

## Gıda Endüstrisinde Uygulanan Yeni Çözündürme Teknikleri

Hamza Bozkır ✉, Taner Baysal, Ahsen Rayman Ergün

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

Geliş Tarihi (Received): 03.06.2014, Kabul Tarihi (Accepted): 21.09.2014

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): bozkirhamza@gmail.com (H. Bozkır)

☎ 0 232 311 30 44 📠 0 232 342 75 92

### ÖZET

Çözündürme teknikleri donmuş gıdaların işlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Gıda sanayisinde donmuş ürünler geleneksel olarak hava, su veya vakum altında yoğunlaşan buhar yardımıyla çözülmektedir. Gıdaların geleneksel yöntemler ile çözündürülmesinin bazı olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmaya yönelik yeni çözündürme teknikleri yüksek basınç çözündürme, mikrodalga çözündürme, radyo frekans çözündürme ve ohmik çözündürme uygulamalarıdır. Yüksek basınç çözündürmenin lezzet, renk ve besinsel değerlerde minimum değişiklikler oluşturduğu, çözünme süresini ve damlama kaybını azalttığı belirtilmiştir. Mikrodalga ve radyo frekans çözündürme gıda maddesinde hacimsel ısıtma oluşturmakta, böylelikle çözünme süresi önemli derecede kısaltılmakta ve sızıntı kaybı azalmaktadır. Ohmik çözündürme teknolojisi ise tekstürel özellikleri iyileştirmekte ve dokuda çok az değişiklik meydana getirmektedir. Gıda sanayinde yeni çözündürme teknikleri çözünme aşamasında gıdalarda aşırı ısınma oluşturmamakta, sızıntı kaybını ve çözünme süresini azaltmakta, besin öğeleri içeriği ile fonksiyonel ve duyu özelliklerini korumaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Çözündürme teknikleri, Yüksek basınç çözündürme, Mikrodalga, Radyo frekans, Ohmik çözündürme.

### Novel Thawing Techniques Applied in Food Industry

#### ABSTRACT

Thawing techniques have an important role in processing of frozen foods. Frozen products are generally thawed by means of using air circulation, water or condensing steam under vacuum in the food industry. Thawing foods by conventional techniques may have some disadvantages. Novel thawing techniques such as high pressure thawing, microwave thawing, radio frequency thawing and ohmic thawing are used to eliminate the disadvantages of conventional thawing. It is reported that high pressure thawing causes minimal changes on the flavor, color and nutritional values, and reduces thawing time and drip loss. Microwave and radio frequency thawing generate volumetric heat within the product. These systems significantly reduces thawing time and drip loss. Ohmic thawing technology improves textural properties and causes a very few changes in textures. Since novel thawing techniques applied in food industry do not constitute overheating during thawing foods, and could shorten thawing time. They provide high retention of food nutrients besides functional and sensory properties of foods.

**Key Words:** Thawing techniques, High pressure thawing, Microwave, Radio frequency, Ohmic thawing

#### GİRİŞ

Gıda maddelerinin; üretiminden tüketimine kadar geçen süreç içerisinde, değişik safhalarda, belirli sürelerde

muhafaza edilmesi zorunludur. “Düşük sıcaklık uygulaması” olarak adlandırılan muhafaza yöntemi içine giren “soğutarak ve dondurarak muhafaza” günümüzde,

gıda sanayinin hemen hemen bütün alanlarında en pratik olarak kullanılan gıda muhafaza yöntemidir [1].

Gıdanın donması içerdiği suyun buz kristallerine dönüşmesi anlamına gelmektedir. Çözülme ise gıdadaki buzun eriyerek sıvı faza geçmesidir. Konvansiyonel çözündürme kondüksiyonla ürün yüzeyinden merkezine doğru ısı transferi ile gerçekleşmektedir. Geleneksel çözünme yöntemlerinde çözünme hızı yüzey ısı transfer katsayısına, ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Gıda sanayinde donmuş ürünler geleneksel olarak 20°C'deki hava, su veya vakum altında yoğunlaşan buhar yardımıyla çözülme [2].

Geleneksel çözme işleminin birkaç dezavantajı vardır. Bunlar; çözme süresinin uzun oluşu, kullanılacak ekipmanlar için geniş alana ihtiyaç duyulması, işlem sırasında üründe mikroorganizmaların gelişebilmesi, küçük parçalar halinde dondurulan ürünlerin çözülmesi sırasında damlama kaybının oluşması, üründe yüzey oksidasyonunun meydana gelmesi, renk değişimlerinin ortaya çıkması ve ayrıca işlem sıvı içerisinde gerçekleştiği zaman fazla miktarda suyun tüketilmesidir [3].

Çözündürme prosesinde gıdanın aşırı ısınmasını ve aşırı su kaybını engellemek, çözündürme işlemi kısa sürede gerçekleştirmek başta gelen amaçtır. Bu amaç doğrultusunda gıda sanayinde hali hazırda kullanılan geleneksel çözündürme teknikleri yerine kullanılabilecek yeni çözündürme teknikleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda yüksek basınç çözündürme, mikrodalga çözündürme, radyo frekans çözündürme ve ohmik çözündürme gibi yeni çözündürme tekniklerinin öne çıktığı görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada; geleneksel çözündürme yöntemlerine alternatif olabilecek bu yeni teknikler ve kullanımları üzerine yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

## YÜKSEK BASINÇ ÇÖZÜNDÜRME

50-1000 MPa değerleri arasında uygulanan yüksek hidrostatik basınç; hammadde ve işlenmiş gıdalara sterilizasyon, raf ömrünü uzatma, enzimlerin ve proteinlerin denatürasyonu, organik maddelerin ekstraksiyonu, düşük sıcaklık dondurma-çözündürme ve kimyasal reaksiyonların kontrolünde kullanılmaktadır. Yüksek basınç (YB) uygulamaları lezzet, renk ve besinsel değerlerinde minimum değişiklikler sağlamaktadır. Yapılan araştırmalarda bu proseste kovalent bağlı moleküllerin genelde etkilenmediği ve bunun sonucunda büyük protein moleküllerinin denatürasyonu görülürken duyuşal ve besinsel kalite özelliklerindeki (renk, aroma bileşikleri ve vitaminler gibi) kayıpların az olduğu bildirilmektedir. Ayrıca yüksek basınç uygulaması çözündürme prosesi için ısı ihtiyaçlarını azaltmakta ve basınç, örneklerin her yerinde homojen olması nedeni ile ürünlerin görünüşüne, şekline ve boyutlarına zarar vermemektedir [4]. Bu gibi avantajlara sahip olmaları nedeniyle son yıllarda yüksek basınç dondurma ve çözündürme yöntemleri birçok araştırmacının yoğunlaştığı konular arasındadır.

Suyun faz diyagramında basıncın 210 MPa'a kadar artırılması durumunda suyun donma noktasının 0°C'den (0.1 MPa) -22°C'ye düştüğü, 210 MPa üzerindeki basınçlara çıkılması durumunda ise basıncın artışına bağlı olarak donma noktasının arttığı belirtilmektedir [5]. Bu da farklı yüksek basınç uygulamalarının gıda maddelerin çözündürme proseslerinde kullanılmasını sağlamaktadır. 100 MPa YB uygulamaları mikrobiyel gelişmeyi engellemektedir [6]. Yüksek basınç çözündürmenin en büyük avantajı uygulanan basınca bağlı olarak buz kristallerinin dokuyu zedelemeyen sıvı faza geçmesiyle damlama kaybını önemli derecede azaltmasıdır.

Yüksek basınç çözündürme proseslerinde iki farklı uygulama vardır. Bunlardan birincisi faz değişiminin sabit basınçta ısıtılarak sağlandığı basınç destekli çözündürme prosesi, ikinci ise faz değişiminin sabit basınç altında gerçekleştirildiği basınç etkili çözündürme prosesidir. Örneğin sıcaklığına, basınç oranına ve boyutuna bağlı olarak bu uygulamaların kombinasyonu gerçekleştirilebilir [7]. Basınç etkili çözündürme, çözündürme hızını artırmaktadır. Atmosferik basınçta erime entalpisi 333 kJ/kg iken, 193 MPa yüksek basınç uygulamasında ise gerekli entalpi 241 kJ/kg olarak hesaplanmıştır [8]. Faz değişimi sırasındaki yüksek ısı aktarımına paralel olarak çözündürme hızında artış olmaktadır.

Schubring ve ark. [9], çeşitli balık filetoalarını çözündürme amacıyla yüksek basınç çözündürme kullanmışlardır. Atmosferik basınçta çözündürme için gerekli zaman yüksek basınç (200 MPa) çözündürmeye göre yaklaşık olarak 2 kat fazla bulunmuştur. Yüksek basınç uygulanmış örneklerin konvansiyonel çözündürme uygulanan örneklerle kıyasla daha iyi duyuşal özellikler gösterdiği saptanmıştır. Zhu ve ark. [10], konvansiyonel hava, plaka ve sıvı nitrojenle dondurulmuş Atlantik Somon balığını çözündürmek amacıyla yüksek basınç çözündürme ve konvansiyonel çözündürme kullanmış olup, bu tekniklerin renk, damlama kaybı ve tekstür özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Yüksek basınç uygulamalarının 100, 150 ve 200 MPa'lık basınçlarda (20°C) gerçekleştiği, suda çözündürme işleminin ise 4°C ve 20°C sıcaklıkta yapıldığı bildirilmiştir. YB uygulamalarının çözündürme zamanları 100, 150 ve 200 MPa için sırasıyla 22.6±1.4, 18.1±1.4 ve 17.0±1.3 dakika, 20°C ve 4°C suda çözündürme için ise 26.6±2.1 ve 94.3±3.4 dakika olarak bulunmuştur. 150 MPa üzerindeki YB uygulamalarının sonucunda Somon balığının L\*, a\* ve b\* renk değerlerinde artışlar görüldüğü, 200 MPa'da ürünlerin tekstür yapısında önemli değişimler meydana geldiği belirtilmektedir.

Sığır etini çözündürme amacıyla kullanılan yüksek basınç çözündürmenin, çözünme süresini azaltırken, ürün kalitesinde olumsuz etkiler oluşturmadığı belirtilmektedir. Uygulanan basınç düzeyi ve süresine bağlı olarak çözündürme hızı ve ürün kalitesi değişebilmektedir. Ayrıca örnek büyüklüğü ve başlangıç sıcaklığının çözündürme hızını etkilemediği belirtilmektedir [4]. Yüksek basınç çözündürme Japonya'da balıkların çözünmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [11]. Dondurulmuş ton balık filetoaların atmosferik basınçta çözündürmeye göre yüksek basınç

çözündürme işleminde çözünme süresinin ve sızıntı kayıplarının çok düşük olduğu saptanmıştır [12]. Donmuş sığır etlerine 5°C'de 30 dakika süreyle 50–200 MPa arasında bir basınç uygulandığında 200 MPa basınçta örneklerin tamamen çözüldüğü, aynı şartlardaki örneklerin 5°C'de 30 dakika atmosfer basıncına maruz bırakıldığında ise kısmen çözünmüş oldukları saptanmıştır. YB uygulaması sonucunda en uygun çözünmenin 50 MPa basınçta olduğu ve oluşan sızıntı kaybının konvansiyonel çözüldürmeye göre daha az olduğu belirtilmiştir [13]. Domuz etinin çözüldürülmesinde uygulanan yüksek basınç çözüldürme damlama kaybını azaltırken, etin su tutma kapasitesini arttırdığı belirtilmektedir [14].

Yüksek basınç çözüldürme (600 MPa, 50°C) işleminin dondurulmuş çilekler için ısıtma işlemi prosesinde ön işlem olarak kullanılmıştır. Uygulama sonunda bu işlemin çilek dilimlerinin şeker alımını artırdığı aynı zamanda mikrobiyel yükte 2 logaritmik azalma olduğu saptanmıştır [15]. Tironi ve ark. [16], tarafından yapılan bir çalışmada levrek (*Dicentrarchus labrax*) balığının çözünmesinde yüksek basınç çözüldürme uygulaması kullanılmıştır. Balıkların çözüldürülmesinde kullanılan konvansiyonel çözüldürmeye alternatif metot olarak yüksek basınç çözüldürme tekniğinin kullanılabilceği ifade edilmiştir.

Yapılan diğer çalışmalarda da balık ve etlerin çözüldürmesinde kullanılan yüksek basınç etkili çözüldürmenin, çözünme süresini ve damlama kayıplarını önemli derece azalttığı saptanmıştır [4, 12-14, 17-20]. Böylelikle sızıntı kaybının azaltılıp, işlem süresinin kısaltılması yüksek basınç çözüldürme uygulamalarının en büyük avantajları olarak görülmektedir.

## MİKRODALGA ÇÖZÜNDÜRME

Mikrodalga enerjisi, 300 MHz ile 300 GHz aralığında frekansa sahip iyonize olmamış elektromanyetik ışınımdır [21]. Bir maddenin mikrodalga ışınım ile ısıtılması, o maddenin yüzeyine gelen mikrodalga bölgedeki ışınımını absorbe etmesine ve bünyesine aldığı bu elektromanyetik enerjinin etkisi sonucu polar moleküller arasında meydana gelen titreşim ve sürtünmeler sonucunda sıcaklığının artması prensibine dayanmaktadır [22, 23]. Gıda sanayinde mikrodalga ısıtma yöntemi; haşlama, pişirme, pastörizasyon, enzimlerin inaktive edilmesi, ön ısıtma, kurutma ve çözüldürme işlemlerinde kullanılmaktadır [24]. Mikrodalga (MD) ısıtma teknikleri ile gıda kısa bir süre içerisinde çözüldürülebilmektedir [25].

Et teknolojisinde mikrodalga ile çözüldürme yöntemi kullanım imkânı bulmuştur. Mikrodalga çözüldürme küçük parça etlerde hızlı çözüldürme sağlarken, endüstride daha büyük kütlelerdeki etlerin çözüldürülmesinde zorluklar yaşanabilmektedir. Çözüldürme homojen olmayıp etin bir kısmı pişerken bir kısmı donmuş halde kalmaktadır. Donmuş ürünün çözünme hızı; örneğin boyutuna, fiziksel özelliklerine ve elektromanyetik radyasyonun frekansına ve gücüne bağlı olarak değişmektedir [26]. Yapılan çalışmalarda

mikrodalga ısıtma tekniğinin bir ve iki boyutlu ısı transfer mekanizmaları çeşitli gıdalarda geliştirilmiştir [27-29]. Mikrodalga çözüldürme işleminin ölçümlerine ait çalışmaların Maxwell denkliği üzerine yoğunlaştığı bildirilmiştir. Etin MD ile çözüldürülmesinin modellemesini araştıran Farid ve Taher [29], çalışmalarında Maxwell denkliğini çözmeye gerek duymadan MD absorpsiyonun etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Sonuçta da MD çözüldürme tekniği ile kontrollü koşullarda yüzey sıcaklığı 10°C'yi geçmeyecek şekilde etin çözünebileceğini ve geleneksel yöntemle kıyasla çözüldürme süresinin beşte bir oranında daha az olduğunu bulmuşlardır.

Seyhun ve ark. [30], dondurulmuş patates püresi çözüldürülmesinde kızılötesi-mikrodalga kombinasyonunu ve sadece mikrodalga fırını kullanmışlardır. Mikrodalga ve kızılötesi güç yoğunluğu seviyesindeki artışa karşılık çözünme süresinin azaldığı saptanmıştır. Holzwarth ve ark. [31], yaptıkları çalışmada çileklerin konvansiyonel (4°C) çözüldürmenin 24 saate yakın sürede gerçekleşmesine karşın mikrodalga çözüldürme süresinin 10 dakika olduğu belirtilmektedir. Örneklerin antosiyanin ve askorbik asit içeriğinin mikrodalga çözüldürme ile daha iyi korunduğu belirtilmektedir. Baygar ve ark. [32], tarafında yapılan bir çalışmada donmuş hamsi ve çinekop balıklarına mikrodalga çözüldürme uygulanmıştır. Mikrodalga çözüldürme (180 W) prosesi için gerekli çözünme süresi 15 dakika konvansiyonel çözüldürme ise akan musluk altında (21±1°C) 120 dakika olarak bulunmuştur. Mikrodalga ön çözüldürme işleminin uygulandığı ve uygulanmadığı patates örnekleri yağda kızartıldıktan sonra, mikrodalga ön çözüldürmenin kızartma süresini kısaltmasından dolayı akrilamid seviyesini %10 azalttığı belirlenmiştir. Mikrodalga çözüldürmenin kalite özelliklerini daha iyi korunduğu belirtilmiştir [33]. Tereyağı, balık, meyveler ve et parçaları için mikrodalga çözüldürme zamanlarının dakikalarda gerçekleştiği ve damlama kaybının azaldığı belirtilmektedir. Çözüldürme prosesinde havanın düşük sıcaklıklarda olması mikrobiyel yükte azalmalar sağladığı veya mikrobiyel gelişmeyi durdurduğu belirtilmektedir [34, 24].

## RADYO FREKANS ÇÖZÜNDÜRME

Elektromanyetik spektrumda farklı frekansta bulunan radyo frekans da çözüldürme amacıyla kullanılmaktadır. Radyo frekans ısıtmanın prensibi gıdalardan iki elektrot arasında elektromanyetik enerjinin geçirilmesi prensibine dayanmaktadır. Radyo dalgaları elektromanyetik spektrumda 1-300 Mhz frekans aralığında bulunmaktadır [35]. Bu ısıtma mekanizması dielektrik ısıtma ve elektrik direnç ısıtmanın kombinasyonundan oluşmaktadır. Radyo frekans ısıtmada iyonik yer değiştirme öne çıkmakta ve buna bağlı olarak çözünmüş iyonlar su moleküllerinden daha fazla önem taşımaktadır [36]. Gıda sanayinde kullanım alanları; pastörizasyon, sterilizasyonu, sebzelerin haşlanması, kurutma, donmuş ürünlerin çözüldürülmesi ve enzim inaktivasyonudur [37].

Konvansiyonel ısıtmaya benzemeyen mikrodalga ve radyo frekans sistemleri ürün içinde hacimsel ısıtma

gerçekleştirmektedir [38]. Radyo frekans (RF) ısıtma, iyonik yer değiştirme ve dipol döndürmenin bir kombinasyonu olarak çalışmaktadır. Son yıllarda birkaç çalışmada RF teknolojisi gıdaların çözündürmesinde, özellikle ette, kullanılmıştır. Cathcart ve Parker [39], radyo frekans çözündürmeyi çeşitli paketlenmiş meyveler, sebzeler, balık ve yumurtalarda kullanmışlardır. Çözündürme için gerekli olan günler veya saatler yerine dakikalarda gerçekleşmiştir. Bengtsson [40], 4 cm kalınlığındaki yağsız eti RF(1 kW, 35 MHz) fırında çözündürerek damlama kaybının %0.5 den daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Jason ve Sanders [41], buz blokları (38x20x4 cm) arasına konulmuş balıkları RF (6 kW)'da çözündürerek merkez ve yüzey sıcaklıklarının sırasıyla 0°C ile 7°C, 9 ile 18°C aralığında görüldüğünü ifade etmişlerdir. Sanders [42], 30 kg'lık et bloklarını 90 dakika RF (25 kW) fırında çözündürerek damlama kaybının %1'den daha az olduğunu aynı çalışmada blok sığır ve domuz etlerinin RF'da (36-40 MHz) çözündürülmesinde sıcaklığının -2°C ile 19°C aralığında bulunduğunu ifade etmiştir. Başka bir çalışmada ise RF ile (27.17 MHz, 12.5 kW) dondurulmuş kümes hayvanların çözündürme sürelerinin günlerden 2 saate düşürüldüğü ve ağırlık kaybının % 7'lerden %0.5'e azaldığı belirtilmektedir [43].

Domuz kaslarının (35x10x11 cm) çözündürmesinde kullanılan RF (4 kW, 27.5 MHz) ısıtma ile örneklerin ortalama merkez ve yüzey sıcaklıklarının sırasıyla 4°C ve 13°C olduğu ifade edilmektedir [44]. Benzer bir çalışmada Farag ve ark. [45], pilot ölçekli RF ısıtmayı sığır et karışımlarının (yağsız et, 50/50 yağsız et/yağ ve yağ) çözündürülmesinde kullanmışlardır. Et blokların (4 kg) çözündürme sıcaklık değerlerinin -1 ile 5°C arasında amaçlanmış ve çözündürme sonrası blokların sıcaklık dağılımlarını konvansiyonel hava çözündürme ile karşılaştırmıştır. Yağsız eti çözündürmek için optimum RF koşullarının (400 W) sürekli olmayan bir sistemde ortalama sıcaklığın 0.2°C ve bu işlem için gerekli sürenin 35 dakika (20 dakika ısıtma, 10 dakika ara verme ve 15 dakika ısıtma) olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada konvansiyonel çözündürme için gerekli çözündürme süresinin 5 saat 20 dakika olarak bulunduğu böylece RF çözündürme ile sürenin önemli derecede kısaldığı tespit edilmiştir. Farag ve ark. [46], yavaş konvansiyonel hava ve hızlı RF ısıtmanın yağsız sığır ette (bütün, kıyma ve ezme) çözünme oranının su tutma özelliğine etkisini araştırmışlardır. RF çözündürmenin konvansiyonel yöntemle göre daha az damlama kaybı gösterdiği buna karşın konvansiyonel çözündürme sonucunda damlayan süzöntüdeki mikro besin öğelerinin miktarlarının yüksek olduğu saptanmıştır. Böylece radyo frekans çözündürme tekniğinin et ve et ürünlerin çözündürülmesinde kullanımının çözünme süresini ve damlama kaybını azalttığı sonucuna varılmıştır.

## OHMİK ÇÖZÜNDÜRME

Ohmik ısıtma teknolojisi genelde gıdalarda ısıl işlem amacıyla kullanılmaktadır. Ohmik ısıtmanın temel

prensibi gıda maddesiyle temas halinde olan elektrotlardan alternatif akım geçilmesi ve gıdanın direnç olarak kullanılmasındır [47]. Elektriksel direnci yüksek olan sıvı gıdalarda ohmik ısıtma ile hızlı ve homojen ısıtma oluşmaktadır. Gıda maddesinin elektrik akımına karşı gösterdiği dirençle elektriksel enerji ısı enerjisine dönüşmekte ve gıda ısınmaktadır [36]. Gıda sanayinde ohmik ısıtma yöntemi; haşlama, pişirme, pastörizasyon, enzimlerin inaktive edilmesi, sterilizasyon, ön ısıtma, kurutma işlemlerinde kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda ohmik ısıtma teknolojisi literatürde gıdaların çözündürülmesinde de kullanılmaktadır. Karidesin çözündürülmesinde kullanılan ohmik çözündürme tekniğinde konvansiyonel metoda göre kalite açısından genellikle benzer sonuçlar bulunduğu belirtilmektedir [48, 49, 50, 51, 52, 53, 54].

Miao ve ark. [55], donuk parçalanmış et ve Japon beyaz turpun çözündürmesi için gıdaları iki elektrot solüsyonuna ve alternatif akıma maruz bırakan bir ohmik çözündürme sistemini geliştirmiştir. Ohmik çözündürmede elektrot solüsyonların konsantrasyonuna ve çalışılan voltaj aralığına bağlı olarak çözündürme süresini ve sıcaklık dağılımını değiştirmektedir. Dondurulmuş tuzlu surimi küplerini ohmik çözündürme sisteminde çözündürerek çözündürme hızını ve surimi jel kuvveti sonuçlarını geleneksel çözündürme tekniğiyle kıyaslamıştır. Ohmik sistem bir çift elektrot ve elektrot solüsyonları (tuz) içeren bir sistemde, konvansiyonel çözündürme ise ohmik sistem ısıtılarak 0°C sıcaklıkta sabit tutularak yapılmıştır. Ohmik çözündürme 20 V, 60 Hz ve elektrot solüsyonların konsantrasyonları % 4 altında olan koşullarda üründe homojen sıcaklık dağılımının olduğu belirtilmektedir. Çözündürme hızı elektrot solüsyonların konsantrasyonu artışıyla linear bir ilişki oluşturduğu ve ayrıca ohmik çözündürmenin konvansiyonel çözündürmeden daha yüksek çözündürme hızı ve jel kuvveti gösterdiği ifade edilmiştir. Konvansiyonel ve ohmik çözündürme zamanları sırasıyla 580 dakika ve 59 dakika olarak bulunulmuştur [56]. Ohmik çözündürmenin sığır etinin (2.5x2.5x5 cm) doku ve tekstürel özelliklerine etkisini geleneksel çözündürme ile kıyaslanmıştır. Sığır etlerine ohmik çözündürmede -18 ile 10°C sıcaklık aralığında farklı voltaj gradyanları (10, 20 ve 30 V/cm) uygulanmıştır. Gerekli çözündürme sürelerinin sırasıyla 828, 703 ve 586 saniye olduğu, geleneksel çözündürme için gerekli sürenin ise kontrollü inkübatörde sabit sıcaklıkta (25°C, %95 RH) 927 s olduğu tespit edilmiştir. Sığır etlerinin çözündürülmesinde ohmik çözündürme teknolojisinin konvansiyonel çözündürmeye göre tekstürel ve dokuda çok az değişiklikler meydana getirdiği ifade edilmektedir [57].

Bozkurt ve İçier [58], farklı boyutlarda kesilmiş sığır etinde (2.5 x 2.5 x 5 cm; 2.5 x 5 x 5 cm; 5 x 5 x 5 cm) ohmik ısıtmanın çözündürmeye etkisini araştırmıştır. Örneklerin çözündürme aşamalarında merkez sıcaklıkları 10°C ile -18°C aralığındadır. Ohmik çözündürme; farklı voltaj gradyanlarında (10, 20 ve 30 V/cm) uygulanırken, konvansiyonel çözündürme ise kontrollü şartlarda yapılmıştır. Çözündürme metotlarına bağlı olarak homojen sıcaklık, çözündürme zamanı ve çözündürme kayıplarında önemli farklılıkların olduğu

ifade edilmektedir. Voltaj gradyanlarındaki artışa karşılık çözündürme zamanının azaldığı ve çözündürme kayıplarının değişmediği ifade edilmektedir. Hong ve ark. [59], domuz etinin fizikokimyasal özellikleri üzerine düşük voltaj ohmik çözündürmenin elektrot temas tipi ve tuzlu salamuranın etkisini araştırmışlardır. Elektrot temas tip ohmik sistemi, salamura ohmik çözündürmeden daha hızlı çözündürme hızına sahiptir. Çözündürme metotları için artan voltajlarda pH değerlerinde önemli farklılıklar oluşturamamıştır. Artan voltaj düzeylerinde damlama kayıplarının azaldığı, su tutma kapasitelerinin arttığı belirtilmiştir. Domuz etinin toplam renk farkı değerleri, daldırma metotta elektrot temas çözündürmeden daha yüksek bulunmuştur. Salamura çözündürme yüksek voltajlarda arzu edilirken, düşük voltaj düzeyleri de elektrot temas çözündürme göstermektedir.

## SONUÇ

Konvansiyonel çözündürme prosesinde çözme süresinin uzun oluşu, üründe mikroorganizmaların gelişebilmesi, damlama kaybının oluşması, üründe yüzey oksidasyonunun ve renk değişimleri meydana gelmesi gibi olumsuzluklar görülebilmektedir. Ancak yeni çözündürme tekniklerinde bu olumsuz etkiler ortadan kalkmaktadır. Yüksek basınç çözündürmenin lezzet, renk ve besinsel değerlerde minimum değişiklikler oluşturduğu, çözünme süresini ve damlama kaybını azalttığı belirtilmiştir. Mikrodalga ve radyo frekans çözündürmeler gıda maddesinde hacimsel ısıtma oluşturmada, çözünme süresi önemli derecede kısaltmakta ve sızıntı kaybı azalmaktadır. Ohmik çözündürme teknolojisi tekstürel özellikleri iyileştirmekte ve dokuda çok az değişiklikler meydana getirmektedir. Buna rağmen yeni çözündürme tekniklerinin birkaç dezavantajı bulunmaktadır. Uygulanan tekniklerde gıdaların çözündürülmesinde yaşanan zorluklar, ekipman ve işletim maliyetinin fazla olmasıdır. Ancak gıda sanayinde yeni çözündürme tekniklerinin çözünme aşamasında gıdalarda aşırı ısınma oluşturmaması, sızıntı kaybını ve çözünme süresini azaltması yönünden faydalı olacağı belirlenmiştir. Bu nedenle yüksek basınç, mikrodalga, radyo frekans ve ohmik çözündürme tekniklerinin geleneksel tekniklere alternatif olarak çeşitli gıdaların çözündürülmesinde kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Tülek, Y., Gökalp, H.G., Özkal, S.G., 1999. Gıdaların donma ve çözülme zamanlarının belirlenmesinde kullanılan tahmin metotları I. basit eşitlikler. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 5(1): 943-950.
- [2] Cemeröglü, B.S., 2011. Meyve ve Sebze işleme Teknolojisi. 1. Cilt. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti. Ankara, Türkiye, 79-95.
- [3] Konak, Ü.İ., Certel, M., Helhel, S., 2009. Gıda sanayisinde mikrodalga uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 4(3): 20-31.

- [4] Zhao, Y., Flores, R.A., Olson, D.G., 1998. High hydrostatic pressure effects on rapid thawing of frozen beef. *Journal of Food Science* 63(2): 272-5.
- [5] Bridgman, P.W., 1911. Water in the liquid and five solid forms under pressure. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 47: 441-558.
- [6] Hite, B.H., 1899. The effect of pressure in the preservation of milk. *Bulletin of the West Virginia Agricultural Experiment Station of Morgantown* 54: 15-35.
- [7] Knorr, D., Schlueter, O., Heinz, V., 1998. Impact of high hydrostatic pressure on phase transition of foods. *Food Technology* 52: 42-45.
- [8] Karino, S., Hane, H., Makita, T., 1994. Behavior of water and ice at low temperature and high pressure. In *High Pressure Bioscience*, Edited by Hayashi, R., Kunugi, S., Shimada, S., Suzuki, A., Kyoto: San-Ei Suppan Co. pp. 2-9.
- [9] Schubring, R., Meyer, C., Schlüter, O., Boguslawski, S., Knorr, D., 2003. Impact of high pressure assisted thawing on the quality of fillets from various fish species. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 4: 257-267.
- [10] Zhu, S., Ramaswamy, H., Simpson, B., 2004. Effect of high-pressure versus conventional thawing on color, drip loss and texture of Atlantic salmon frozen by different methods. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 37: 291-299.
- [11] Mandava, R., Dilber, E., Fernandez, I., 1995. Meat and meat products: use of high pressure treatment. *Meat Focus Int.* April: 147-151.
- [12] Tironi, V., LeBail, A., De-Lamballerie, M., 2007. Effects of pressure shift freezing and pressure assisted thawing on sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality. *Journal of Food Science* 72(7): 381-387.
- [13] Deuchi, T., Hayashi, R., 1992. High pressure treatment at subzero temperature: application to preservation, rapid freezing and rapid thawing of foods. In *Balny, C., Hayashi, R., Heremans, K., Masson, P., High pressure and biotechnology*. Montrouge, France, Colloque INSERM: Joh Libbey Eurotext Ltd. pp. 353-355.
- [14] Okamoto, A., Suzuki, A., 2001. Effects of high hydrostatic pressure-thawing on pork meat. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technol.* 48(12): 891-898.
- [15] Eshtiaghi, M.N., Knorr, D., 1996. High hydrostatic pressure thawing for the processing of fruit preparations from frozen strawberries. *Food Biotechnology* 10(2): 143-148.
- [16] Tironi, V., Lamballerie, M.D., Le-Bail, A., 2010. Quality changes during the frozen storage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) muscle after pressure shift freezing and pressure assisted thawing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11: 565-573.
- [17] Yaldagard, M., Mortazavi, S.A., Tabatabaie, F., 2008. The principles of ultra high pressure technology and its application in food processing/preservation: A review of microbiological and quality aspects. *African Journal of Biotechnology* 7(16): 2739-2767.

- [18] Rouillé, J., Le Bail, A., Ramaswamy, H.S., Leclerc, L., 2002. High pressure thawing of fish and shellfish. *Journal of Food Engineering* 53: 83-88.
- [19] Chevalier, D., Le Bail, A., Chourot, M.J., Chantreau, P., 1999. High pressure thawing of fish (whiting): influence of the process parameters on drip losses. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 32: 25-31.
- [20] LeBail, A., Chevalier, D., Mussa, D.M., Ghoul, M., 2002. High pressure freezing and thawing of foods: a review. *International Journal of Refrigeration* 25: 504–513.
- [21] Schiffman, R.F., 1986. Food product development for microwave processing. *Food Technology* 40(6): 94-98.
- [22] Platts, J., 1991. Microwave Ovens. Peter Pergrinus Ltd. London UK.
- [23] Stephen, J.H., 1997. Microwave Enhanced Chemistry (Fundamentals, sample preparation and Application). American Chemical Society, Washington DC., USA.
- [24] İçier, F., Yıldız, H., 2005. Elektriksel yöntemlerin gıdaların kalite özellikleri üzerine etkileri. *Gıda Dergisi* 30(4): 255-260.
- [25] Nijhuis, H.H., Torringa, H.M., Muresan, S., Yuksel, D., Leguijt, C., Kloek, W., 1998. Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetable. *Trends in Food Science & Technology* 9: 13-20.
- [26] Akkari, E., Chevallier, S., Boillereaux, L., 2005. A 2D non-linear "grey-box" model dedicated to microwave thawing: Theoretical and experimental investigation. *Computers & Chemical Engineering* 30: 321–328.
- [27] Lee, M.Z.C., Marchant, T.R., 1999. Microwave thawing of slabs. *Applied Mathematical Modelling* 23: 363-383.
- [28] Nykvist, W.E., Decarreau, R.V., 1976. Microwave meat roasting. *Journal of Microwave Power* 11(1): 3–24.
- [29] Taher, B.J., Farid, M.M., 2001. Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 40: 379–389.
- [30] Seyhun, N., Ramaswamy, H., Summu, G., Sahin, S., Ahmed, J., 2009. Comparison and modeling of microwave tempering and infrared assisted microwave tempering of frozen potato puree. *Journal of Food Engineering* 92: 339–344.
- [31] Holzwarth, M., Korhummel, S., Carle, R., Kammerer, D.R., 2012. Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on color polyphenol and ascorbic acid retention in strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Food Research International* 48: 241–248.
- [32] Baygar, T., Özden, Ö., Üçok, D., 2004. Dondurma ve çözündürme işleminin balık kalitesi üzerine etkisi. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences* 28(1): 173-178.
- [33] Tuta, S., Palazoğlu, T.K., Gökmen, V., 2010. Effect of microwave pre-thawing of frozen potato strips on acrylamide level and quality of French fries. *Journal of Food Engineering* 97: 261–266.
- [34] Richarson(Ed). Woodhesad Publication Limited, CRC Press, Cambridge CH. 10, P 197.
- [35] Marra, F., Zhang, L., Lyng, J.G., 2009. Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. *Journal of Food Engineering* 91: 497–508.
- [36] Baysal, T., İçier, F., Baysal, A.H., 2011. Güncel ısıtma Yöntemleri. Sıdaş medya ltd. Şti, İzmir, Türkiye, s.1-348.
- [37] Çakmak, H., Tavman, Ş., 2011. Radyo Frekans sistemi ve gıda sanayinde uygulamaları. *Gıda Dergisi* 36(6): 365-372.
- [38] Byrne, B., Lyng, J.G., Dunne, G., Bolton, D.J., 2010. Radio frequency heating of comminuted meats - Considerations in relation to microbial challenge studies. *Food Control* 21: 125–131.
- [39] Cathcart, W.H., Parker, J.J., 1946. Defrosting frozen foods by high-frequency heat. *Journal of Food Science* 11: 341–344.
- [40] Bengtsson, N., 1963. Electronic defrosting of meat and fish at 35 and 2450 MHz a laboratory comparison. *Food Technology* 17(10): 1309–1312.
- [41] Jason, A.C., Sanders, H.R., 1962. Dielectric thawing of fish. *Food Technology* 16(6): 101–112.
- [42] Sanders, H.R., 1966. Dielectric thawing of meat and meat products. *Journal of Food Technology* 1: 183–192.
- [43] Anonymous M.C., 1992. Thawing frozen poultry. In: Dielectric Heating for Industrial processes. UIE Tour Atlantique, Codex 06, Paris pp. 110-113.
- [44] Pizza, A., Pedrielli, R., Busetto, M., Bocchi, M., Spinelli, R., 1997. Use of radiofrequencies in the meat processing industry. Effects on the quality characteristics of meat and cooked meat products. *Industria Conserve* 72: 122–133.
- [45] Farag, K.W., Lyng, J.G., Morgan, D.J., Cronin, D.A., 2011. A comparison of conventional and radio frequency thawing of beef meats: effects on product temperature distribution. *Food Bioprocess Technol.* 4: 1128–1136.
- [46] Farag, K.W., Duggan, E., Morgan, D.J., Cronin, D.A., Lyng, J.G., 2009. A comparison of conventional and radio frequency defrosting of lean beef meats: Effects on water binding characteristics. *Meat Science* 83: 278–284.
- [47] Eroğlu, E., Yıldız, H., 2011. Gıdaların ozmotik kurutulmasında uygulanan yeni tekniklerin enerji verimliliği bakımından değerlendirilmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 6(2): 41-48.
- [48] Mizrahi, S., Kopelman, I.J., Naveh, D., 1983. Electroconductive thawing by liquid contact. *Journal of Food Technology* 18: 171–176.
- [49] Henderson, J.T., 1993. Ohmic thawing of frozen shrimp: preliminary technical and economic feasibility. Master of Science Thesis, University of Florida.
- [50] Roberts, J., Balaban, O.M., Luzuriaga, D., 1996. Automated ohmic thawing of shrimp blocks. In Proceedings of 19th and 20th Annual Conferences Tropical and Subtropical Seafood Science and Technology Safety of the Americas, pp. 72–81.
- [51] Luzuriaga, D.A., Balaban, M.O., 1996. Electrical conductivity of frozen shrimp and flounder at different temperatures and voltage levels. *Journal of Aquatic Food Product Technology* 3(5): 41–63.

- [52] Yun, C.G., Lee, D.H., Park, J.Y., 1998. Ohmic thawing of frozen meat chunk. *Journal of Food Science and Technology (Korean)* 30(4): 842–847.
- [53] Roberts, J.S., Balaban, M.O., Zimmerman, R., Luzuriaga, D., 1998. Design and testing of prototype ohmic thawing unit. *Computers and Electronics in Agriculture* 19: 211–222.
- [54] Roberts, J., Balaban, O.M., Luzuriaga, D.A., 2002. Comparison of quality attributes of ohmic and water immersion thawed shrimp. *Journal of Aquatic Food Product Technology* 11: 3–11.
- [55] Miao, Y., Kawai, M., Horibe, K., Noguchi, A., 2003. Ohmic thawing of frozen food. Proceedings of the 4<sup>th</sup> Annual Meeting of Japan Society for Food Engineering, Otsu-city, Japan, p.30.
- [56] Miao, Y., Yue chen, J., Noguchi, A., 2007. Studies on the ohmic thawing of frozen surimi. *Food Science and Technology Research* 13(4): 296-300.
- [57] İcier, F., Turgay İzzetoglu, G., Bozkurt, H., Ober, A., 2010. Effects of ohmic thawing on histological and textural properties of beef cuts. *Journal of Food Engineering* 99: 360–365.
- [58] İcier, F., Bozkurt, H., 2012. Ohmic thawing of frozen beef cuts. *Journal of Food Process Engineering* 35: 16–36.
- [59] Hong, G.P., Min, S.G., Ko, S.H., Shim, K.B., Seo, E.J., Choi, M.J., 2007. Effects of brine immersion and electrode contact type low voltage ohmic thawing on the physico-chemical properties of pork meat. *Journal of Food Process Engineering* 27: 416-423.
-