

Dondurulmuş Gıdaların Çözündürülmesinde Alternatif Bir Yöntem: Ohmik Çözündürme

Ömer Faruk Çokgezme¹, Filiz İçier²

¹Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bornova, İzmir

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 04.03.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 27.05.2016

✉ *Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): ofarukcokgezme@gmail.com (Ö.F. Çokgezme)*

☎ 0 232 311 30 31 📠 0 232 342 75 92

ÖZ

Dondurulmuş gıdaların çözündürülmesi gıdanın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerin en az şekilde kaybın olması açısından kritik bir işlem olarak bilinmektedir. Geleneksel çözündürme işlemine alternatif olarak geliştirilen ohmik çözündürme işlemi gıda maddesinden elektrik akımının geçirilmesi ve gıdanın elektriksel direnç olarak kullanılmasıyla kısa sürede ve tekdüze çözünme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmalarda geleneksel çözündürme işlemine kıyasla işlem süresinin kısaldığı ve bazı kalite özelliklerindeki değişim üzerine daha olumlu sonuçlar verdiği ortaya koyulmuştur. Bu derleme çalışmasında dondurulmuş gıdaların ohmik çözündürülmesi amacıyla geliştirilen sistemlerin tasarım özellikleri ve işlemin çözünmüş gıdaların kalite özelliklerindeki değişim üzerine etkileri derlenmiş ve tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel, Isıtma, Tasarım, Kalite

An Alternative Method for Thawing of Frozen Foods: Ohmic Thawing

ABSTRACT

Thawing for frozen foods is known as a critical process in maintaining minimum loss in physical, chemical and microbiological properties of foods. Ohmic thawing process, which is developed as an alternative method to conventional thawing, has short processing time and provides uniform temperature distribution by the means of the passage of electrical current through foodstuff with electrical resistance. Studies on ohmic thawing have revealed that thawing time can be reduced, and some quality attributes can be improved in comparison to conventional thawing. In this present study, design properties of systems developed for the purpose of ohmic thawing and the effect of this process on changes of quality properties of frozen foods are reviewed.

Keywords: Electrical, Heating, Design, Quality

GİRİŞ

Gıdaların dondurulması gıda endüstrisinde önemli yeri olan muhafaza yöntemlerinden birisidir. Dondurma işlemi gıdanın kullanılabilir su içeriğinin düşürülmesi ve sıcaklığının 0°C'nin altına inmesi nedeniyle kimyasal reaksiyonların etkinliğinin ve dokulardaki yapısal bozulmaların azalmasına neden olur. Böylece ürünün depolama süresinin uzaması sağlanmaktadır [1-3].

Dondurulmuş gıdaların tüketime veya işlemeye hazır hale gelmesi için çözündürülmesi gerekmektedir. Bu aşamada özellikle endüstriyel ölçekli gıda işleme sırasında çözündürülecek miktarın fazla olması çözündürme işleminin önemini arttırmaktadır. Çözündürme dondurulmuş gıdaların mikrobiyal kalitesinin korunması açısından önemli bir işlem basamağıdır. Endüstride çözündürme işleminin düşük

sıcaklıklarda ve çabuk bir şekilde gerçekleştirilmesi arzulan bir durumdur. Geleneksel olarak çözündürme işleminin güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için FDA, USDA gibi kuruluşlar tarafından onaylanan yöntemlerde dondurulmuş ürünün +4°C'de (buzdolabı) muhafaza edilerek çözündürülmesi gerçekleştirilmektedir [4]. Geleneksel yöntemlerle çözündürme sırasında sürükleyici kuvvet olan sıcaklık farkının az olmasından dolayı işlem süresi uzamaktadır. Ayrıca çözünme gıda yüzeyinden merkez noktasına doğru gerçekleşmekte, gıda yüzeyi çözünmüş durumda iken merkez noktaları donmuş halde bulunabilmektedir. Çözünme işleminin uzaması ile mikrobiyal bozulmalar oluşabilmektedir [5, 6]. Geleneksel çözündürme işleminin büyük hacimlerde yapılması için kullanılan ekipmanların kapladığı alanının büyük olması veya küçük hacimlerde çözündürülmesi sırasında ise çözündürme kaybının artması gibi problemler geleneksel çözündürmenin bir diğer dezavantajı olarak bilinmektedir [7]. Çözünme sırasında oluşan suyun fazla olması nedeniyle suda çözünür proteinlerin uzaklaşması ve uzun süreli işlem nedeniyle hava ile teması artmasına bağlı olarak renk kaybının yaşanması geleneksel çözünmenin olumsuz yönleri olarak dikkat çekmektedir [8].

Geleneksel çözündürme sırasında ortaya çıkan sorunların çözümü için birçok araştırmacı alternatif çözündürme yöntemleri üzerinde araştırmalar yapmıştır. Bu yeni yöntemler yüksek basınç çözündürme, mikrodalga çözündürme, ultrason çözündürme, radyo frekans çözündürme ve ohmik çözündürme olarak sınıflandırılabilir [7, 9]. Ohmik çözündürme bu yöntemler arasında hacimsel çözünme kabiliyetinin yüksek olması, pratik uygulanabilirliğinin olması ve daha düşük maliyetli sistem gereksinimi vb. nedeniyle dikkat çekmektedir [9, 10]. Bu çalışmada ohmik çözündürmenin genel özellikleri, sistem tasarımı önemli faktörler, bu işlemin gıdaların çözündürülmesine uygulanması ve kalite özellikleri üzerine etkisi konusunda yapılan çalışmalar derlenerek tartışılmıştır.

OHMİK ÇÖZÜNDÜRME VE SİSTEM TASARIM ÖZELLİKLERİ

Geleneksel olarak gerçekleştirilen ısı işlemlerde işlemin gerçekleşmesi için bir ısıtma ortamının bulunması zorunludur. Isıl işlem sırasında öncelikle ısıtma ortamının yeterli enerjiyi sağlayacak duruma gelmesi gerekmektedir. Daha sonra gıda maddesinin içinde bulunduğu hazne ısınmakta en son olarak da gıdanın ısıtılması gerçekleşmektedir. Bu durum geleneksel ısı işlemlerin enerji verimliliğinin düşük olmasına neden olmaktadır. Bunun yanında diğer alternatif yöntemlerde de verilen enerjinin kontrollü bir şekilde tamamının gıda maddesine iletilemediği, gıda maddesinin konumuna bağlı olarak verilen enerjinin amaçlanan doğrultuda kullanılmadığı bilinmektedir [11].

Ohmik ısıtma ya da ohmik çözündürme yöntemi elektrik akımının direk olarak gıda içerisinden geçirilmesi ve gıdanın sahip olduğu elektriksel iletkenlik değerine bağlı olarak gıda içerisinde ısı jenerasyonunun gerçekleşmesi prensibine dayanmaktadır. Isınmanın tekdüze ve hacimsel olarak gerçekleşmesi ve hızlı bir şekilde

oluşması en önemli avantajları arasında olduğu araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir [10, 12-14]. Ohmik ısıtma dondurulmuş gıdaların çözündürülmesi amacıyla da uygulanabilmektedir. Ohmik çözündürme işlemi sırasında elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşüm oranının %90'ının üzerinde olduğu bilinmektedir [15]. Bu özelliği sayesinde ohmik ısıtma ya da çözündürme işlemi diğer ısıtma ya da çözündürme sistemlerinden ayrılmaktadır.

Genel olarak bir ohmik çözündürme ünitesi güç kaynağı, çözündürme hücresi, elektrotlar, mikroişlemci ve bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 1) [8]. Güç kaynağı işlem sırasında istenilen gerilimin ayarlanmasında ve sisteme sağlanmasında kullanılmaktadır. Güç ünitesinin kapasitesi, gerçekleştirilecek işlem ve kullanılacak voltaj gradyanlarına göre farklılık gösterebilmektedir. Çözündürme sırasında gıda maddesinin içinde bulunduğu çözündürme hücresi güvenli bir işlem için yalıtık malzemeden yapılmış olmalıdır. Ayrıca kullanılacak elektrotlar gıda maddesinde kalıntı bırakmayacak ve yüksek iletkenliğe sahip malzemeden seçilmelidir. Sistemde işlem kontrolünün sağlanması için özel izolasyonlu ısı eşler kullanılmaktadır. Sistemden alınan sıcaklık, akım ve gerilim verileri mikroişlemci ile işlenerek bilgisayar ortamına aktarılabilir. Bu sayede işlem süresi boyunca sistemde gerçekleşen değişimler değerlendirilerek işlem kontrolü sağlanabilmektedir [10].

Homojen ısı jenerasyonunun sağlanabilmesi durumunda, ohmik çözündürme işleminin oldukça hızlı gerçekleştiği ve enerji verimliliğinin yüksek olduğu bilinmektedir [10, 16, 17]. Ohmik çözündürmenin uygulanabilirliğinin incelendiği ilk çalışmalardan biri olan Ohtsuki'nin [18, 19] ohmik çözündürme işlemi için aldığı patent çalışmasında dondurulmuş ton balığı, sığır eti ve yumurta sarısının -3°C'den 3°C'ye çözündürülmesi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonrasında çözünmenin homojen olarak gerçekleştirildiği ve geleneksel çözündürme (daldırarak çözündürme) işlemine göre çözünme süresinin 1/3-1/4 oranında kısaltıldığı belirtilmiştir. Dondurulmuş karides bloklarının geleneksel çözündürülmesi (suya daldırma) ve ohmik çözündürülmesinin karşılaştırıldığı bir başka çalışmada [13], ohmik çözündürme yöntemi ile çözünme sırasında uzaklaşan besin maddelerinin miktarının, çözünme süresinin ve kullanılan enerji miktarının azaldığı belirtilmektedir. Ayrıca aynı çalışmada ohmik çözündürme sistemlerinin hem yatırım hem de işletim maliyetlerinin düşük olması nedeniyle karides işletmelerince kullanıldığı bildirilmiştir.

Çözünme sırasında elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi gıdanın sahip olduğu elektriksel iletkenlik değeri ile orantılıdır. Bu nedenle gıdaların elektriksel iletkenlik değerleri ohmik çözündürme açısından en önemli parametrelerden birisi olarak dikkat çekmektedir. Luzuriaga ve Balaban [20] donmuş karides ve dil balığının farklı sıcaklık (-16°C ve -4°C), farklı voltaj gradyanları (8.3-122 V/cm) ve farklı donma çözünme döngülerinde elektriksel iletkenlik değerlerini incelemiştir. Yapılan çalışmada spesifik iletkenlik (S/m)

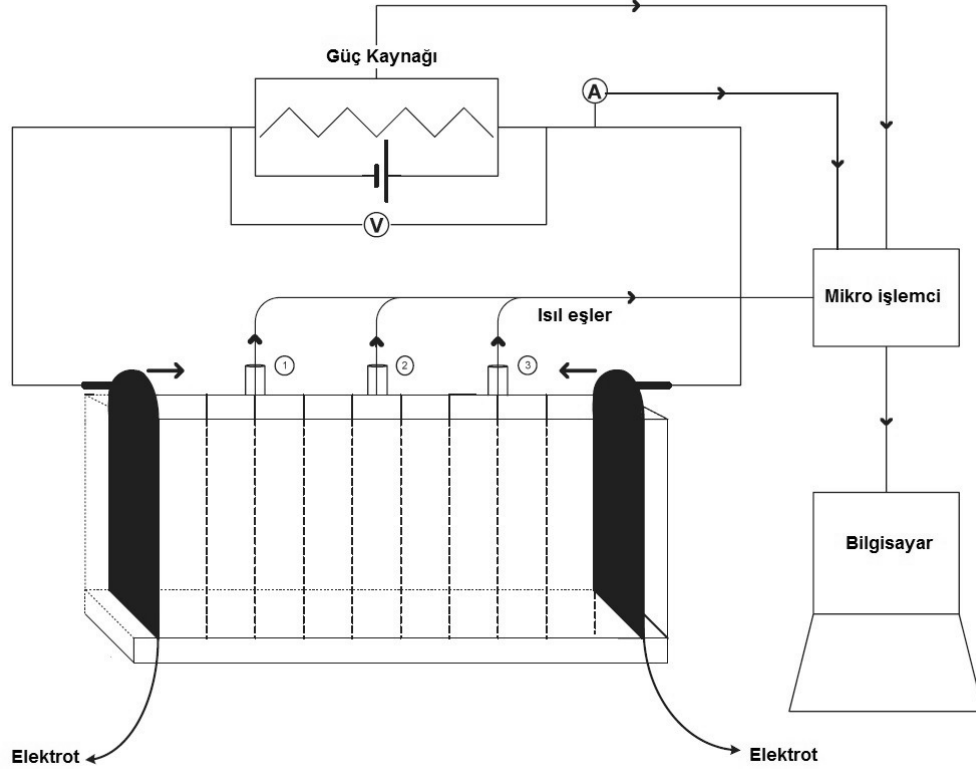
değerinin sıcaklığa kıyasla voltaj gradyanından daha az etkilendiği belirlenmiştir (Eşitlik 1);

$$SpC = a + b * V * L + c \exp(d/T + f/T^2) \quad (1)$$

Eşitlik 1 için verilen katsayıların her gıda maddesi için ayrı olmasının yanında aynı gıda maddesinin farklı donma-çözünme döngüleri sonrasında da önemli ölçüde değiştiği dikkati çekmektedir (Tablo 1).

Ohmik yöntem kullanılarak gerçekleştirilen ısıtım sırasında gıda maddesi ile kullanılan elektrotlar arasında temasın kesintisiz olarak elde edilmesi ve kontrolünün sağlanması kritik önem taşımaktadır. Donmuş deniz ürünlerinin çözündürülmesi sırasında sıvı ve katı su fazlarının elektriksel iletkenlik değerlerinin farklı olması nedeniyle bazı bölgelerde oluşabilecek ani sıcaklık yükselmelerinin önlenmesi amacıyla otomatik şekilde

ayarlanabilen bilgisayar destekli bir ohmik çözündürme ünitesi zorunluluğunun bulunduğu rapor edilmiştir [13, 24]. Yapılan çalışmalarda çözündürme sırasında eşzamanlı olarak alınan voltaj ve akım değerlerinin kaydedildiği ve işlem kontrolünün sağlandığı ünitelerin tasarlandığı dikkati çekmektedir [10, 21]. Roberts ve ark. [21] benzer şekilde tasarladıkları bilgisayar destekli ohmik çözündürme sistemi ile ani sıcaklık yükselmelerinin önlendiğini ve enerji bakımından daha verimli çözündürmenin sağlandığını saptamışlardır. Ohmik çözündürme ünitelerinde gıda ile elektrik kaynağı arasındaki mükemmel temasın sağlanmasına yönelik tasarım prensipleri kritik öneme sahiptir. Ohmik çözündürme sistemlerinin tasarımına ve işlem kontrolüne dayalı çalışmaların artması işlemin daha yaygın kullanılabilirliğini sağlaması açısından önem taşımaktadır.



Şekil 1. Ohmik çözündürme ünitesinin şematik gösterimi [5]

Tablo 1. Spesifik iletkenlik denklem katsayıları [23]

Örnek	a	b	c	d	f	R ²
Karides (Tiger)	-0.195	0.003	17020	12809	-4423800	0.83
Dil balığı	-0.913	0.003	121400	11458	-4223450	0.64
Karides Kabuğu (Tiger)	-0.005	0.001	41730	17518	-5860700	0.96
Beyaz Karides (dondurulmamış)	-0.314	0.009	9997000	10116	-3626240	0.95
Beyaz Karides (1. Donma/çözünme döngüsü)	-0.692	-0.001	9991000	6480	-2677500	0.94
Beyaz Karides (2. Donma/çözünme döngüsü)	0.314	0.011	10012000	18108	-5745180	0.81

OHMİK ÇÖZÜNDÜRMEİNİN DONDURULMUŞ GIDALARA UYGULANABİLİRLİĞİ

Dondurulmuş gıdaların çözündürülmesi işleminin ohmik çözündürme ile gerçekleştirildiği sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde ohmik çözündürme işleminin uygulanabilirliği dondurulmuş su ürünleri ve hayvansal ürünler üzerinde yoğunlaşmış iken, dondurulmuş sebze, meyve ve bunların ürünlerinin çözündürülmesi üzerine yapılan çalışmaların oldukça az olduğu dikkat çekmektedir. Genel olarak çözündürme etkinliği ve uygulanabilirliği üzerine az sayıda araştırma bulunmaktadır. Su ürünleri ve et ürünleri grubunda, genellikle dondurulmuş karides blokları, parça et ve kıyım gibi ürünlerin ohmik çözündürülmesi incelenmiştir. Yapılan değerlendirmelerde ohmik çözündürme işlemi uygulandığında geleneksel çözündürme işlemine göre çözünme süresinin önemli ölçüde kısaldığı, kalite açısından daha iyi ürünlerin elde edildiği ve enerji verimliliği sağladığı belirtilmiştir. Ancak çalışmalarda ohmik çözündürme işleminin gerçekleşmesi ve homojen bir ısınmanın sağlanabilmesi için elektrotlarla mükemmel temas zorunluluğuna dikkat çekilmiştir. Bazı araştırmacılar bu sorunun çözülmesi için ohmik çözündürme işlemini ürünlerin suya daldırılması (dolaylı temas) ile gerçekleştirmişler ve böylelikle çözünme sırasında temas sürekliliğini sağlamışlardır [22, 23, 24].

Ohmik çözündürme sırasında elektrotlar ile temasın sürekliliğinin sağlanması amacıyla araştırmacılar su ya da tuzlu su çözeltisi kullanmışlardır. Yapılan bir çalışmada, dondurulmuş et parçasının (10x10x10 cm) çözelti içerisinde ohmik çözündürülmesi (60-210 V, 60 Hz-60 kHz) incelenmiş ve çözündürme işleminin başarıyla gerçekleştiği belirtilmiştir [22]. Bir başka suya daldırarak gerçekleştirilen ohmik çözündürme çalışmasında ise su içerisinde karides bloklarının ohmik çözündürme işleminin başarıyla gerçekleştiği belirtilmiştir [21]. Dondurulmuş patates küplerinin ohmik çözündürülmesinin test edildiği bir başka çalışmada ise araştırmacılar çözelti (NaCl) içerisinde çözündürme işlemini gerçekleştirirken seçilen çözelti ile gıdanın elektriksel iletkenlikleri arasındaki ilişkinin önemli olduğunu, aksi takdirde çözeltinin aşırı ısınması sonucu tekdüze olmayan çözündürme profilinin elde edilebileceğini vurgulamışlardır [24]. Direkt temas ile gerçekleştirilen ohmik çözündürme araştırmalarında ise hem bitkisel [24, 25] hem de hayvansal kaynaklı [5, 6, 8, 23] donmuş ürünlerin başarılı bir şekilde çözündürülebildiği araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir.

OHMİK ÇÖZÜNDÜRMEİNİN KALİTE ÜZERİNE ETKİSİ

Ohmik çözündürme üzerine yapılan çalışmalarda araştırmacılar çözündürülmüş örneklerin fiziksel, dokusal, mikrobiyolojik ve duysal özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Dondurulmuş et örneklerinin ohmik çözündürülmesi sonrasında Yun ve ark [22] frekans değişimlerinin çözünme süresi üzerine önemli bir etkisinin olmadığını ancak uygulanan voltaj artışına bağlı olarak çözündürme kaybının arttığını ve su tutma kapasitesinin de azaldığını belirtmiştir. Dondurulmuş etin

ohmik çözündürülmesi (10, 20 ve 30 V/cm) sonrasında yapısal değişikliklerin incelendiği bir başka çalışmada ise kontrol amaçlı 25 C de 95% RH değerinde inkübatörde çözündürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ohmik çözündürme ile çözünme süresi sırasıyla 828, 703 ve 586 s, kontrol çözündürmenin ise 927 s olduğu rapor edilmiştir. Uygulanan voltaj gradyanına bağlı olarak çözünme sürelerinin arasındaki farkın birkaç dakika olmasına rağmen tekstürel özellikler üzerine etkili olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Genel anlamda dokusal özelliklere bakıldığında ise geleneksel çözündürmede kollajen fibril ağının daha çok bozulduğu ve deformasyonun daha fazla olduğu belirtilmiştir. Ayrıca donmuş et parçasının çözündürülmesi sırasında boyut ve voltaj gradyanının önemli olduğu örnek boyutunun artmasına bağlı olarak çözünme süresinin arttığı ve az da olsa sıcaklık homojenliğinin değiştiği belirtilmiş ayrıca voltaj gradyanının artmasıyla da a ve b değerlerinin azaldığı rapor edilmiştir [5, 16]. Ayrıca basınçlı ohmik çözündürme kombine sistemi uygulandığında ise donmuş etin elektriksel iletkenlik değeri 0.2-1.0 S/m aralığında değişirken ohmik çözündürme işleminde ise 0.0-0.6 S/m aralığında değiştiği bunun yanında pH değerinin kombine işlemde arttığı ancak ohmik çözündürmede ise azaldığı belirlenmiştir [16].

Ohmik çözündürmenin dondurulmuş karides bloklarının çözündürülmesinde kullanımı sonrasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda büyük karides bloklarının çözündürülmesinden sonra çözündürme yöntemleri arasında bir farkın bulunmadığı ancak küçük blokların çözündürme sonrasında geleneksel çözündürme ile daha yüksek nem içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Toplam aerobik bakteri yükü ve duysal özellikler açısından her iki çözündürme yöntemi arasında belirgin bir farkın bulunmadığı belirlenmiştir [23]

Dondurulmuş kıyım ve köfte örneklerinin çözündürülmesi sonrasında örneklerdeki değişimler de incelenmiştir. Her iki örnek grubu için de uygulanan voltajın artmasına bağlı olarak sürenin önemli ölçüde kısaldığı belirlenmiştir [6, 23]. Köfte örneklerinde voltajın artmasına bağlı olarak su tutma kapasitesi üzerine etkisi olmadığı ancak yağ oksidasyonunun arttığı belirtilmiştir [22]. Kıyım örneklerinde ise uygulanan voltajın artmasının renk değerlerinde (a*, b*, toplam renk değişimi ve kroma) artışa neden olduğu belirlenmiştir [6]. Bunun yanında voltaj artışının köfte örneklerinde pişirme kaybı ve su tutma kapasitesi üzerine bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ancak bu çalışmada uygulanan voltaj parametre olarak seçilmiş, ürünün çözünme sırasındaki boyut değişimleri dikkate alınmadığı için voltaj gradyanının sabit tutulup tutulmadığı belirtilmemiştir.

Seyhun ve ark. [25] toz halinde satılan ticari patates püresine %0.5, 0.75 ve 1.0 oranlarında NaCl ve belirli oranda su (%85) ile karıştırdıktan sonra örnekleri dondurmuş, ardından 10, 20 ve 30 kHz frekanslarda kare dalga şeklindeki alternatif akım ile çözündürülmesini incelemişlerdir. Tuz konsantrasyonundaki ve frekanstaki artışın patates püresinin elektriksel iletkenlik değerini arttırdığı böylece

çözünme süresinin kısaltıldığı belirtilmiştir. Örnek içerisindeki sıcaklık dağılımındaki farklılıklar incelendiğinde ise en düşük farkın %0.5 tuz konsantrasyonu ve 10 kHz ile elde edildiği belirlenmiştir. Bir başka çalışmada ise dondurulmuş patates küplerinin çözelti içerisinde ohmik çözündürülmesi (25 V/cm) sonrasında geleneksel çözündürme işlemine (+4°C) göre sertlik değerinin azaldığı ve sindirilebilirlik açısından daha kolay sindirilebilir ürün elde edilebildiği rapor edilmiştir. Ayrıca ohmik çözündürme sonrasında hem haşlanıp hem de haşlanmadan dondurulan patates küplerinde renk değerlerinin (L^* , a^* ve b^*) hammaddeye göre azaldığı belirtilmiştir [24]

SONUÇ

Gıda maddelerinin kalitesinin ve özelliklerinin korunması amacıyla uygulanan muhafaza yöntemlerinden birisi olan dondurma işlemi endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Dondurulmuş ürünlerin işleme sırasında takip eden işlemler ya da nihai tüketimi öncesinde çözündürülmesi gerekmektedir. Bu işlem sırasında dondurulmuş ürün miktarının yüksek olması tekdüze olmayan sıcaklık dağılımı, uzun işlem süresi ve mikrobiyal bozulma gibi sorunları ortaya çıkarmaktadır. Son yıllarda bu sorunların azaltılması veya ortadan kaldırılması için alternatif çözündürme sistemi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu yenilikçi çözündürme yöntemleri arasında elektriksel yöntemler dikkati çekmektedir. Özellikle işlem prensibi açısından geleneksel çözündürmeden farklı olarak elektromanyetik ışınımın gıdanın içine penetre olması ve hacimsel ısıtma sağlaması işlem süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır. Elektriksel yöntemlerden birisi olan ohmik çözündürme işleminin diğer elektriksel yöntemlere kıyasla daha düşük frekansta gerçekleştirilmesi hem penetrasyon derinliğini arttırmakta hem de daha kontrollü bir çözündürme sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda ohmik çözündürme işleminin su ürünleri, et ürünleri ve bazı bitkisel gıdaların çözündürülmesinde kullanıldığı, başarılı ve etkin çözündürme işlemi gerçekleştirilebildiği rapor edilmektedir. Bu çalışmada ohmik çözündürme üzerine yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalar değerlendirilmiş ve yönteminin kullanılabilirliği irdelenmiştir.

Yapılan araştırmalar değerlendirildiğinde ohmik ısıtmanın çözündürme işleminde uygulanabilir bir yöntem olduğu görülmektedir. Geleneksel çözündürme işlemine göre oldukça hızlı bir yöntem olan ohmik çözündürme yöntemi ile genel olarak renk, doku, çözündürme kaybı, pişirme kaybı, pH, yağ oksidasyonu ve dokusal özellikler üzerine de geleneksel çözündürmeye kıyasla daha olumlu etkilerinin olduğu araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Çözündürme işlemi ohmik çözündürme ile tekdüze gerçekleşirken, ani sıcaklık artışlarının olmaması ohmik çözündürme işleminin en önemli özelliklerinden birisidir. Öte yandan enerji verimliliğinin de yüksek olması ohmik çözündürmenin kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Ancak çözündürme sırasında homojen ve etkin bir işlemin gerçekleşmesi için elektrot temasının sürekli sağlanması gerekliliği ohmik çözündürme yönteminin sınırlayıcı dezavantajı olarak ortaya çıkmaktadır. İlerleyen

çalışmalarla bu sorunun giderilmesi, enerji analizi ile ohmik çözündürme yönteminin geliştirilmesi gereken yönlerinin belirlenmesi, ohmik çözündürme yönteminin endüstriye entegrasyonu için pilot çaptaki çözündürme sistemlerinde test edilmesi ile bu yöntemin kullanılabilirliğinin daha detaylı incelenmesi gereken alanlar olarak dikkat çekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu derleme çalışması, TÜBİTAK 115O207 nolu projede kurulumu tamamlanan alt yapı kullanılarak gerçekleştirilen "Dondurulmuş meyve suyu konsantrasyonuna ohmik çözündürme uygulanmasının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanmıştır. TÜBİTAK'a maddi desteğinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Jeremiah, L., 1996. *Freezing effects of food quality*. New York, New York, USA: Marcel Dekker Inc.
- [2] Rahman, M., Machado-Velasco, K., Sosa-Morales, M., Velez-Ruiz, J., 2009. Freezing Point: Measurement, Data, and Prediction. In M. Rahman (Ed.), *Food Properties Handbook*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 859 p.
- [3] Kiani, H., Sun, D-W., 2011. Water crystallization and its importance to freezing of foods: A review. *Trends in Food Science & Technology* 22(8): 407–426.
- [4] Anonymous., 2013. Big Thaw. from <http://www.fsis.usda.gov/wps/portal/food-safety-education/get-answer/food-safety-fact-sheets/safe-food-handling/the-big-thaw-safe-defrosting-methods-for-consumer/bigthaw2>
- [5] Bozkurt, H., İçier, F., 2012. Ohmic thawing of frozen beef cuts. *Journal of Food Process Engineering* 35(1): 16–36.
- [6] Çelebi, C., İçier, F., 2014. Ohmic thawing of frozen ground meat. *Journal of Food Process Engineering* 46: 121–125.
- [7] Bozkır, H., Baysal, T., Rayman Ergün, A., 2014. Gıda endüstrisinde uygulanan yeni çözündürme teknikleri. *Akademik Gıda* 12(3): 38–44.
- [8] İçier, F., İzzetoglu, G.T., Bozkurt, H., Ober, A., 2010. Effects of ohmic thawing on histological and textural properties of beef cuts. *Journal of Food Engineering* 99(3): 360–365.
- [9] Li, B., Sun, D.W., 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods - A review. *Journal of Food Engineering* 54(3): 175–182.
- [10] Baysal, T., İçier, F., Baysal, A.H., 2011. *Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri*. İzmir: Sidas Yayınları.
- [11] Cheng, Q., Koziel, S., Bandler, J., 2006. Simplified space-mapping approach to enhancement of microwave device models. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering* 16(5): 518–535.
- [12] Sarang, S., Sastry, S.K., Knipe, L., 2008. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering* 87(3): 351–356.

- [13] Balaban, M., Henderson, T., Teixeira, A., Otwell, W., 1994. Ohmic thawing of shrimp blocks. In *Developments in Food Engineering* (pp. 307–309). USA: Springer.
- [14] İçier, F., İlicali, C., 2005. Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. *Food Research International* 38(10): 1135–1142.
- [15] Ghnimi, S., Flach-Malaspina, N., Dresch, M., Delaplace, G., Maingonnat, JF., 2008. Design and performance evaluation of an ohmic heating unit for thermal processing of highly viscous liquids. *Chemical Engineering Research and Design* 86: 626–632.
- [16] Min, S-G., Hong, G-P., Chun, J-Y., Park, S.H., 2015. Pressure Ohmic Thawing: a Feasible Approach for the Rapid Thawing of Frozen Meat and Its Effects on Quality Attributes. *Food and Bioprocess Technology* 1–12.
- [17] Sastry, SK., Heskitt, BF., Sarang, SS., Somavat, R., Ayotte, K., 2014. Why Ohmic Heating? Advantages, Applications, Technology, and Limitations. In H. Ramaswamy, M. Marcotte, S. Sastry, & K. Abdelrahim (Eds.), *Ohmic Heating in Food Processing*. CRC Press.
- [18] Ohtsuki, T., 1991. Process for thawing foodstuffs. US Patent 5,034,236.
- [19] Ohtsuki, T., 1991. Process for thawing foodstuffs. U.S. patent 5,034,236.
- [20] Luzuriaga, DA., Balaban, MO., 1996. Electrical Conductivity of Frozen Shrimp and Flounder at Different Temperatures and Voltage Levels. *Journal of Aquatic Food Product Technology* 5(3): 41–63.
- [21] Roberts, JS., Balaban, MO., Zimmerman, R., Luzuriaga, D., 1998. Design and testing of a prototype ohmic thawing unit. *Computers and Electronics in Agriculture* 19(2): 211–222.
- [22] Yun, C., Lee, D., Park, J., 1998. Ohmic thawing of a frozen meat chunk. *Korean Journal of Food Science and Technology* 30(4): 842–847.
- [23] Roberts, J.S., Balaban, M.O., D.A., L., 2002. Comparison of quality attributes of ohmic and water immersion thawed shrimp. *Journal of Aquatic Food Product Technology* 11(2): 3–11.
- [24] Çokgezme, Ö., 2014. Küp Şeklinde Dondurulmuş Patateslerin Yeni Alternatif Yöntemlerle Çözündürülmesi. Bitirme Tezi. Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- [25] Seyhun, N., Ramaswamy, H.S., Zhu, S., Sumnu, G., Sahin, S., 2012. Ohmic tempering of frozen potato puree. *Food and Bioprocess Technology* 6(11): 3200–3205.
-