada işlenmesi aşamasında tuzun koruyucu ve dönüştürücü etkisinden faydalanılmaktadır. Dokulara nüfuz eden tuz konsantrasyonu nihai ürün kalitesini, difüzyon hızı da proses verimini etkilemektedir. Bu çalışmada PEF uygulamasının salamurada bekletilen sardalya balıklarının sahip olduğu tuz içeriği üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu durum PEF uygulamasının, balık kasının mikroyapısında meydana getirdiği mekanik zararlar dolayısıyla kas hücre zarının bütünlüğünün bozulması ile açıklanabilmektedir. Ayrıca hücreler arası boşlukların artması ve yeni kanalların oluşması da kütle transferini kolaylaştırmaktadır (Cropotova vd., 2021). Benzer şekilde, Toepfl vd. (2007) ve McDonnell vd. (2014) PEF yöntemini domuz etinin tuzlanması hızlandıran bir ön işlem olarak değerlendirmiştir. McDonnell vd. (2014), farklı enerji (22,6-281, 1 kJ/kg), elektrik alan (120 veya 230 kV/cm), frekans (100 veya 200 Hz) ve darbe sayısı (150 veya 300) değerlerini kıyasladıkları çalışmalarında, elektrik alan uygulanması ile beraber tuz difüzyonunda %13'ten fazla artış sağlandığını bildirmişlerdir. Atlantik somon balığı için PEF (2 kV/cm) yönteminin değerlendirildiği başka bir çalışmada ise, proses süresinin %80'e kadar kısaldığı ve son üründe tuz konsantrasyonunda artışın olduğu aktarılmış, PEF uygulamasının kalite parametrelerini etkilemediği belirtilmiştir (Simpson vd., 2018). Núñez vd. (2020) de salamuraya işledikleri (6% ve 24%) somon filetolarına 6 °C'ta 20 saat boyunca elektrik alan (0-2 V/cm) uygulamışlar, elektroporasyona bağlı olarak artan hücre geçirgenliği ile tuzun somon dokularına kütle transferinin hızlandığını, dolayısıyla somon filetolarının tuz oranının arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca bu artışın elektrik alan değeri, süre ve tuz konsantrasyonu arttıkça daha belirgin olduğunu aktarmışlardır. Benzer şekilde, Cropotova vd. (2021), levrek balıklarına salamuraya işlemeye önce PEF (0,3 kV/cm ve 0,6 kV/cm) uygulanmasının tuz absorpsiyonunu %77'ye kadar hızlandırdığını ve kasta tuzun homojen dağılmasını sağladığını belirtmişlerdir. %5 ve %10 konsantrasyona sahip salamura ile 0,3 kV/cm ve 0,6 kV/cm elektrik alan parametrelerinin kombinasyonlarının kullanıldığı bu çalışmada birinci günde, %10'luk salamurada bekletilen balıkların tuz konsantrasyonunun %5'lik salamurada bekletilenlere nazaran daha yüksek olduğu belirlenirken aynı tuz konsantrasyonuna sahip salamuralar içinde PEF uygulanmış olanların oranı da daha yüksek bulunmuştur.

Bazı çalışmalarda daha düşük elektrik alan yoğunluğu kullanılmasına rağmen son üründe artan tuz konsantrasyonunun aktarılması kullanılan hammadde ile ilişkilendirilmektedir. PEF etkinliği üzerine elektriksel parametrelerin yanı sıra kullanılan ham maddenin özelliklerinin de etkili olduğu bilinmektedir (Dunn, 2001). Balıklar arasında gözlenen yapısal farklılıklar çalışmaların sonuçları arasındaki farklılıkları doğurmakta, bu da PEF uygulaması açısından her balığın ayrı değerlendirilmesi gereğini ortaya çıkarmaktadır.

Su aktivitesi değerlerine bakıldığında, PEF uygulanmış

örnekler ile kontrol örnekleri arasında depolama boyunca önemli bir fark gözlenmemiştir. Benzer şekilde Semenoglu vd. (2020), ozmotik dehidrasyon (%40–60'lık gliserol ve %5'lik NaCl çözeltisi) ile deniz levreklerinden gerçekleşen kütle transferi üzerine PEF (1,6 kV/cm, 1500'e varan darbe sayısı, 19,7 kJ/kg) yönteminin etkisini inceledikleri çalışmalarında, su difüzyonunun %50'ye ve çözünen madde difüzyonunun da %66'ya kadar artmasına rağmen, su aktivitesinde dikkate değer bir azalma olmadığını aktarmışlardır. Bu durum, gıdaların sorbsiyon izotermi ile açıklanabilmektedir. Gıdaların yüksek su aktivitesi değerlerinde nem oranında önemli bir azalma gözlenirse de su aktivitesi değerindeki düşüş önemsiz kalabilmektedir (Rahman, 1995). Ayrıca, Cropotova vd. (2021) de PEF yoğunluğunun veya salamurada bekletme süresinin taze levrek filetolarının su aktivitesi değerini etkilemediği sonucuna varmışlardır.

PEF uygulamasının sardalya balıklarının pH değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde depolama sonunda KS ve KP gruplarının pH değerlerinin 6,54'e, KPS grubuna ait pH değerinin ise 6,58'e düştüğü tespit edilmiş olmakla beraber pH değerinde gözlenen düşüş üzerinde PEF uygulamasının etkili olmadığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde Anggo ve Suharto (2020) da PEF uyguladıkları sazan balıklarının pH değerlerini 6,46-6,62 aralığında olduğunu ve uygulamalar arasında önemli bir farka rastlanmadığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan, Wawire vd. (2019), sardalya balıklarının pH değerindeki değişimin tuzlama işlemi sonucunda aminoasitlerin ve peptitlerin daha küçük bileşenlere ayrılması ile ilişkilendirmektedir.

PEF yönteminin elektroporasyona dayanan etki mekanizması kas hücrelerinde gözenekler oluşması ile sonuçlanmaktadır. Bu çalışmada da örneklerin kas hücrelerindeki değişimler mikroskopik bir görüntüleme metodu olan SEM ile incelenmiştir. KP örneğinin SEM görüntüleri incelendiğinde kontrole göre belirgin gözeneklerin olduğu, KPS grubu örneklerinde ise bu gözeneklerin hem sayısının hem genişliğinin arttığı tespit edilmiştir. Ancak, bu değişiklik tuz difüzyonu açısından PEF uygulanmış örnekler arasında önemli bir fark ile sonuçlanmamıştır. Bu durumda, gözeneklerdeki değişimin depolamanın sonuna doğru gerçekleştiği tahmin edilmektedir. Gudmundsson ve Hafsteinnsson (2001), morina balıklarına 18,6 kV/cm yoğunluğa kadar PEF uyguladıklarında proteinlerin birincil yapısının etkilenmediğini, ancak somon balıklarında hücreler arası boşluğun artarak balık dokusunun yapısal bütünlüğünü kaybettiğini vurgulamışlardır. Klonowski vd. (2006) de morina balıklarında su tutma kapasitesini artırmak üzere PEF (20-120 darbe sayısı, 1,2 kV/cm veya 2 kV/cm elektrik alan yoğunluğu, 400 µs darbe genişliği) uygulamışlar, morina balıklarında 2 kV/cm'den yüksek elektrik alan yoğunluklarında hücrelerde ve hücreler arası boşluklarda gözeneklerin oluştuğunu, bu nedenle özellikle su ürünlerinin kurutulmasında PEF yönteminin kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Anggo ve Suharto (2020) ise sazan balığına PEF (30 kV, 60 kV, 90 kV; frekans 50 Hz; darbe genişliği 0,4 s; darbe sayısı 600) uyguladıkları çalışmalarında voltaj 60 kV olduğunda sazan balığı etinin hücre duvarındaki boşluk ve

gözenek sayısı ile beraber, dokudaki hasarın da az olduğu sonucuna varılmış, voltaj 90 kV değerine yükseltildiğinde ise balık etinin hemen her yerine yayılmış çeşitli boyutlarda birçok sayıda gözenek olduğu tespit edilmiştir.

SONUÇ

Sardalya balıklarında tuz difüzyonu üzerine PEF yönteminin etkisi incelenmiş ve salamuraya işleme esnasında kütle transferini hızlandırmak üzere kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda, depolamanın sonunda örnekler arasında tuz konsantrasyonu açısından önemli bir farkın olmaması, PEF yönteminin dokulardaki deformasyonu en aza indirecek bir ön işlem olarak uygulanabileceğini göstermiştir.

Ayrıca, marinyasyon, tütsüleme, kurutma gibi işlemlerde de PEF uygulamasının kullanılma potansiyeli araştırmaya değer bir konu olarak öne çıkmaktadır. Ancak, yapısal farklılıklar göz önünde bulundurulduğunda proses veriminin artırılması amacıyla her su ürününün ayrı ayrı değerlendirilmesi gereği doğmaktadır. Buradan yola çıkılarak, sonraki çalışmalarda farklı su ürünlerinde, tekstürel özellikler başta olmak üzere farklı kalite kriterlerinin ve elektriksel parametrelerin üzerinde durulması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Anggo, A. D., & Suharto, S. (2020). The effect of high voltage electric shock on the quality attribute of carp fish (*Cyprinus carpio*) meat. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 530 012019 (pp. 1-10). Semarang, Indonesia: IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/530/1/012019>
- Anonim. (1990). *Official methods of analysis of AOAC International*. Virginia, AOAC International.
- Anonim (2020). Ordu commodity exchange seafoods and fisheries report (in Turkish). Ordu Ticaret Borsası, Eylül, 1-54.
- Astráin-Redín, L., Raso, J., Cebrián, G., & Álvarez, I. (2019). Potential of pulsed electric fields for the preparation of Spanish dry-cured sausages. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52464-3>
- Aşık Canbaz, E., Çömlekçi, S., & Seydim, A.C. (2020). Application of pulsed electric field in meat technology. *Gıda*, 45(3), 485-495. (in Turkish with English abstract). <https://doi.org/10.15237/gida.GD19143>
- Bekhit, A.E.A., Ven, R., Suwandy, V., Fahri, F., & Hopkins, D.L. (2014). Effect of pulsed electric field treatment on cold-boned muscles of different potential tenderness. *Food Bioprocess Technology*, 7, 3136-3146. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1324-8>
- Castejón, O.J. (2012). Correlative microscopy of cerebellar capillaries. *Journal of Advanced Microscopy Research*, 7(2), 69-83. <https://doi.org/10.1166/jamr.2012.1100>
- Cropotova, J., Tappi, S., Genovese, J., Rocculi, P., Laghi, L., Dalla Rosa, M., & Rustad, T. (2021). Study of the influence of pulsed electric field pre-treatment on quality parameters of sea bass during brine salting. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 70, 102706. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102706>
- Çötelî F.G. (2021). *Product Report: Seafood*. Ankara, Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları. (in Turkish).
- Dericioğlu, B.N., Alak, G., & Atamanalp, M. (2019). Determining protein denaturation of sardine (*Sardina pilchardus*) marinates before and after the maturation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(9), e14059. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14059>
- Dunn, J. (2001). Pulsed electric field processing: An overview. In Barbosa-Canovas, G.V., Zhang, Q.H. (Ed.), *Pulsed Electric Field In Food Processing Fundamental Aspects and Applications* (pp 1-29), U.S.A.:

TEŞEKKÜR VE MADDİ DESTEK

Bu araştırma, kamu, ticari veya kar amacı gütmeyen sektörlerdeki herhangi bir finansman kuruluşundan belirli bir hibe, fon veya başka bir destek almamıştır.

YAZARLIK KATKISI

Emine Aşık Canbaz: Kavramsallaştırma, biçimsel analiz, araştırma, proje yönetimi, görselleştirme, yazarlık- ilk taslak, gözden geçirme ve düzenleme; Bilgenur Üçgül: Araştırma; Atif Can Seydim: Kaynaklar, yazarlık- gözden geçirme ve düzenleme.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar araştırmalarını etkileyebilecek bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya rekabet eden çıkarlar olmadığını beyan eder.

ETİK ONAY BEYANI

Yazarlar bu çalışma için özel bir etik onayın gerekli olmadığını beyan eder.

VERİ KULLANILABİLİRLİĞİ

İlgili tüm veriler makalenin içindedir.

Technomic Publishing. https://doi.org/10.1007/978-0-387-31122-7_1

- Gómez, B., Munekata, P.E., Gavahian, M., Barba, F.J., Martí-Quijal, F.J., Bolumar, T., Campagnol, P.C.B., Tomasevic, I., & Lorenzo, J.M. (2019). Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food Research International*, 123, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.047>
- Gudmundsson, M., & Hafsteinsson, H. (2001). Effect of electric field pulses on microstructure of muscle foods and roes. *Trends In Food Science & Technology*, 12, 122-128.
- He, G., Yin, Y., Yan, X. & Yu, Q. (2014). Optimisation extraction of chondroitin sulfate from fish bone by high intensity pulsed electric fields. *Food Chemistry*, 164, 205-210. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.032>
- Inguglia, E. S., Oliveira, M., Burgess, C. M., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2020). Plasma-activated water as an alternative nitrite source for the curing of beef jerky: Influence on quality and inactivation of *Listeria innocua*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102276. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102276>
- Klonowski, I., Heinz, V., Toepfl, S., Gunnarsson, G., & Pörkelsson, G. (2006). Applications of pulsed electric field technology for the food industry. *Icelandic Fisheries Laboratories Report Summary*, 1-10.
- McDonnell, C.K., Allen, P., Chardonnerau, F.S., Arimi, J.M. & Lyng, J.G. (2014). The use of pulsed electric fields for accelerating the salting of pork. *LWT-Food Science and Technology*, 59, 1054-1060. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.053>
- Núñez, H., Cavada, G., Ramírez, C., Moreno, J., Cornejo, G., Jaques, A., Pinto M., Vega, O., & Simpson, R. (2020). Effect of a moderate electric field on the salting of Atlantic Salmon (*Salmo salar*): An experimental study and phenomenological understanding. *Food Research International*, 137, 109475. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109475>
- Ormancı, H.B., Künili, İ. E., Çolakoğlu, S., & Çolakoğlu, F.A. (2018). Determination of shelf life Gelibolu salted sardine at 4°C. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6, 187-196. (in Turkish with English abstract). <https://doi.org/10.33202/comuagri.504295>
- Rahman, S. (1995). *Food Properties Handbook*, 1-65. Boca Raton: CRC Press.

- Semenoglou, I., Dimopoulos, G., Tsironi, T., & Taoukis, P. (2020). Mathematical modelling of the effect of solution concentration and the combined application of pulsed electric fields on mass transfer during osmotic dehydration of sea bass fillets. *Food and Bioprocess Processing*, 121, 186-192. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.02.007>
- Simpson, R., Nunez, H., Jaques, A., Ramirez, C., Quiroz, N., Moreno, J., & Sastry, S. (2018). Application of a moderate electric field for the potential acceleration of the salting process Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Food Process Engineering*, 41(6). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12846>
- Toepfl, S., Heinz, V., & Knorr, D. (2006). Pulsed electric fields (PEF) processing of meat. In *13th World Congress of Food Science & Technology* (pp. 591-591). Nantes, France. <https://doi.org/10.1051/IUFoST:20060591>
- Toepfl, S. & Heinz, V. (2007). Application of pulsed electric fields to improve mass transfer in dry cured meat products. *Fleischwirtschaft International*, 22, 62-64.
- Wawire, M., Tsighe, N., Mahmud, A., Abraha, B., Wainaina, I., Karimi, S., & Abdulkerim, Z. (2019). Effect of salting and pressing on quality characteristics of spotted sardine (*Amblygaster sirm*) during different storage conditions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 79, 47-54. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.03.008>
- Zhou, Y., Sui, S., Huang, H., He, G., Wang, S., Yin, Y., & Ma, Z. (2012). Process optimization for extraction of fishbone calcium assisted by high intensity pulsed electric fields. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 28(23), 265-270. (in Chinese with English abstract).