



## **Etlerde Ozmotik Dehidrasyon Uygulamaları**

Aybike Kamiloğlu<sup>1\*</sup>, Naciye Kutlu Kantar<sup>2</sup>, Tuğba Elbir<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6756-0331), [abereketoglu@bayburt.edu.tr](mailto:abereketoglu@bayburt.edu.tr)

<sup>2</sup> Bayburt Üniversitesi, Aydıntepe Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Bayburt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4075-8823), [naciyekutlu@bayburt.edu.tr](mailto:naciyekutlu@bayburt.edu.tr)

<sup>3</sup> Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8836-8808), [telbir@bayburt.edu.tr](mailto:telbir@bayburt.edu.tr)

(İlk Geliş Tarihi 30 Ekim 2020 ve Kabul Tarihi 29 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.818194)

**ATIF/REFERENCE:** Kamiloğlu, A., Kutlu Kantar, N. & Elbir, T. (2021). Etlerde Ozmotik Dehidrasyon Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 534-542.

### **Öz**

Ozmotik dehidrasyon, gıda ürünlerinde suyun uzaklaştırılması, aynı zamanda çeşitli çözünen maddelerin (tuz, şeker vb.) emilimi için uygulanan ve termal olmayan, kısmi kurutma işlemidir. Ozmotik dehidrasyon işleminde, daha düşük su aktivitesine sahip bir son ürün elde etmek için, gıda materyali yüksek konsantrasyonda bir çözeltiye daldırılmaktadır. Fakat bu yöntem ile çok düşük su aktivitesine sahip son ürünler elde edilemediğinden, ön işlem olarak uygulanmaktadır. Kurutma öncesi uygulanan ozmotik dehidrasyon işlemi ile ürünlerdeki su kaybı daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Ozmotik dehidrasyonda gerçekleşen kütle transferi mekanizması ve son ürünün kalitesi üzerinde en etkili faktörlere, ozmotik ajan çeşidi, konsantrasyonu, işlem sıcaklığı, süresi ve örnek/çözelti oranı örnek verilebilmektedir. Ozmotik dehidrasyonda kullanılan düşük işlem sıcaklığı, gıda ürünlerindeki renk-aroma kaybı ve oluşabilecek enzimatik reaksiyonları engellemekte; ürünlerin fonksiyonel, besinsel ve duyuşal özelliklerine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca oldukça ekonomik bir işlem olması ve insan sağlığı açısından herhangi bir olumsuzluk teşkil etmemesi de yöntemi avantajlı hale getirmektedir. Bu derlemede, ozmotik dehidrasyon prosesinin, etlerin işlenmesinde bir ön işlem olarak kullanımının, ürünün kalite karakteristikleri üzerine etkilerine yer verilmiştir. Çeşitli etlerde (tavuk, domuz, sığır, kuzu, deve kuşu eti ve çok çeşitli su ürünleri) kullanılan ozmotik dehidrasyonun, ürünlerin renk ve duyuşal özellikleri ile raf ömrü gibi birçok kalite parametresini geliştirdiği belirlenmiştir. Belirli ozmotik ajanlar kullanımı ile daha iyi taktürel özelliklere sahip kurutulmuş etler elde edilmiştir. Etlerin etkin kurutulmasında, ozmotik dehidrasyon işleminin ultrases veya yüksek basınç gibi uygulamalarla birlikte kullanımı da önerilmektedir. Ayrıca konvektif kurutma öncesinde kullanılan ozmotik dehidrasyon işleminin, etin kuruma süresini önemli derecede azalttığı da belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Et, Ozmotik Dehidrasyon, Ozmotik Ajan, Kurutma.

## **Osmotic Dehydration Applications in Meat**

### **Abstract**

Osmotic dehydration is a non-thermal, partial drying process applied for the removal of water in food products, as well as for the absorption of various solutes (salt, sugar, etc.). In the osmotic dehydration process, the food material is immersed in a high concentration solution to obtain a final product with lower water activity. However, since the final products with very low water activity cannot be obtained with osmotic dehydration, this method is applied as a pretreatment. The water loss in the product takes place in a shorter time with the osmotic dehydration process applied before drying. The most effective factors on osmotic dehydration are the type of osmotic agent, concentration, process temperature, process time and sample/solution ratio. The low process temperature in osmotic dehydration prevents the loss of color and aroma in food products and contributes the functional, nutritional and sensory properties of products. In addition, the fact that it is a very economical process and does not pose any negative effects in terms of human health makes the method advantageous. In this review, when the osmotic dehydration process is used as a pretreatment in meat processing, the effects on the quality characteristics of the product were mentioned. It has been determined that osmotic dehydration used in various meats (chicken, pork, beef, lamb, ostrich meat and a wide variety of seafood) improves many quality parameters such as color and sensory properties and shelf life of the products. Dried meat with better texture were obtained with the use of specific osmotic agents. It is also recommended to use osmotic dehydration in combination with some applications such as ultrasound or high pressure for effective drying of meat. It was determined that osmotic dehydration process used before convective drying significantly reduced the drying time of meat.

**Keywords:** Meat, Osmotic Dehydration, Osmotic Agent, Drying.

\* Sorumlu Yazar: [abereketoglu@bayburt.edu.tr](mailto:abereketoglu@bayburt.edu.tr)

## 1. Giriş

Canlılar için hayati önem taşıyan su, et bileşiminin de önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Su içeriği canlı hayvanda, yağsız kas dokuda %75 civarındadır. Kalan kısmı ise protein (~20), lipit (~5), karbonhidrat (~1), vitamin ve mineraller (~1) oluşturmaktadır. Suyun önemli bir kısmı (~%85) miyofibriller proteinlere bağlı olarak bulunurken, yaklaşık %15'lik kısmı ise miyofibriller yapının dışında yer almaktadır. Etten suyun uzaklaşması, miyofibriller boşluklardan, yapının dışına doğru gerçekleşen bir hareket ile sağlanmaktadır (Offer, 1988; Pearce ve ark., 2011). Et ve et ürünleri, kesim ve işleme koşulları ile kontaminasyona açık gıdalar olup (Doğu & Sarıçoban, 2014), yüksek su içeriği nedeniyle, birçok mikroorganizma (bakteri, maya, küf) için uygun bir gelişme ortamı sağlamaktadır. Bu nedenle et muhafazasında, öncelikli olarak mikrobiyal gelişimin engellenmesi, bununla birlikte lipit oksidasyonu ve enzimatik reaksiyonların sınırlanması ile renk, koku, tekstür gibi özelliklerin korunması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, fermantasyon, dumanlama, dondurma, soğutma, yüksek sıcaklık uygulamaları, kurutma gibi birçok teknik kullanılmaktadır (Dave & Ghaly, 2011).

Kurutma, gıdaların muhafazasında bilinen en eski ve yaygın yöntemlerden biridir. Gıda endüstrisinde akışkan yatak, kızıl ötesi, güneş enerjili (solar), konvektif ve desikant kurutma sıklıkla kullanılan ekonomik yöntemlerdendir (Chua & Chou, 2003). Bu yöntemlerin yanı sıra, yeni teknolojileri içeren mikrodalga destekli, radyo frekans destekli, vakum destekli, ultrases destekli ya da dondurarak kurutma gibi yöntemler de son dönemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ibarz & Barbosa-Canovas, 2014).

Bu yaygın kurutma yöntemlerinin dışında, üründen suyun uzaklaştırılması için tercih edilen diğer bir yöntem de, ozmotik dehidrasyondur. Ozmotik dehidrasyon, hipertonic bir çözelti yardımı ile gıdadaki suyun uzaklaştırılması prensibine dayanmaktadır. Daldırılan çözelti ile gıda arasındaki ozmotik basınç farkı, işlemin etkililiğini sağlamaktadır. Ozmotik dehidrasyon ile çok düşük su aktivite ( $a_w$ ) değerlerine erişilemediği için, bu yöntem genellikle yardımcı bir işlem olarak kullanılmaktadır (Miano ve ark., 2017). Ozmotik dehidrasyon, düşük işlem sıcaklığı, yapıdan suyun sıvı formda uzaklaşması, ürünün başlangıç renk ve aroma özelliklerinin korunması gibi bir çok avantaj sağlamaktadır. Ayrıca ürünün fonksiyonel, duyuşsal ve besleyici özelliklerine de katkı sağlayabilmektedir (Pezo ve ark., 2013). Bununla birlikte, ozmotik dehidrasyon sırasında gerçekleşen kütle transferi, etin yapısı ile de oldukça ilişkilidir. Protein yapısının ozmotik dehidrasyonu etkilemediği (Muguruma ve ark., 1987), fakat yağ içeriğinin kütle transferi üzerine etkili bir bileşen olduğu belirtilmiştir (Collignan ve ark., 2001). Bu derlemede, etlerin, su içeriğinin azaltılması amacıyla uygulanan mevcut ozmotik dehidrasyon çalışmalarına, bu işlemin etlerin kalite özellikleri üzerine etkilerine ve işlem parametrelerine yer verilmiştir.

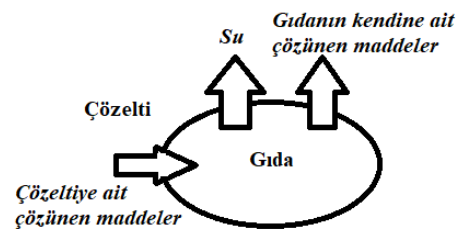
## 2. Ozmotik Dehidrasyon Mekanizması

Kütle transferi, kimyasal dengeye ulaşmak amacıyla, konsantrasyon değişiminin etkisi yardımıyla bir maddenin ortamdan göçü olarak tanımlanabilir. Gıda işlemede, dondurarak kurutma, ozmotik dehidrasyon, tuzlama, kütleme, ekstraksiyon, dumanlama, pişirme, kızartma, kurutma, membran ayırma gibi işlemlerin temeli kütle transferine dayanmaktadır (Walti-Chanes ve ark., 2005). Ozmotik dehidrasyon işlemi ile, yüksek ısıyla

oluşabilecek renk ve aroma kayıplarının önüne geçilebilmekte, enzimatik değişimler önlenilmekte ve enerji maliyeti azaltılabilmektedir (Khan, 2012). Fakat bu yöntem tek başına, gıdanın su aktivitesini rafta kararlı bir ürün olarak kabul edilecek kadar düşürmek için yeterli değildir. Bu nedenle, çoğunlukla ön işlem olarak kullanılmaktadır (Azuara ve ark., 1996). Diğer bir deyişle, ozmotik dehidrasyon, son yıllarda, kurutma proseslerinde tamamlayıcı bir işlem olarak sıklıkla kullanılan, gıda muhafaza yöntemlerinden birisidir.

Ozmotik dehidrasyon, gıda ürünlerinde suyun uzaklaştırılması, aynı zamanda çeşitli çözünen maddelerin (tuz, şeker vb.) emilimi için uygulanan ve termal olmayan, kısmi kurutma işlemidir. Ozmotik dehidrasyon sırasında, gıda, konsantre hipertonic çözeltilere daldırılmakta ve gıda ile çözelti arasındaki ozmotik basınç farkından dolayı, su gıdadan dışarıya çıkmaktadır (Cath ve ark., 2006; Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2017). İşlem görecekle gıda materyali, hipertonic ozmotik çözeltiye daldırıldığında, üst tabakadaki hücreler ile hipertonic çözeltinin birbiriyle temas etmesiyle aralarındaki konsantrasyon farkı nedeniyle, hücre su kaybetmeye ve küçülmeye başlamaktadır. Sonrasında bir alt tabakadaki hücrelerden, üst tabakaya nem transferi olmaktadır. Dolayısı ile bir süre sonra bu hücreler de su kaybettiğinden küçülme görülmektedir. Bu küçülme, gıdanın yüzeyindeki hücrelerden başlayarak, merkeze doğru yayılmaktadır (Phisut, 2012; Shi & Xue, 2009). Kısacası, ozmotik dehidrasyon işlemiyle, gıdanın çözünür katı miktarı artarken su içeriği azalmaktadır (Ramya & Jain, 2017).

Ozmotik dehidrasyon sırasında gerçekleşen katı madde transferi oldukça karmaşık bir taşınım olayıdır. Bu işlemde, üç tip kütle transferi mekanizması görülmektedir (Şekil 1). Birinci durumda, su başlangıçta hızlı, ilerleyen aşamalarda daha yavaş olmak üzere, gıdanın içerisinden çözeltiye difüze olmaktadır. İkinci durumda, ozmotik çözeltiden gıda içerisine çözünen transferi gerçekleşmektedir. Son durumda ise, gıdanın içerisinde bulunan kendi çözünenler (şeker, organik asitler, mineraller, vitaminler vb.) çözeltiye sızmaktadır. Fakat diğer iki duruma göre çok daha az miktarlarda gerçekleştiği için, bu tip transfer gerekli hesaplamalarda ihmal edilebilmektedir (Akbarian ve ark., 2014). Bu bağlamda, ozmotik dehidrasyon işlemi boyunca, su kaybı (SK, kg/kg taze ürün) ve çözünen (katı) kazanımı (ÇK, kg/kg taze ürün), birbirinden bağımsız olarak, eşitlik 1 ve 2 ile hesaplanabilmektedir (Pan ve ark., 2003).



Şekil 1. Ozmotik dehidrasyon işleminde görülen kütle transferleri (Ramya & Jain, 2017).

$$SK = [(M_0 + M_d) - (M_t + M_{td})] / M_0 \quad (1)$$

$$\ÇK = (M_{td} - M_d) / M_0 \quad (2)$$

Eşitliklerde,  $M_0$  başlangıç ürünün kütlesi (kg),  $M_d$  başlangıçtaki kuru madde kütlesi (kg),  $M_t$  ürünün belirli bir t zamanındaki kütlesi (kg),  $M_{td}$  ürünün belirli bir t zamanındaki

kuru madde kütlesidir (kg). Kütle transferi ile ilgili yapılan çalışmalarda bulunan matematiksel modeller ve eşitlikler, ozmotik çözeltiden hücre içine katı madde difüzyonuna odaklanmaktadır. Fick yasasının çözümü ile efektif difüzyon katsayısı ( $D_e$ ) kolaylıkla bulunabilmektedir. Efektif difüzyon katsayısı, konsantrasyon farkı olan iki ortam arasında, maddelerin yayınımlarının ölçüsünü açıklamada kullanılmaktadır.

Ozmotik dehidrasyon sırasında bu değer, gıdanın yüzeyinde daha yüksek iken, gıdanın merkezine doğru gidildikçe, çözelti teması az olduğu için düşmektedir (Rastogi ve ark., 2000). Deneysel literatür verilerine bakıldığında, ozmotik dehidrasyon sırasındaki kütle transferinde, moleküler difüzyon haricinde farklı olaylar da görülmüştür. Örneğin, şeker gibi bazı çözünenler, hücre içine difüze olmadan dış yüzeyde bir tabaka oluşturabilmektedir. Bu durumda, gıdanın dış yüzeyinde bir katman oluştuğu için, kütle transferi yavaşlamaktadır (Muñiz-Becerá ve ark., 2017; Najafi ve ark., 2014). Gıda ile çözelti arasındaki kütle transferi hızı ve ürünün kalitesini etkileyen parametreler (antioksidan

kapasitesi, renk, tekstür vb.), çözünen madde tipine, konsantrasyonuna, ozmotik çözeltinin sıcaklığına ve gıdanın şekline bağlı olarak değişmektedir (Almeida ve ark., 2015; Landim ve ark., 2016).

### 3. Etilerde Ozmotik Dehidrasyon Üzerine Etkili Faktörler

Son yıllarda etlerde yapılmış olan bazı ozmotik dehidrasyon çalışmalarına Tablo 1’de yer verilmiştir. Bu çalışmalarda farklı hammaddeler üzerinde değişen ozmotik dehidrasyon parametrelerinin kurutma ya da kalite karakteristikleri üzerine etkisinin incelendiği görülmektedir.

Tablo 1. Etilerde ozmotik dehidrasyon ile ilgili yapılan çalışmalar

Materyal	Kullanılan Ozmotik Ajan	Ozmotik Dehidrasyon Koşulları	Kaynak
Domuz eti	Seker pancarı melası (%80 sulu çözelti)	23 °C – 5 h	(Şuput ve ark., 2015)
Kuzu eti	NaCl (%15 sulu çözelti)	Oda sıcaklığı - 0, 1.5, 3, 4.5 ve 6 h	(Wang ve ark., 2016)
Yayın balığı	NaCl (0,14-0,22 g/g sulu çözelti)	Oda sıcaklığı – 90, 150 ve 210 dk	(Corzo ve ark., 2016)
Sığır eti	Maltodekstrin (%40, %50 ve %60) + NaCl (%5 sulu çözelti)	5, 15 ve 25 °C - 0, 20, 40, 60, 90, 120, 150 ve 180 dk	(Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016)
Sığır eti	NaCl (6 mol/L sulu çözelti)	10 °C – 6 h	(Bampi ve ark., 2016)
Tavuk eti	Sukroz+NaCl (1200 ve 350 g/kg sulu çözelti)	20, 32 ve 44 °C – 1, 3, 5 h	(Filipović ve ark., 2017)
Sığır eti	Maltodekstrin (%40 ve %60) + NaCl (%5 sulu çözelti)	15 °C – 3h	(Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2017)
Tavuk eti	Maltodekstrin (40, 50 ve %60) + NaCl (%5 sulu çözelti)	15, 25 ve 35 °C – 20-240 dk	(Andreou ve ark., 2018)
Jumbo kalamar	NaCl (%15 sulu çözelti)	15 °C – 300 s (yüksek basınç altında)	(Lemus-Mondaca ve ark., 2018)
Domuz eti	Seker pancarı melası (%80 sulu çözelti)	22 °C – 5 h	(Şuput ve ark., 2019)
Arapayma balığı	NaCl (%30 sulu çözelti)	10, 20, 30 ve 40 °C - 30, 60, 90, 120 ve 180 dk	(Martins ve ark., 2019)
Sığır eti	Maltodekstrin (%40, %50 ve %60) + NaCl (%5 sulu çözelti)	5, 15 ve 25 °C - 0, 20, 40, 60, 90, 120, 150 ve 180 dk	(Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2019)
Deve kuşu eti	NaCl (%5, %15 ve %27 sulu çözelti)	15 °C - 24 h	(Alamatian ve ark., 2019)
Tavuk eti	Sukroz+NaCl (1200 ve 350 g/kg sulu çözelti)	32 °C - 0.5, 1, 2, 3 ve 5 h	(Filipović ve ark., 2019)
Yenilebilir deniz salyangozu	NaCl (%1 sulu çözelti)	4 °C - 12 h	(Pizarro-Oteiza ve ark., 2020)
Ot sazanı	NaCl (%8 sulu çözelti)	4 °C - 3 h	(Qin ve ark., 2020)
Karides	NaCl (%6 sulu çözelti)	100 °C - 1 dk	(Ling ve ark., 2020)

Ozmotik dehidrasyon sırasında, su içeriğinin bitki veya hayvan dokusundan çıkarılması, ürün ile ürüne doğrudan temas

halinde olan hipertonic çözelti arasındaki ozmotik basınç farkı ile elde edilmektedir (Koprivica ve ark., 2010). Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis (2017) yaptıkları çalışmada sığır etini,

15 °C sıcaklıkta 3 saat boyunca, %60 Maltodekstrin+%5 NaCl çözeltisi içinde bekletmişler ve gerçekleşen ozmotik dehidrasyon sonucu su aktivite değerini 0.976, aynı koşullarda %20 NaCl çözeltisinde beklettiklerinde ise ozmotik dehidrasyon sonucu su aktivite değerini 0.948 bulmuşlardır. Bu bulgu ile ozmotik çözelti olarak yüksek konsantrasyonlarda NaCl kullanılması durumunda, sığır eti örneklerinin su aktivite değerinin daha düşük olduğunu vurgulamışlardır. Filipović ve ark. (2017) tavuk eti kullanarak yaptıkları bir çalışmada, kütle kaybının en yüksek (0.4791  $\frac{g_{final}}{g_{başlangıç}}$ ) olduğu ozmotik dehidrasyon koşullarının %60 NaCl+sukroz konsantrasyon, 44 °C sıcaklık ve 5 saatlik işlem süresi ile elde edildiğini bildirmişlerdir. Şuput ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, domuz etinden elde ettikleri küp şeklindeki örnekleri, farklı daldırma süreleri (15-60 dakika) ve sıcaklıklarda (20-40 °C), şeker pancarı melası (%80 sulu çözelti) içinde bekleterek nem değişimlerini incelemişler ve modellemişlerdir. Sonuç olarak, deneysel nem verilerinin, ikinci dereceden polinom modelle iyi uyum sağladığını rapor etmişlerdir. Geliştirilen modele göre, daha yüksek sıcaklıklarda su içeriği kazanım oranının arttığı belirtilmiştir.

Kütle transferi mekanizması ve son ürünün kalitesi; ozmotik ajanların bileşim ve konsantrasyonu, ürünün çözeltiye daldırılma süresi, işlem sıcaklığı, ozmotik çözeltinin karıştırılması, gıdanın çeşidi ve kalınlığı, gıda maddesine öncesinde uygulanan işlemler, ürünün boyutları ve şekli, ozmotik çözelti ile ürünün oranı, karıştırma seviyesi, ozmotik ajanın türü ve işlem basıncı gibi faktörlerden etkilenmektedir (Jain ve ark., 2011; Lerici ve ark., 1985; Rastogi ve ark., 2002). Bu faktörler aşağıdaki bölümlerde daha detaylı olarak açıklanmıştır.

### 3.1. Ozmotik Ajan Çeşidi ve Konsantrasyonu

Gıdaların ozmotik dehidrasyon için çözelti seçimi oldukça önemlidir. Kullanılan ozmotik çözelti, son ürünün kalitesini ve fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir (Pan ve ark., 2003). Suda çözünebilen herhangi bir çözünen kullanılabilmesine rağmen, şeker (dekstroz, sukroz, esmer şeker, mısır şurubu, laktoz, bal, melas ve maltodekstrin) ve tuz (sodyum klorür - NaCl) çoğunlukla ozmotik ajan olarak tercih edilen maddelerdendir (Raoult-Wack, 1994). NaCl, etlerde özellikle tuza hassas mikroorganizmaların üreme faaliyetlerinin durdurulmasında çok önemlidir. Yapılan bir çalışmada, %10 oranındaki tuzlu su ile kuzu etinde su aktivitesi değeri 0.95 değerinden 0.80 değerine kadar düştüğü belirtilmiştir (Chawla ve ark., 2006). Ozmotik ajan olarak sukroz kullanılarak yapılan bir çalışmada ise, kserofil mikroorganizmaların üremesinin, su aktivitesinin 0.96'a düşmesi ile durdurulduğu rapor edilmiştir (Gibbs & Gekas, 1998). Su kaybı ve katı madde kazanımının kinetiği, kullanılan ozmotik maddenin çeşidinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Tuz ve şeker içeren üç bileşenli çözeltiler, genellikle et dehidrasyonu için ozmotik ajan olarak kullanılmaktadır (Collignan ve ark., 2001). Ozmotik dehidrasyon işleminde üçlü çözeltilerin kullanılması, aşırı tatlılık veya tuzluluk olmadan ve doyunluk sınırlarına ulaşmadan yüksek dehidrasyon sağlamak gibi bazı avantajlar sunmaktadır (Bohuon ve ark., 1998). Farklı konsantrasyonlarda şeker pancarı melası + NaCl + sakkaroz çözeltisinin, etin ozmotik dehidrasyon işleminde etkili olduğu gibi, şeker pancarı melası oranının daha yüksek olması su kaybını daha da arttırmaktadır (Filipović ve ark., 2014; Filipović ve ark., 2012). Şeker pancarı melası, yüksek kuru madde içeriği ve melastan et dokusuna nüfuz eden besinlerin eti zenginleştirilmesi nedeniyle, et dehidrasyonunda sıklıkla tercih edilen bir hipertonic çözeltidir (Ćurčić ve ark., 2013). Ozmotik ajan olarak kullanılan şeker

çözeltilisine ilave edilen sodyum klorür, düşük molekül ağırlığına sahip olmasından ve su aktivitesini düşürmesinden dolayı, ozmotik dehidrasyon etkisini artırdığı bildirilmiştir (Azoubel & Da Silva, 2008; Lerici ve ark., 1985; Taiwo ve ark., 2003). Ozmotik ajan olarak, sadece tuz kullanımı, tuz alımının artmasına ve son ürünün daha az tercih edilmesine sebep olmaktadır. Tuzun, şeker çözeltileri ile birlikte kullanımının daha etkili bir dehidrasyon sağladığı belirtilmiştir (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016; Filipović ve ark., 2017).

### 3.2. İşlem Sıcaklığı

Sıcaklık, ozmotik dehidrasyon kinetiğini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir (Chandra & Kumari, 2015). Katı kazanımı sıcaklıktan daha az etkilenirken, su kaybı sıcaklık artışı ile artmaktadır. Sıcaklıktaki artış, ozmotik çözeltinin viskozitesini düşürmekte ve böylece ürün yüzeyindeki kütle transferine karşı oluşan dış direnç azalmaktadır. Bu durum su kaybını ve katı kazanımını daha da arttırmaktadır (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016; Telis ve ark., 2007). Yüksek işlem sıcaklığının, domuz eti (Filipović ve ark., 2014; Poligné ve ark., 2002, 2005), sığır eti (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2016; Djelveh ve ark., 2001; Favetto ve ark., 1981) ve tavuk eti (Andreou ve ark., 2018; Filipović ve ark., 2017) dehidrasyonunda su kaybını artırdığı farklı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir.

### 3.3. İşlem Süresi

Teorik olarak, ozmotik dehidrasyon sırasındaki kütle transferi, ozmotik çözelti ile gıdanın su aktivitesi arasında bir denge kurulana kadar devam etmektedir (Lenart & Flink, 1984). Kütle aktarımının, sürecin ilk aşamalarında (ilk 2-3 saat) daha hızlı meydana geldiği ve aktarım hızının zaman içinde kademeli olarak azaldığı bildirilmiştir (Castro-Giraldez ve ark., 2010; Chabbouh ve ark., 2012; Poligné ve ark., 2005). Sığır etlerine %15'lik tuz ve %48.7'lik nişasta şurubu çözeltileri ile ozmotik dehidrasyon uygulandığı bir çalışmada, işlemin ilk 3 saatindeki su kaybının ağırlıkça yaklaşık %20 olduğu belirtilmiştir. 24 saatlik proses sona erdiğinde ise, toplam su kaybı %38 olarak ölçülmüştür (Santchurn ve ark., 2007). Bu nedenle, büyük miktardaki su kaybı ile yüksek dehidrasyon verimi sağladığı için, birçok araştırmacı etlerin ozmotik dehidrasyon için optimum sürenin 3-5 saat olduğunu belirtmektedir (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020). Yapılan başka bir çalışmada da, sıcaklık, daldırma süresi ve çözelti konsantrasyonu gibi parametreler içerisinde, domuz etinde su kaybı, katı kazanımı ve su aktivitesi üzerine, daldırma süresinin en etkili parametre olduğu belirtilmiştir (Filipović ve ark., 2014).

### 3.4. Karıştırma

Statik koşullar altında, et/çözelti arayüzündeki çözünmüş madde konsantrasyonu, etten ayrılan su ve ete geçen çözünmüş madde konsantrasyonu nedeni ile zamanla azalmaktadır. Eğer çözelti viskozitesi yüksek ise, ürünün çözelti ile temas hızı yavaştır. Kütle transferinin hızı, ozmotik çözeltinin işlem sırasında karıştırılmasıyla artırılabilir. Karıştırma, et ile çözelti arasında sürekli temas sağlarken, et/çözelti arayüzündeki ozmotik basıncın sabit kalmasına neden olmaktadır (Santchurn ve ark., 2007). Tek ya da çok bileşenli ozmotik ajan kullanıldığı durumlarda, tuz konsantrasyonunun artışı, karıştırmanın su kaybı ve katı madde kazanımı üzerine etkisini azaltabilmektedir. Çünkü tuz çözeltisinin düşük viskoziteye sahip olması, karıştırma işleminin kütle transfer hızında daha fazla bir artış sağlayamamasına neden olmaktadır (Bohuon ve ark., 1998; Cárcel ve ark., 2007).

### 3.5. Örnek/çözelti Oranı

Ozmotik dehidrasyon sırasında, etten ozmotik çözeltiliye su, çözeltiliden ete de çözünen madde geçişi olmaktadır. Böylece ozmotik çözeltilide meydana gelen seyrelme, ozmotik basınç farkının azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, çözeltilinin ozmotik basıncının işlem boyunca korunmasını sağlamak için, uygun ozmotik çözelti/örnek oranı seçilmesi önemlidir (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020). Literatür incelendiğinde, ozmotik çözelti konsantrasyonunun minimum değeri kalmasının hedeflendiği ve ozmotik dehidrasyon boyunca, çözelti/örnek oranının 10:1 ve üzerinde birçok çalışma olduğu gibi (Bampi ve ark., 2016; Chabbouh ve ark., 2012; Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2019), daha düşük çözelti/örnek oranının (5:1) kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır (Curcic ve ark., 2014; Ćurčić ve ark., 2013; Filipović ve ark., 2017; Filipović ve ark., 2014; Filipović ve ark., 2012; Pezo ve ark., 2013). Ayrıca, bu düşük çözelti/örnek oranının, herhangi bir konsantrasyon değişikliğine sebep olmayacağı da belirtilmiştir (Filipović ve ark., 2012).

## 4. Ozmotik Dehidrasyonun Kalite Üzerine Etkisi

Ozmotik dehidrasyon işlemi ile suyun yapıdan uzaklaşması sırasında meydana gelebilecek fiziksel ve kimyasal değişimler, birçok kalite özelliğini etkileyebilmektedir. Etler için en önemli kalite özelliklerinden biri renktir. Ette renkten sorumlu ana protein miyoglobindir, fakat hemoglobin ve sitokrom C gibi diğer hem proteinleri de sığır eti, kuzu eti, domuz eti ve tavuk eti renginde rol oynayabilir. Bu pigmentlerin yapısında bulunan demirin bileşiklere bağlanma reaksiyonları (oksijenasyon, oksidasyon, oksidasyon-redüksiyon, karboksimiyogloblin dönüşümü) sonucunda etin rengi değişebilmektedir (Mancini & Hunt, 2005). Ozmotik dehidrasyon işleminin etteki renk parametreleri üzerine ( $L^*$ , açıklık-koyuluk;  $a^*$ , kırmızılık-yeşillik;  $b^*$ , sarılık-mavilik) önemli bir etkisi vardır. Farklı ozmotik çözeltilerin etkisine bağlı olarak et rengindeki değişiklikler genellikle  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  ve  $\Delta b^*$  olarak ifade edilebilir. Bu ifadeler aşağıdaki eşitlik 3, 4 ve 5 ile hesaplanabilmektedir. Burada,  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  herhangi bir süredeki değerleri,  $L^*_0$ ,  $a^*_0$  ve  $b^*_0$  ise başlangıç anındaki ( $t=0$ ) değerleri ifade etmektedir.

$$\Delta L^* = L^* - L^*_0 \quad (3)$$

$$\Delta a^* = a^* - a^*_0 \quad (4)$$

$$\Delta b^* = b^* - b^*_0 \quad (5)$$

Renk değişimleri aynı zamanda işlem süresine de bağlıdır ve daha uzun işlem sürelerinde daha yoğun renk değişimleri görülmektedir (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020). Fernández-López ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada, domuz etinde tuz kullanımı,  $L^*$  değerini azaltırken,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerini arttırdığı bildirilmiştir. Su tutma kapasitesinin artması sonucu, ürün yüzeyinde su miktarının azalması  $L^*$  değerini azaltırken, tuz varlığında miyogloblin konsantrasyonunun ürün yüzeyinde artması sonucunda  $a^*$  değerinin yükseldiğini belirtmişlerdir. Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis (2017) sığır etinde ozmotik ajan olarak, maltodekstrin (MD), tuz (NaCl) ve sıvı tütsü (ST)'nin farklı konsantrasyonlarda kullanımıyla, hammaddeye daha yakın renk değerleri elde etmişlerdir. Saito ve ark. (2010) yaptıkları bir çalışmada ise ozmotik ajan olarak şeker kullanımı ile orkinoslarda, yüksek  $a^*$  (kırmızılık) değeri elde

edilmiştir. Bu değer orkinosta tazeliğin bir ölçüsü olarak da kullanılmaktadır.

Ozmotik dehidrasyon işlemi ile tuz ya da şeker gibi maddeler hücreye taşındığı için, kullanılabilir nem miktarı düşmektedir. Bu nem düşüşü, ozmotik dehidrasyon işlemine maruz kalmış olan etlerin mikrobiyal yükünün azalmasına neden olmaktadır. Dolayısı ile ürünün raf ömrü etkilenebilmektedir. Ozmotik dehidrasyon tek başına kararlı bir raf ömrü sağlayamasa da su aktivitesi üzerine etkisi mikrobiyolojik kaliteyi etkilemektedir. Andreou ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, tavuk filetolarında, maltodekstrin (MD) ve tuz içeren ozmotik çözeltilide (%60 MD + %5 tuz, 15 °C) bekleme süresi arttıkça, üründe su kaybı ve katı kazanımının arttığını, dolayısıyla da su aktivitesinin düştüğünü bildirmişlerdir. Sonuç olarak, raf ömrünün 5 °C'de 3 gün uzamasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Filipović ve ark. (2019) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, tavuk etinde ozmotik dehidrasyon işlemi için iki farklı ozmotik çözelti (sulu ozmotik çözelti ve şeker pancarı melası) kullanılmıştır. Kullanılan her iki ozmotik çözelti de tavuk eti üzerindeki mevcut mikroorganizma sayısında önemli bir azalmaya (en yüksek düzeyde azalma *Listeria monocytogenes* mikroorganizmasında görülmüştür) neden olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, işlem süresi ve ozmotik çözelti konsantrasyonu parametre değerlerindeki artış, tüm mikroorganizmaların azalmasında etkili olduğu belirtilmiştir. Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis (2017) yaptıkları çalışmada ise, sığır etinin ozmotik dehidrasyonu sırasında gerçekleşen su kaybını açıklamak için Fick yasası başarıyla uygulanmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemi için maltodekstrin, tuz ve sudan oluşan üçlü çözelti kullanılmıştır ve bu tür üçlü çözelti kullanımının, sığır etinde mikrobiyal büyümeyi sınırlandırdığı, ek olarak sığır etinin raf ömrünü en az 2 gün uzatabildiği belirtilmiştir.

Ozmotik dehidrasyonun tekstürel özellikler üzerine etkisi irdelendiğinde, su kaybı nedeni ile ürünün tekstürel özelliklerinde bozulma meydana geldiğini belirtmişlerdir (Knežević ve ark., 2013). Fakat kullanılan ozmotik ajanlar içerisinde, tuz yerine sadece şeker pancarı melası kullanıldığı durumda, daha iyi tekstür özellikleri elde edilmiştir. Tuz kimyasal yapısı sebebi ile ette pH'a bağımlı olarak farklı özellikler gösterebilmektedir. Yapılan bir çalışmada, pH>6.2 olan etler ile hazırlanan kuru-kür edilmiş etlerin tekstür özelliklerinin, pH<5.7 olan etler ile hazırlanan kuru-kür edilmiş etlere göre daha iyi olduğu, başka bir deyişle, daha düşük sertlik değerleri elde edildiğini belirtmişlerdir (Ruiz-Ramírez ve ark., 2005). Andreou ve ark. (2018), tavuk eti ile yaptıkları bir çalışmada, ozmotik ajan olarak maltodekstrin ve tuz kullanarak, üründe tekstür değişimini incelemişlerdir. Ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan örneklerin sertlik değerleri, kontrol örnekleri ile (ozmotik dehidrasyon uygulanmamış) elde edilen değerlere göre daha düşük bulunmuştur. Bu sonuçların aksine, Knežević ve ark. (2013) ve Ozuna ve ark. (2013) yaptıkları çalışmalarda ise, ozmotik dehidrasyon işlemi için kullanılan tuzun, domuz etinin sertlik değerinde bir artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeninin ise, tuzun et dokusunda bulunan proteinlerin yapılarını bozması olduğunu söylemişlerdir. Fakat bu durumda en önemli parametrelerden birinin tuz konsantrasyonu olduğunu da ayrıca vurgulamışlardır.

Ozmotik dehidrasyonun, etlerdeki lipid oksidasyonuna farklı etkilerinin olduğu ortaya konulmuştur. Yapılan bir çalışmada farklı oranlarda gliserol (%30, %40 ve %15) ve %5 oranında NaCl içeren ozmotik çözeltiler kullanılarak işlem görmüş yılan balığı filetolarında tespit edilen lipid oksidasyonu seviyesinin kontrol örneğine göre oldukça az olduğu belirlenmiştir (Giannakourou ve

ark., 2020). Lipid oksidasyonu açısından benzer sonuçlar, ön işlem olarak kullanılan ozmotik dehidrasyonun, farklı sıcaklıklarda muhafaza edilen çipura filetolarına etkisini araştıran bir çalışmada da elde edilmiştir. Tsironi & Taoukis (2017) tarafından yapılan çalışmada, örnekler depolanmadan önce farklı oranlarda yüksek dekstroz eşdeğerlikli maltodekstrin (HDM): NaCl, HDM: trehaloz: NaCl ve HDM: glukozamin: NaCl içeren ozmotik çözeltilerde bekletilmiştir. Her iki muhafaza sıcaklığında da, ozmotik dehidrasyonla işlem görmüş çipura örneklerinin tiyobarbitürik asit reaktif maddeleri (TBARS) değerlerinin (ikincil oksidasyon ürünlerinin bir ölçüsü) kontrol örneğinden düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, kullanılan ozmotik çözelti bileşimi ve işlem süresinin etin lipid oksidasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2020). Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis (2017), ozmotik çözeltinin NaCl konsantrasyonu arttıkça, lipid oksidasyonunun hızla ilerlediği ve etin TBARS değerlerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada, fenolik bileşikler, karboniller, organik asit gibi maddeler içeren sıvı dumanın ozmotik çözeltiliye eklenmesinin, işlenmiş et ürünlerinde depolama süresince oluşan lipid oksidasyonunu önlediği de tespit edilmiştir.

## 5. Ozmotik Dehidrasyon Destekli Uygulamalar

Ozmotik dehidrasyon sırasında, çözelti ve gıda arasındaki ozmotik basınç farkının fazla olduğu durumda hızlı olan suyun hareketi, farkın azalması ile yavaşlamaktadır (Berk, 2018). Suyun hareketi hücrel materyallerde, homojen bir maddeye kıyasla daha fazla difüzyon katsayısına sahiptir (Rastogi ve ark., 2005). Bu nedenle, etin su içeriğinin azaltılmasında ozmotik dehidrasyon işleminin etkinliği artırılmalı veya bir ön işlem olarak, ultrases ya da yüksek basınç gibi uygulamalar ile birlikte kullanılması önerilmektedir.

Kurutma öncesi ozmotik dehidrasyon işlemi uygulandığında, ürünün su kaybı daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Konvektif hava kurutma sistemi ile gerçekleştirilen kuru bir et üretiminde ozmotik dehidrasyon ön işleminin kurutma süresi üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Chabbouh ve ark., 2011). Yapılan bir çalışmada, balık filetolarının ısı pompası kullanılarak kurutulmasında ön işlem olarak ultrases ile ozmotik dehidrasyon yöntemleri kullanılmıştır. Ultrases dalgalarının sağladığı yüksek ultrasonik titreşimler, sıvı içerisinde oluşan baloncukların büyümesini ve patlamasını sağlamaktadır. Kavitasyon olarak adlandırılan bu durum sonucunda, baloncukların asimetric patlaması katı materyale yakın olduğunda yüzeye doğru mikrojetler oluşturmaktadır. Böylece sınır katmanı uyararak kütle transferi üzerine etkili olmaktadır (Cárcel ve ark., 2007). Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon uygulaması kurutma süresini kısaltırken, ürün kalitesini de olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir. 10 dakikanın üzerinde uygulanan ultrases uygulaması ozmotik dehidrasyon ile kütle transferini arttırdığı vurgulanmıştır (Li ve ark., 2017). Ultrases kullanımı ile yürütülen başka bir çalışmada, domuz etinde %5 salamura kullanımıyla, miyofibriller protein matriksinde bulunan su, düşük güçte uygulanan ultrases güçleri ile (9.0 ve 54.9 W/cm<sup>2</sup>), yüksek güçteki uygulamaya kıyasla daha fazla uzaklaştırıldığı belirtilmiştir. Salamura kullanılmayan örneklerde ise, her iki güç uygulamasında da etteki su miktarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Ojha ve ark., 2016).

Ultrases uygulamasından farklı olarak tavuk göğüs etinin raf ömrünü uzatmak amacı ile ozmotik dehidrasyon ve yüksek basınç işlemlerinin birlikte kullanımının tek başına kullanımına nazaran daha etkili olduğu bildirilmiştir (Andreou ve ark., 2018). Genellikle 100 MPa ile 1000 MPa arasında olan yüksek basınç uygulamaları gıda endüstrisinde yer bulan, ısı olmayan işlemlerdir. Etlere mikrobiyolojik bozulmaları engellemek ve bazı tekstürel özellikleri iyileştirmek için kullanılabilirlerdir. Yüksek basınç özellikle protein yapıda bulunan bağlara etki ederek kuartern yapıyı bozabilmekte ve proteinin suya olan ilgisini etkilemektedir (Zorba & Şükrü, 2005). Yapılan bir çalışmada Villacís ve ark. (2008), hindi göğüs etlerinde, tuz ve nem difüzyonu üzerine yüksek basınç ve uygulama süresinin etkisinin oldukça yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Andreou ve ark. (2018) tavuk etinde ozmotik dehidrasyon ve yüksek basınç (400-600 MPa) uygulamalarının etkisini inceledikleri bir çalışmada, yüksek basınç uygulamasının tek başına mikrobiyal stabiliteyi sağlarken, kalite özellikleri üzerine olumsuz etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada ozmotik dehidrasyon destekli yüksek basınç uygulaması ile kalite özelliklerinin yanı sıra raf ömrü üzerine de olumlu etkisi olduğu bildirilmiştir.

## 6. Sonuç

Öncelikli olarak ozmotik dehidrasyon işlemi, birçok işleme kıyasla oldukça ekonomik ve insan sağlığı için zararlı kimyasallara ihtiyaç duyulmayan bir yöntemdir. Kısmi kurutma işlemi olan ozmotik dehidrasyon işleminin, etlerin kalite karakteristikleri üzerine etkisinin incelendiği birçok çalışma yapılmıştır. Ozmotik dehidrasyon işleminin, etlerin işlenmesinde kurutma işlemi öncesinde tercih edildiği durumlarda ürünün kuruma süresini kısaltabilmektedir. Ozmotik ajanın çeşidine göre değişimle birlikte, tazelik parametrelerinden biri olan a\* değerini genellikle geliştirdiği ve tüketici beğenisini de arttırdığı görülmektedir. Etlere ozmotik çözeltilere daldırılması sonucunda, mikrobiyolojik gelişimin geciktirildiği ve ürünün raf ömrünün iyileştirildiği bildirilmiştir. Ozmotik ajan olarak melas kullanıldığı durumlarda, materyalin tekstürel özelliklerinin olumlu yönde etkilendiği rapor edilmiştir. Sonuç olarak, ozmotik dehidrasyon işleminin, etlere başarılı bir şekilde uygulandığı ve birçok kalite özelliğini de geliştirilmesinde kullanılabilir olduğu söylenebilir. Bu kapsamda, ozmotik dehidrasyon uygulanan etin kalite özellikleri ve raf ömrü stabilitesi ile ilgili daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

## Kaynakça

- Akbarian, M., Ghasemkhani, N., & Moayedı, F. (2014). Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review. *Int. J. Biosci*, 4(1), 42-57.
- Alamatian, S., Mohebbi, M., Varidi, M., & Nezhad, M. M. (2019). Modeling of osmotic treatment of ostrich meat coated by tragacanth and salep. *Meat Science*, 156, 231-239.
- Almeida, J. A., Mussi, L. P., Oliveira, D. B., & Pereira, N. R. (2015). Effect of temperature and sucrose concentration on the retention of polyphenol compounds and antioxidant activity of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1061-1069.
- Andreou, V., Tsironi, T., Dermesonlouoglou, E., Katsaros, G., & Taoukis, P. (2018). Combinatory effect of osmotic and high pressure processing on shelf life extension of animal origin products—Application to chilled chicken breast fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, 43-51.

- Azoubel, P. M., & Da Silva, F. O. (2008). Optimisation of osmotic dehydration of 'Tommy Atkins' mango fruit. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(7), 1276-1280.
- Azuara, E., Garcia, H. S., & Beristain, C. I. (1996). Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. *Food Research International*, 29(2), 195-199.
- Bampi, M., Domschke, N., Schmidt, F., & Laurindo, J. (2016). Influence of vacuum application, acid addition and partial replacement of NaCl by KCl on the mass transfer during salting of beef cuts. *LWT*, 74, 26-33.
- Berk, Z. (2018). *Food process engineering and technology*: Academic press.
- Bohuon, P., Collignan, A., Rios, G., & Raoult-Wack, A.-L. (1998). Soaking process in ternary liquids: experimental study of mass transport under natural and forced convection. *Journal of Food Engineering*, 37(4), 451-469.
- Cárcel, J., Benedito, J., Bon, J., & Mulet, A. (2007). High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Science*, 76(4), 611-619.
- Castro-Giraldez, M., Fito, P., & Fito, P. (2010). Non-equilibrium thermodynamic approach to analyze the pork meat (Longissimus dorsi) salting process. *Journal of Food Engineering*, 99(1), 24-30.
- Cath, T. Y., Childress, A. E., & Elimelech, M. (2006). Forward osmosis: principles, applications, and recent developments. *Journal of membrane science*, 281(1-2), 70-87.
- Chabbouh, M., Ahmed, S. B. H., Farhat, A., Sahli, A., & Bellagha, S. (2012). Studies on the salting step of Tunisian kaddid meat: experimental kinetics, modeling and quality. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5), 1882-1895.
- Chabbouh, M., Hajji, W., Hadj Ahmed, S. B., Farhat, A., Bellagha, S., & Sahli, A. (2011). Combined effects of osmotic dehydration and convective air drying on kaddid meats: Kinetics and quality. *Drying Technology*, 29(13), 1571-1579.
- Chandra, S., & Kumari, D. (2015). Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(4), 552-561.
- Chawla, S., Chander, R., & Sharma, A. (2006). Safe and shelf-stable natural casing using hurdle technology. *Food control*, 17(2), 127-131.
- Chua, K., & Chou, S. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science & Technology*, 14(12), 519-528.
- Collignan, A., Bohuon, P., Deumier, F., & Poligné, I. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 153-162.
- Corzo, O., Bracho, N., Rodríguez, J., & Arias, J. M. (2016). Optimizing salting and smoking of Catfish (*Bagre Marinus*) using response surface methodology. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25(3), 358-372.
- Curcic, B., Filipovic, V., Nicetin, M., Mišljenovic, N., & Pezo, L. (2014). Evaluation of mass transfer kinetics and efficiency of osmotic dehydration of pork meat. *Acta Univ. Sapientiae*, 7, 63-72.
- Ćurčić, B. L., Pezo, L. L., Lević, L. B., Knežević, V. M., Nićetin, M. R., Filipović, V. S., & Kuljanin, T. A. (2013). Osmotic dehydration of pork meat cubes: Response surface method analysis. *Acta Periodica Technologica*(44), 11-19.
- Dave, D., & Ghaly, A. E. (2011). Meat spoilage mechanisms and preservation techniques: a critical review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(4), 486-510.
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2016). Mass transfer kinetics during osmotic processing of beef meat using ternary solutions. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 560-569.
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2017). Effect of maltodextrin, sodium chloride, and liquid smoke on the mass transfer kinetics and storage stability of osmotically dehydrated beef meat. *Food and Bioprocess Technology*, 10(11), 2034-2045.
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2019). Diffusion coefficients and volume changes of beef meat during osmotic dehydration in binary and ternary solutions. *Food and Bioproducts Processing*, 116, 10-19.
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2020). Osmotic Processing of Meat: Mathematical Modeling and Quality Parameters. *Food Engineering Reviews*, 12(1), 32-47.
- Djelveh, G., Gros, J.-B., & Emam-Djomeh, Z. (2001). Osmotic Dehydration of Foods in a Multicomponent Solution Part II. Water Loss and Solute Uptake in Agar Gels and Meat. *LWT-Food Science and Technology*, 34(5), 319-323.
- Doğu, S. Ö., & Sarıçoban, C. (2014). Et ve ürünlerinde dekontaminasyon yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, European Journal of Science and Technology*, 1(3), 92-99.
- Favetto, G., Chirife, J., & Bartholomai, G. (1981). A study of water activity lowering in meat during immersion-cooking in sodium chloride-glycerol solutions. I. Equilibrium considerations and diffusional analysis of solute uptake. *International Journal of Food Science & Technology*, 16(6), 609-619.
- Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Pérez-Alvarez, J., & Aranda-Catalá, V. (2004). Effect of sodium chloride, sodium tripolyphosphate and pH on color properties of pork meat. *Color Research & Application*, 29(1), 67-74.
- Filipović, V. S., Ćurčić, B. L., Nićetin, M. R., Plavšić, D. V., Koprivica, G. B., & Mišljenović, N. M. (2012). Mass transfer and microbiological profile of pork meat dehydrated in two different osmotic solutions. *Hemijaska industrija*, 66(5), 743-748.
- Filipović, V., Lević, L., Ćurčić, B., Nićetin, M., Pezo, L., & Mišljenović, N. (2014). Optimisation of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pork meat cubes in complex osmotic solution. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 20(3), 305-314.
- Filipović, I., Ćurčić, B., Filipović, V., Nićetin, M., Filipović, J., & Knežević, V. (2017). The effects of technological parameters on chicken meat osmotic dehydration process efficiency. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(1), e13116.
- Filipović, I., Markov, S., Filipović, V., Filipović, J., Vujačić, V., & Pezo, L. (2019). The effects of the osmotic dehydration parameters on reduction of selected microorganisms on chicken meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(10), e14144.
- Giannakourou, M. C., Stavropoulou, N., Tsironi, T., Lougovois, V., Kyra, V., Konteles, S. J., & Sinanoglou, V. J. (2020). Application of hurdle technology for the shelf life extension of European eel (*Anguilla anguilla*) fillets. *Aquaculture and Fisheries*.
- Gibbs, P., & Gekas, V. (1998). Water activity and microbiological aspects of foods: A knowledge base. *Leatherhead Food Research Association, Leatherhead, UK*, 1-6.
- Ibarz, A., & Barbosa-Canovas, G. V. (2014). *Introduction to food process engineering*: CRC Press.
- Jain, S., Verma, R., Murdia, L., Jain, H., & Sharma, G. (2011). Optimization of process parameters for osmotic dehydration

- of papaya cubes. *Journal of food science and technology*, 48(2), 211-217.
- Khan, M. R. (2012). Osmotic dehydration technique for fruits preservation-A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(2), 71-85.
- Knežević, V., Čurčić, B., Filipović, V., Nićetin, M., Lević, L., Kuljanin, T., & Gubić, J. (2013). Influence of osmotic dehydration on color and texture of pork meat. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 17(1), 39-42.
- Koprivica, G., Mišljenović, N., Lević, L., & Jevrić, L. (2010). Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of plum in sugar beet molasses. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 14(1), 27-31.
- Landim, A. P. M., Barbosa, M. I. M. J., & Júnior, J. L. B. (2016). Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidant capacity, color and texture of fruits and vegetables: a review. *Ciência Rural*, 46(10), 1714-1722.
- Lemus-Mondaca, R., Zambra, C., Marín, F., Pérez-Won, M., & Tabilo-Munizaga, G. (2018). Mass Transfer Kinetic and Quality Changes During High-Pressure Impregnation (HPI) of Jumbo Squid (*Dosidicus gigas*) Slices. *Food and Bioprocess Technology*, 11(8), 1516-1526.
- Lenart, A., & Flink, J. (1984). Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process. *International Journal of Food Science & Technology*, 19(1), 45-63.
- Lerici, C., Pinnavaia, G., ROSA, M. D., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of food science*, 50(5), 1217-1219.
- Li, M., Ye, B., Guan, Z., Ge, Y., Li, J., & Ling, C.-m. (2017). Impact of ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pretreatment on the quality of heat pump dried tilapia fillets. *Energy Procedia*, 123, 243-255.
- Ling, J. G., Xuan, X. T., Yu, N., Cui, Y., Shang, H. T., Liao, X. J., . . . Liu, D. H. (2020). High pressure-assisted vacuum-freeze drying: A novel, efficient way to accelerate moisture migration in shrimp processing. *Journal of food science*, 85(4), 1167-1176.
- Mancini, R., & Hunt, M. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100-121.
- Martins, M. G., Chada, P. S. N., & da Silva Pena, R. (2019). Application of pulsed-vacuum on the salt impregnation process of pirarucu fillet. *Food Research International*, 120, 407-414.
- Miano, A. C., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. (2017). Other Mass Transfer Unit Operations Enhanced by Ultrasound *Ultrasound: Advances for food processing and preservation* (pp. 369-389): Elsevier.
- Muguruma, M., Katayama, K., Nakamura, M., & Yamaguchi, M. (1987). Low-temperature osmotic dehydration improves the quality of intermediate moisture meats. *Meat Science*, 21(2), 99-109.
- Muñiz-Becerá, S., Méndez-Lagunas, L. L., & Rodríguez-Ramírez, J. (2017). Solute Transfer in Osmotic Dehydration of Vegetable Foods: A Review. *Journal of food science*, 82(10), 2251-2259.
- Najafi, A. H., Yusof, Y., Rahman, R., Ganjloo, A., & Ling, C. (2014). Effect of osmotic dehydration process using sucrose solution at mild temperature on mass transfer and quality attributes of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). *International Food Research Journal*, 21(2).
- Offer, G. (1988). The structural basis of water-holding in meat. Part I: General principles and water uptake in meat processing. *Developments in meat science*.
- Ojha, K. S., Keenan, D. F., Bright, A., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2016). Ultrasound assisted diffusion of sodium salt replacer and effect on physicochemical properties of pork meat. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(1), 37-45.
- Ozuna, C., Puig, A., García-Pérez, J. V., Mulet, A., & Cárcel, J. A. (2013). Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 84-93.
- Pan, Y., Zhao, L., Zhang, Y., Chen, G., & Mujumdar, A. S. (2003). Osmotic dehydration pretreatment in drying of fruits and vegetables. *Drying Technology*, 21(6), 1101-1114.
- Pearce, K. L., Rosenfold, K., Andersen, H. J., & Hopkins, D. L. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes—A review. *Meat Science*, 89(2), 111-124.
- Pezo, L. L., Čurčić, B. L., Filipović, V. S., Nićetin, M. R., Koprivica, G. B., Mišljenović, N. M., & Lević, L. B. (2013). Artificial neural network model of pork meat cubes osmotic dehydration. *Hemjska industrija*, 67(3), 465-475.
- Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, 19(1), 7.
- Pizarro-Oteiza, S., Briones-Labarca, V., Pérez-Won, M., Uribe, E., Lemus-Mondaca, R., Cañas-Sarazúa, R., & Tabilo-Munizaga, G. (2020). Enzymatic impregnation by high hydrostatic pressure as pretreatment for the tenderization process of Chilean abalone (*Concholepas concholepas*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 65, 102451.
- Poligné, I., Collignan, A., & Trystram, G. (2002). Effects of salting, drying, cooking, and smoking operations on volatile compound formation and color patterns in pork. *Journal of food science*, 67(8), 2976-2986.
- Poligné, I., Collignan, A., & Trystram, G. (2005). Processing smoked pork belly by immersion in a complex solution at high temperature. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 155-169.
- Qin, J., Wang, Z., Wang, X., & Shi, W. (2020). Effects of microwave time on quality of grass carp fillets processed through microwave combined with hot-air drying. *Food Science & Nutrition*, 8(8), 4159-4171.
- Ramya, V., & Jain, N. (2017). A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: An integrated approach. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12440.
- Raoult-Wack, A.-L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 5(8), 255-260.
- Rastogi, N., Angersbach, A., & Knorr, D. (2000). Evaluation of mass transfer mechanisms during osmotic treatment of plant materials. *Journal of food science*, 65(6), 1016-1019.
- Rastogi, N., Raghavarao, K., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 13(2), 48-59.
- Rastogi, N., Raghavarao, K., & Niranjana, K. (2005). Developments in osmotic dehydration *Emerging technologies for food processing* (pp. 221-249): Elsevier.



- Ruiz-Ramírez, J., Arnau, J., Serra, X., & Gou, P. (2005). Relationship between water content, NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles. *Meat Science*, 70(4), 579-587.
- Saito, K., HAMADA-SATO, N., Ahhmed, A., Kawahara, S., & Muguruma, M. (2010). Effects of osmotic dehydration sheets on freshness parameters of thunnus thynnus stored at cold temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(6), 1103-1120.
- Santchurn, S. J., Collignan, A., & Trystram, G. (2007). Impact of solute molecular mass and molality, and solution viscosity on mass transfer during immersion of meat in a complex solution. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1188-1201.
- Shi, J., & Xue, J. (2009). Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. *Advances in food dehydration*, 20.
- Šuput, D. Z., Lazić, V. L., Pezo, L. L., Lončar, B. L., Filipović, V. S., Nićetin, M. R., & Knežević, V. (2015). Effects of temperature and immersion time on diffusion of moisture and minerals during rehydration of osmotically treated pork meat cubes. *Hemijaska industrija*, 69(3), 297-304.
- Šuput, D., Lazić, V., Pezo, L., Gubić, J., Šojić, B., Plavšić, D., Lončar B, Nićetin M, Filipović V, Knežević, V. (2019). Shelf life and quality of dehydrated meat packed in edible coating under modified atmosphere. *Romanian Biotechnological Letters*, 24(3), 545-553.
- Taiwo, K. A., Eshtiaghi, M. N., Ade-Omowaye, B. I., & Knorr, D. (2003). Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics. *International Journal of Food Science & Technology*, 38(6), 693-707.
- Telis, V. R. N., Telis-Romero, J., Mazzotti, H., & Gabas, A. L. (2007). Viscosity of aqueous carbohydrate solutions at different temperatures and concentrations. *International Journal of food properties*, 10(1), 185-195.
- Tsironi, T. N., & Taoukis, P. S. (2017). Effect of storage temperature and osmotic pre-treatment with alternative solutes on the shelf-life of gilthead seabream (*Sparus aurata*) fillets. *Aquaculture and fisheries*, 2(1), 39-47.
- Villacís, M., Rastogi, N., & Balasubramaniam, V. (2008). Effect of high pressure on moisture and NaCl diffusion into turkey breast. *LWT-Food Science and Technology*, 41(5), 836-844.
- Wang, Z., Xu, W., Kang, N., Shen, Q., & Zhang, D. (2016). Microstructural, protein denaturation and water holding properties of lamb under pulse vacuum brining. *Meat Science*, 113, 132-138.
- Welti-Chanes, J., Vergara-Balderas, F., & Bermúdez-Aguirre, D. (2005). Transport phenomena in food engineering: basic concepts and advances. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 113-128.
- Zorba, Ö., & Şükrü, K. (2005). Yüksek basınç uygulamalarının et ve ürünleri kalitesi üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 16(1), 71-76.