

ULTRASONUN GIDALARDA VE ENZİMLERİN İNAKTİVASYONUNDA KULLANILMASI

Songül Şahin Ercan, Çiğdem Soysal*

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

Geliş tarihi / Received: 30.12.2010

Düzeltilerek Geliş tarihi / Received in revised form: 08.04.2011

Kabul tarihi / Accepted: 28.04.2011

Özet

Geleneksel ısı işlem uygulamaları sırasında gıdanın maruz kaldığı sıcaklığın istenmeyen kalite değişimlerine yol açması nedeniyle son yıllarda araştırmalar ısısal olmayan gıda koruma yöntemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Son on yıldır ultrasonun gıda muhafazasında geleneksel yöntemlerle birlikte veya tamamen geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılması konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu metod işlem süresini ve enerjiyi azaltıp gıdaların raf ömrünü uzattığı için bilim adamlarının dikkatini çekmektedir. Bu metotta 20 kHz veya daha yüksek sonik dalgaların açığa çıkardığı enerji kullanılır. Ultrasonun etkisizleştirme işlemi genellikle kavitasyon mekanizması ile açıklanmıştır. Ultrason ısı ve /veya basınçla birlikte kullanıldığında gıdada bulunan mikroorganizmaların ve enzimlerin inaktivasyonunda sinerjistik etki oluşturmaktadır. Bu çalışmada ultrasonun inaktivasyon mekanizması ile gıdalarda ve enzimlerin inaktivasyonunda kullanımı hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar kelimeler: Ultrason, gıda, inaktivasyon, enzim

USE OF ULTRASOUND ON FOODS AND ENZYME INACTIVATION

Abstract

In recent years, researches have concentrated on nonthermal food preservation techniques because of the unwanted quality changes of foods exposed to high temperature during traditional thermal treatments. In the last decade studies have been performed on the use of ultrasound for food preservation with traditional methods or as an alternative to traditional methods. This method attracts scientists because it can reduce processing time and energy and prolongs shelf life of foods. In this method energy, that is extracted from sonic waves at 20 kHz or above is used. Inactivation process of ultrasound is generally expressed by cavitation mechanism. When ultrasound is used with heat and/or pressure, it generates a synergistic effect on the inactivation of enzymes and microorganisms found in foods. In this study, an information about inactivation mechanism of ultrasound and its application on foods and enzyme inactivation was given.

Keywords: Ultrasound, food, inactivation, enzyme

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ aykac@gantep.edu.tr ☎ (+90) 342 317 2307 ☎ (+90) 342 360 1105

GİRİŞ

Gıda sanayisinde enzimlerin inaktivasyonu ve mikroorganizmaların zararlı etkilerinin ortadan kaldırılmasının gıda kalitesi ve halk sağlığı açısından önemi büyüktür. Isıl işlemin diğer gıda koruma metodlarına kıyasla, enzimlerin ve mikroorganizmaların yıkıcı etkisinden dolayı uzun süreli koruma sağlamak ve gıda güvenliğini garanti altına almak açısından önemli avantajları vardır. Ancak ısı işlem, gıdaların duyuşal özelliklerine zarar verirken, kimyasal özelliklerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Isıl işlemin bu istenmeyen etkilerini ortadan kaldırmak için ısısal olmayan yeni gıda koruma metodları geliştirilmiştir. Ultrason da ısısal olmayan bir gıda koruma metodu olarak çalışılmaktadır (1). Ultrasonun ısıleme kıyasla avantajları; gıdanın duyuşal ve kimyasal özelliklerindeki kaybın çok daha az olması, kullanılan zamandan tasarruf edilmesi ve daha yüksek oranda enzim ve mikroorganizmanın etkisizleştirilmesini sağlamasıdır (2).

İnsan kulağının duyabildiği ses dalga aralığı 16 Hz ile 18 kHz'dir. Ultrason ise 20 kHz veya daha yüksek sonik dalgalarla üretilen, insan kulağının algılayamadığı, bir enerji şeklidir. Ultrasonik dalgalar uygulandığı sistemde mekanik titreşimler oluştururlar. Bu dalgalar sıvı bir alana uygulandığı zaman ortamda yayılarak bir basınç oluşturur. Bunun sonucunda sıvıda küçük baloncuklar oluşur. Bu baloncuklar belli bir hacme ulaştığında daha fazla enerjiyi içlerinde hapsedemediklerinden patlarlar. Bu olaya "kavitasyon" denir. Bu olaya sebep olan baloncuklarda, patlama anında yapılarında çok yüksek derecede ısı (yaklaşık olarak 5000 K) ve basınç (tahminen 500 MPa) oluşur (3). Bu olayın enzimleri üç mekanizma ile etkisizleştirdiği ileri sürülmektedir; (a) enzimin kavitasyondan kaynaklanan yüksek sıcaklık ile inaktive olması, (b) suyun sonolize olması ile serbest radikallerin açığa çıkması, (c) sonik dalgaların şoku ile açığa çıkan mekanik güç (4).

ULTRASONUN GIDA TEKNOLOJİSİNDE UYGULANMASI

Ultrason kullanım açısından genelde düşük enerjili uygulama ($<1 \text{ Wcm}^{-2}$; $>100 \text{ kHz}$) ve yüksek enerjili uygulama ($10\text{-}1000 \text{ Wcm}^{-2}$; $20\text{-}100 \text{ kHz}$) olarak ikiye ayrılır. Düşük enerjili ultrasonik uygulamada

açığa çıkan enerjinin çok düşük olmasından dolayı, dalganın geçtiği materyalde hiçbir fiziksel ve kimyasal değişim gözlenmez. Düşük enerjili ultrasonik uygulama en yaygın olarak gıdaların fizikokimyasal özelliklerinin (sertliği, olgunluğu, kompozisyonu, parçacık büyüklüğü, asitliği vb.) belirlenmesinde kullanılır (5). Yüksek enerjili ultrasonik uygulama ise gıdalarda mikrobiyal ve enzimatik inaktivasyon amaçlı kullanılır. Yüksek enerjili ultrasonik uygulama, gıdayı fiziksel, kimyasal ve mekanik açıdan etkilerken düşük enerjili ultrasonik uygulamada böyle bir etki görülmez (6, 7).

Ultrasonik dalgaların gıdalar üzerine etkisi birçok alanda çalışılmıştır; fermantasyon, kurutma, dondurulmuş gıdalar, filtrasyon, ekstraksiyon, kristalizasyon, etin yumuşatılması, mikroorganizmaların yok edilmesi ve enzimlerin etkisizleştirilmesi örnek olarak sayılabilir. Düşük enerjili ultrasonik dalgaların yoğurt fermantasyonuna etkisini incelemek amacıyla üç farklı yol izlenmiştir. Bunlardan birinde yoğurt kontrol amaçlı normal şekilde üretilmiştir. Diğerinde, süte yoğurt kültürü ekmeden önce ultrason uygulanmıştır. Son gruba ise süte yoğurt kültürü eklendikten sonra, ancak fermantasyondan önce ultrason uygulanmıştır. Fermantasyon sonunda üç ürün karşılaştırılmış ve yoğurt kültürü ekmeden önce ultrason uygulanan ürünün su tutma kapasitesinin arttığı, serum miktarının azaldığı belirlenmiştir. Yoğurt kültürü eklendikten sonra ultrason uygulanan numunedeki oluşan yoğurdun ise fermantasyon süresinin 0.5 saat kadar azaldığı, su tutma kapasitesinin arttığı ama serum miktarında herhangi bir yararlı etkinin olmadığı belirlenmiştir (8). Ayrıca bir başka çalışmada, ultrason işleminin yoğurtların su tutma kapasitesinin artırılmasında geleneksel homojenizasyonla karşılaştırıldığında etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği belirlenmiştir (9).

Yüksek enerjili ultrason uygulamanın, organik bileşiklerin bitki ve tohumdan ekstraksiyonunu olumlu yönde etkilediği saptanmıştır (10). Ultrasonun mekanik etkisinin daha fazla çözücü hücre materyalden nüfuz etmesini sağlayıp kütle transferini geliştirdiği belirlenmiştir. Ultrasonik işlem nane yaprağı, tarhun, lavanta, sarımsak ve limon yaprağı gibi bitki kaynaklı uçucu yağların ekstraksiyon ile elde edilmesinde kullanılmıştır (11, 12).

Ultrasonun filtrasyon üzerine etkisi de incelenmiş ve %50 su içeren bir karışımın nem miktarının kısa bir sürede %25'e düştüğü ve normal filtrasyonla nem miktarının %40 seviyelerine indiği görülmüştür (13). Ultrasonik dalgaların titreşim enerjisi yardımı ile filtre edilecek solüsyonda bulunan parçacıkların homojen bir şekilde dağılmasına ve filtrede bulunan gözeneklerin açık kalmasına yardımcı olduğu belirlenmiştir (14). Bunun yanı sıra, yüksek enerjili ultrason uygulamanın kristalizasyon işleminde kristal oluşumunu hızlandırdığı ispatlanmıştır (13, 15).

Kurutma işlemi gıda sanayisinde önemli yer tutmaktadır. Yüksek ısı ile kurutma yapılan gıdaların renginde, tadında ve besin değerlerinde kayıplar görülmüş ve yeni alternatif metotlara başvurulmuştur (16). Ultrasonik dalgalar akustik kurutma amaçlı da kullanılmaktadır. Konvektif ve akustik kurutma metotlarının havuçta bulunan vitamin C ve β karoten miktarı üzerine etkisi incelenmiş ve akustik işleme tabi tutulan havuçta bulunan vitamin C ve β karoten miktarındaki kaybın çok daha az olduğu belirlenmiştir (17). Buna ek olarak, muzun ultrasonik dalgalar yardımı ile kurutulmasında kurutma süresinde %11'e kadar düşüş gözlemlenirken, bu sonuç ultrasonik işlemin daha fazla miktarda suyun daha kısa sürede meyveden uzaklaşması ile açıklanmıştır (18).

Ultrasonun dondurma işlemlerinde ürünün donması için gerekli süreyi kısaltıp, donmuş ürünün kalitesini artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, yüksek enerjili ultrasonik uygulamanın kristalizasyon işlemini birçok yönden etkilediği saptanmıştır. Bunlar (a) kristal çekirdeklerinin oluşumunu desteklemesi, (b) küçük ve düzenli kristallerin oluşumunu sağlaması, (c) bozuk yüzey yapısını engellemesidir (19, 20). Ayrıca, birçok gıda ultrasonik dalgalar yardımı ile başarıyla dondurulmuştur (21-23).

Etin yumuşaklığı tüketici açısından önemli bir kalite parametresi olduğu için ultrasonun et üzerine uygulanması genelde ürünün yumuşaklığı üzerine odaklanmıştır. Geleneksel et yumuşatma yöntemlerinden biri olan etin mekanik olarak dövülmesi daha düşük kalitede ve daha az lezzetli bir ürün oluşmasına neden olmaktadır. Yüksek enerjili ultrasonik dalga kullanarak etin yumuşatılmasının geleneksel yöntemle göre daha

etkili olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda etin ısı ve ultrasonik yöntemle sterilizasyonunun etin yumuşaklığını olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir (24).

Ultrasonun yalnız veya başka bir işlemle kombinasyonu süt, şarap ve meyve suyu gibi ürünlerin pastörizasyonunda kullanılmıştır. Pastörizasyon işleminin daha düşük sıcaklık ve daha az zaman kullanarak tamamlandığı belirlenmiştir (25, 26). Ayrıca ultrason kullanılarak mikrobiyolojik açıdan güvenilir meyve ve sebze suyu elde edildiği görülmüştür (27-31).

Ultrasonun mikroorganizmaların etkisizleştirilmesindeki etkisi birçok çalışmada araştırılmıştır. Etkisizleştirme mekanizması ise akustik kaviteasyon kaynaklı açığa çıkan ısı ve basıncın hücrenin fonksiyonel bileşenlerini ve yapısını yıkıp, hücreyi parçalaması ile açıklanmıştır (32, 33). Bir çalışmada %40 (80 W) ultrasonik güç ve 50 °C'de 15 dakikalık bir işlemle portakal suyu kaynaklı maya oluşumu engellenmiştir (34). Gram pozitif bakterilerin Gram negatif bakterilere kıyasla ultrasonik işleme karşı daha dayanıklı olduğu belirlenmiş ve bu Gram pozitif bakterilerinin hücre duvarlarının daha kalın olması ile açıklanmıştır (35). Sütte bulunan *Listeria innocua* ve mezofilik bakterilerin ısı ve ultrasonik işleme etkisizleştirilmesi incelenmiş ve ultrasonik işlemde etkisizleştirme hızının daha fazla olduğu belirlenmiştir (36). Bunun yanı sıra, ultrasonik dalgalardan süt endüstrisinde pastörizasyon amaçlı da faydalanılmaktadır. *E. coli*, *Pseudomonas fluorescens* ve *Listeria monocytogenes* gibi mikroorganizmaların yok edilmesi üzerinde etkili olduğu ispatlanmış ve bu işlem sonrasında pastörize sütün toplam protein ve kazein miktarında değişiklik görülmemiştir (37).

Ultrasonun mikroorganizmaları ortadan kaldırdığı ispatlanmasına rağmen bu yöntem tek başına uygulandığında üründeki mikroorganizma sayısının gerekli oranda düşmediği ve dolayısıyla etkisiz olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda ultrasonun başka yöntemlerle birlikte uygulanması kanaatine varılmıştır. Bunlar; ultrason ve ısı işlem (termosonikasyon, TS); ultrason ve basınç (manosonikasyon, MS); ultrason, basınç ve ısı işlem (manotermosonikasyon, MTS) uygulamaları olarak sıralanabilir (38, 39).

ULTRASONUN ENZİM İNAKTİVASYONUNDA KULLANILMASI

Enzim inaktivasyonu bazı gıda maddelerinin sabitleştirilmesi için gereklidir. Bu sabitlik ısı işlemle kolayca gerçekleştirilebilir. Ancak ısı işlem gıdanın bazı özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bunun yanı sıra, ısı dayanıklılığı yüksek olan bazı enzimlerin etkisizleştirilebilmesi için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sonucu olarak gıdalardaki biyolojik yapı kaybı da artmaktadır. Ultrason ise bu noktada tek başına veya ısı işlemle birlikte kullanılarak bu kayıpların azaltılması için alternatif ve/veya yardımcı bir metot olarak kullanılmaktadır (6).

Ultrasonun enzimlerin etkisizleştirilmesi üzerine etkili olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Ancak bazı yazarlar, ultrasonun tek başına enzim üzerine etkili olmadığını belirtirken, bazıları ise akustik kaviteasyonun enzimi fiziksel ve kimyasal yoldan etkilediğini savunmaktadır. Ultrasonun enzim üzerine etkisinin, kullanılan enzime ve işlem parametrelerine göre değiştiği bilinmektedir (40). Ayrıca ultrason ile enzim etkisizleştirilmesi farklı mekanizmalarla açıklanmıştır. Ama genelde ultrasonun makromolekülleri depolimerize etmesi konusunda fikir birliğine varılmıştır (41).

Ultrasonik dalgaların diğer işlemlerle (ısı ve/veya basınç) birlikte kullanıldığında daha etkili olduğu saptanmıştır (38). Ayrıca ısı işlem ultrason ile birlikte kullanıldığında etkisinin arttığı çeşitli bitki kaynaklı enzimlerde incelenmiştir. Bunlar; soya fasulyesinden elde edilen lipoksijenaz (42), su teresinden elde edilen peroksidaz (43), mantardan

elde edilen polifenol oksidaz (42), domatesten elde edilen pektin metil esteraz ve poligalakturonaz (44) enzimleridir. Bunun yanı sıra ısı, basınç ve ultrasonun (MTS) enzim etkisizleştirilmesinde birlikte kullanıldığında ultrason veya ısı işlemin yalnız kullanıldığı şartlara göre daha etkili olduğu yapılan çalışmalar sonunda görülmüştür (4). Bunlar arasında; polifenol oksidaz (41), peroksidaz (42), lizozim ve glukoz-6-fosfodehidrojenaz örnek olarak verilebilir (45). Ayrıca Raviyan ve arkadaşları, domates suyundaki pektinmetilesterazın etkisizleştirilmesinde ultrasonun diğer işlemlerle birlikte kullanıldığında daha etkili olduğunu belirlemişler ve bu etkiyi ondalık azalma süresi cinsinden (*D*) ifade etmişlerdir (Çizelge 1) (46). Isı, ultrason ve termosonikasyon işlemlerinin enzimi etkisizleştirme güçlerini ısı<ultrason<termosonikasyon olarak bulmuşlardır. Bu sonuca göre, ultrasonik etkisizleştirme ısı işleme göre her ne kadar etkili olsa da ısı ve ultrasonun kombinasyonu bunların yalnız başına kullanılmasına kıyasla çok daha etkilidir.

Ultrasonun peroksidaz enzimi üzerine etkisi incelenmiş ve üç saatlik bir uygulama sonunda aktivitesinin %90'nını kaybettiği görülmüştür (14). Wu ve arkadaşları (31) domates suyunda pektin metil esterazın ısı (60 ve 65 °C) ve termosonikasyon (25 µm, 50 µm ve 75 µm, 60 °C ve 65 °C) ile etkisizleştirilmesini incelemiş ve termosonikasyonda 60 °C ve 65 °C'de sırayla 41.8 ve 11.7 dakika sonra pektin metil esteraz aktivitesinde %90 oranında düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Aynı orandaki düşüşü yalnızca ısı işlem kullanarak elde edebilmek için 60 ve 65 °C'de sırasıyla 90.1 ve 23.5 dakika harcanmıştır (31).

Çizelge 1. Pektin metil esterazın farklı işlemlerle etkisizleştirilmesi

| Metot | Isı (°C) | İşlem hacmi (mL) | D-değeri ^a (min) |
|-----------------|----------|------------------|-----------------------------|
| Isıl işlem | 50 | 100 | 1,571.4 ^a |
| | 61 | 100 | 299.0 ^b |
| | 72 | 100 | 25.3 ^c |
| Ultrason | 50 | 200 | 240.6 ^a |
| | 50 | 100 | 42.7 ^d |
| | 50 | 50 | 24.0 ^d |
| Termosonikasyon | 61 | 200 | 7.6 ^b |
| | 61 | 100 | 1.5 ^e |
| | 61 | 50 | 0.8 ^e |
| | 72 | 200 | 0.7 ^f |
| | 72 | 100 | 0.4 ^f |
| | 72 | 50 | 0.3 ^f |

Bir başka çalışmada ise domates peroksidazına %15 ila %75 ultrasonik güçlerde 20 ila 150 saniye sürelerle ultrason uygulanmış ve %50 ve %75 ultrasonik güçte 150 saniye sonunda enzimin tamamen inaktive olduğu gözlenmiştir. Çalışmada ultrason uygulanan domates suyunda C vitamini kaybının ısı işleme göre daha az olduğu ve ultrasonun ısı işleme alternatif bir işlem olabileceği belirtilmiştir (47). Farklı mikroorganizmaların ve enzimlerin ısıya karşı dirençleri birbirinden farklı olduğundan, ultrasonun bu mikroorganizmalar ve enzimler üzerindeki etkisi de farklı olmaktadır. Bu yüzden ultrason bazı sistemlerde tek başına yeterli olurken bazılarında yeterli inaktivasyon derecelerine ulaşmak için ısı ve/veya basınç gibi işlemlerle birlikte kullanılması gerekmektedir. Bütün bunlara karşın, ultrasonun bazı gıda kaynaklı enzimlerin etkisini artırdığı belirlenmiştir. Glukozun esterifikasyonu (48), zeytinyağının hidrolizi (49) ve kazeinin α -chymotrypsin ile proteolizi (50) örnek olarak verilebilir.

Taze kesilmiş sebze ve meyvelerdeki kararma gıdanın tüketici tarafından kabul görmesi açısından önemli bir sınırlayıcı faktördür. Polifenoloksidaz ve peroksidaz enzimleri taze kesilmiş meyve ve sebzelerdeki kararma işleminde yer almaktadırlar. Kararma işlemi taze kesilmiş gıdalarda hücre yapısının bozulup enzim ve substratın bir araya gelmesi ile meydana gelir. Jang ve Moon (2011), ultrason ve askorbik asidin birlikte taze kesilmiş elmada polifenoloksidaz ve peroksidaz enzimleri üzerine etkisini incelemiş ve bu iki işlemin birlikte kullanılmasının belirtilen enzimlerin etkisizleştirilmesinde etkili olduğunu belirlemişlerdir (51).

Diğer yandan, pektin metil esterazın 60 °C ve 65 °C'de ısı ve termosonik işleme etkisizleştirilmesi incelenmiş ve D değerinde düşüş olduğu gözlenmiştir (31). Sonikasyon işleminin yalnız başına portakal suyundaki pektin metilesterazın etkisizleştirilmesinde yeterli olmadığı sonucuna varılmış ve maksimum akustik enerji yoğunluğunda (1.05 W/mL de 10 dak) en yüksek oranda (%62) enzimin etkisizleştirildiği belirlenmiştir (1). Cruz ve arkadaşları ise termosonik işleme (40-80 °C) su teresi kaynaklı peroksidaz enzimi aktivitesinde artış gözlemlerken, 82.5- 92.5 °C sıcaklık aralığında aynı enzimin aktivitesinde düşüş belirlemiştir. Ayrıca, enzim etkisizleştirme hızının termosonik işleme daha hızlı olduğunu saptamışlardır (52).

Manotermosonikasyon daha düşük ısı ve daha kısa zaman kullanarak enzimlerin etkisizleştirilmesinde kullanılmaktadır. Peroksidaz, polifenoloksidaz, lipoksinaz, *Pseudomonas fluorescence* kaynaklı lipaz, pektinmetilesteraz ve polygalakturonaz gibi birçok enzim ısı işleme kıyasla manotermosonikasyon yöntemi ile başarıyla etkisizleştirilmiştir.

Sonuç olarak, ultrason gıdaların genel kalitesine ve besinsel değerine daha az etki edecek yeni bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ultrason, tek başına veya diğer muhafaza yöntemleri ile kombine kullanılarak duyu ve besin içeriği açısından kaliteli ürün elde edilmesinde başarıyla kullanılacak bir yöntemdir. Bu yöntemle, gıdanın yapısında yüksek sıcaklıkların etkisiyle açığa çıkan, uçucu tat-koku maddeleri, vitaminler ve diğer besin öğeleri kaybı gibi olumsuzluklar ortadan kaldırılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Kadkhodae R, Povey MJW. 2007. Ultrasonic inactivation of Bacillus α -amylase. I. Effect of gas content and emitting face of probe. *Ult Sonoc*, 15, 133-142.
2. Ashokkumar M, Sunartio D, Kentish S, Mawson R, Simons L, Vilku K. 2008. Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: a preliminary study on a model system. *Inno Food Sci Emerg Techno*, 9, 155-160.
3. Sala FJ, Raso J, Pagan R, Condon S. 1998. Influence of temperature and pressure on the lethality of ultrasound. *Appl Environ Microbiol*, 465, 471-475.
4. Vercet A, Burgos J, Crelier S, Lopez-Buesa, P. 2001. Inactivation of protease and lipase by ultrasound. *Inno Food Sci Techno*, 2, 139-150.
5. Knorr D, Zenker M, Heinz V, Lee DU. 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Sci Techno*, 15, 261-266.
6. Demirdöven A, Baysal T. 2009. The use of ultrasound and combined technologies in food preservation. *Food Rev*, 25, 1-11.
7. Roberts RT. 1993. High intensity ultrasonics in food processing. *Chem Indust*, 15, 119-121.

8. Wu H, Hulbert GJ, Mount JR. 2001. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Inno Food Sci Emerg Techno*, 1, 211-218.
9. Şengül M, Başlar M, Erkaya T, Ertugay MF. 2009. Ultrasonik homojenizasyon işleminin yoğurdun su tutma kapasitesi üzerine etkisi. *GIDA*, 34 (4), 219-222.
10. Tavman Ş, Kumcuoğlu S, Akkaya Z. 2009. Bitkisel ürünlerin atıklarından antioksidan maddelerin ultrason destekli ekstraksiyonu. *GIDA*, 34 (3), 175-182.
11. Porto CD, Decorti D, Kikic I. 2010. Flavour compounds of *Lavandula angustifolia* to use in food manufacturing: Comparison of three different extraction methods. *Food Chem*, 112, 1072-1078.
12. Kimbaris AC, Siatis NG, Daferera DJ, Tarantilis PA, Pappas CS, Polissiou MG. 2006. Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic (*Allium sativum*). *Ult Sonoc*, 13, 54-60.
13. Mason TJ, Paniwnyk L, Lorimer JP. 1996. The uses of ultrasound in food technology. *Ult Sonoc*, 3, 253-260.
14. Patist A, Bates D. 2008. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Inno Food Sci Emerg Techno*, 9, 147-154.
15. Stasiak DM, Dolatowski ZJ. 2007. Influence of sonication on honey crystallization. *Pol J Food Nutr Sci*, 57, 133-136.
16. Fernandes FAN, Linhares FE, Rodrigues S. 2008. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ult Sonoc*, 15, 1049-1054.
17. Frias J, Penas E, Ullate M, Vidal-Valverde C. 2010. Influence of Drying by Convective Air Dryer or Power Ultrasound on the Vitamin C and β -Carotene Content of Carrots. *J Agric Food Chem*, 58, 10539-10544.
18. Fernandes FAN, Rodrigues S. 2007. Ultrasound as pre-treated for drying of fruits: Dehydration of banana. *J Food Eng*, 82, 261-267.
19. Luque de Castro MD, Priego-Capote F. 2007. Ultrasound-assisted crystallization (sonocrystallization). *Ult Sonoc*, 14, 717-724
20. Virone C, Kramer HJM., van Rosmalen, GM, Stoop AH, Bakker TW. 2006. Primary nucleation induced by ultrasonic cavitation. *J Crystal Growth*, 1, 9-15.
21. Zheng L, Sun DW. 2006. Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes a review. *Trends Food Sci Tec*, 17, 16-23.
22. Delgado AE, Zheng D, Sun W. 2008. Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apples. *Food Biopro Tec*, 2, 263-270.
23. Song GS, Hu SQ, Li L, Chen P, Shen X. 2009. Structural and physical changes in ultrasound-assisted frozen wet gluten. *Cereal Chem*, 86, 333-338.
24. Chemat F, Huma Z, Khan MK. (Available online 16 December 2010). Applications of Ultrasound in Food Technology: Processing, Preservation and Extraction. *Ult Sonoc*, DOI: 0.1016/j.ultsonch.2010.11.023
25. Salleh-Mack SZ, Roberts J.S. 2007. Ultrasound pasteurization: the effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli*. *Ult Sonoc*, 14, 323-329.
26. Valero M, Recrosio N, Saura D, Munoz N, Martı N, Lizama V. 2007. Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing. *J Food Eng*, 80, 509-516.
27. Ferrante S, Guerrero S, Alzamora SM. 2007. Combined use of ultrasound and natural antimicrobials to inactivate *Listeria monocytogenes* in orange juice. *J Food Prot*, 70, 1850-1856.
28. Tiwari BK, O'Donnell CP, Muthukumarappan K, Cullen PJ. 2009. Ascorbic acid degradation of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurized juice. *Food Sci Tec*, 42, 700-704.
29. Tiwari BK, O'Donnell CP, Cullen PJ. 2009. Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. *J Food Eng*, 93, 166-171.

30. Cheng LH, Soh CY, Liew SC, Teh FF. 2007. Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chem*, 104, 1396–1401.
31. Wu J, Gamage TV, Vilkuh KS, Simons LK, Mawson R. 2008. Effect of thermosonication on quality improvement of tomato juice. *Inno Food Sci Emerg Tec*, 9, 186–195.
32. Ulusoy HB, Colak H, Hampikyan H. 2007. The use of ultrasonic waves in food technology. *Research J Biol Sci*, 2, 491-497.
33. Bozkurt H, İçier F. 2009. UV-C ve ultrason önışlemlerinin çilek kalitesi üzerine etkileri. *GIDA*, 34 (5), 279-286
34. Kuldiloke J, Eshtiaghi MN. 2008. Application of non-thermal processing for preservation of orange juice. *Kmitl Sci Tec*, 8, 1-11.
35. Drakopoulou S, Terzakis S, Fountoulakis MS, Mantzavinos D, Manios D. 2009. Ultrasound-induced inactivation of gram-negative and gram-positive bacteria in secondary treated municipal wastewater. *Ult Sonoc*, 16, 629–634
36. Bermudez-Aguirre D, Corradini MG, Mawson R, Barbosa-Canovas, GV. 2010. Modeling the inactivation of *Listeria innocua* in raw whole milk treated under thermo-sonication. *Inno Food Sci Emerg Tec*, 10, 172–178.
37. Cameron M, McMaster LD, Britz TJ. 2009. Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Dairy Sci Tec*, 89, 83-98.
38. Rahman SM. 2007. *Handbook of Food Preservation*. (2nd ed.). CRC Press. London, pp. 713-739.
39. McClements DJ. 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends Food Sci Tec*, 6, 293-299.
40. Barton S, Bullock C, Weir D. 1996. The effects of ultrasound on activities of some glycosidase enzymes of industrial importance. *Enzyme Micro Tec*, 18, 190-194.
41. Feng H, Yang W, Hielscher T. 2008. Power Ultrasound. *Food Sci Tec Inter*, 14: 433-436.
42. Lopez P, Sala FJ, de la Fuente JL, Condon S, Raso J, Burgos J. 1994. Inactivation of peroxidase, lipoxygenase and polyphenol oxidase by manothermosonication. *J Agric Food Chem*, 42, 252–256
43. Cruz RMS, Vieira MC, Silva CLM. 2006. Effect of heat and thermosonication treatments on peroxidase inactivation kinetics in watercress (*Nasturtium officinale*). *J Food Eng*, 7, 8–15.
44. Terefe SN, Gamage M, Vilkuh K, Simons L, Mawson R, Versteeg C. 2009. The kinetics of inactivation of pectin methylesterase and polygalacturonase in tomato juice by thermosonication. *Food Chem*, 117, 20–27.
45. Karaseva EI, Metelitz DI. 2006. Stabilization of Glucoso-6-Phosphate Dehydrogenase by Its Substrate and Cofactor in an Ultrasonic Field. *Russian J Bioorg Chem*, 32, 436–443.
46. Raviyan P, Zhang Z, Feng H. 2005. Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *J Food Eng*, 70, 189-196.
47. Ercan SŞ, Soysal Ç. 2010. Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. *Ult Sonoc*, 18, 689-695.
48. Xiao YM, Wu Q, Cai Y Lin, XF. 2005. Ultrasound-accelerated enzymatic synthesis of sugar esters in nonaqueous solvents. *Carbonhydr Res*, 340, 2097-2103.
49. Blackburn P, Robinson E. 1993. The application of ultrasonics to oil hydrolysis using an immobilized lipase. *Chem Indust*, 15, 205-206.
50. Ishimiro Y, Karube I, Suzuki S. 1981. Acceleration of immobilized α -chymotrypsin activity with ultrasonic irradiation. *J Mol Catal*, 12, 253-259.
51. Jang JH, Moon KD. 2011. Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chem*, 124, 444-449.
52. Cruz R.M.S., Viera C.M., Silva C.L.M. 2008. Effect of heat and thermosonication treatments on watercress (*Nasturtium officinale*) vitamin C degradation kinetics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 483-488

