

# GIDALARDA YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇ UYGULAMASI

## HIGH HYDROSTATIC PRESSURE APPLICATIONS IN FOODS

Esra İBANOĞLU

Gaziantep Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü-Gaziantep

**ÖZET:** Bu makalede, yüksek basınç teknolojisinin gıdalarda uygulanması ve etkileri geniş bir şekilde irdelenmiştir. Doğal veya doğala yakın besinlerin tercih edildiği günümüz koşullarında, besin kaybına meydan vermeyen, kimyasal koruyucuların kullanılmadığı fiziksel bir metot olan yüksek hidrostatik basıncın gıda sistemlerinde uygulanması gittikçe yaygınlaşmaktadır. Yüksek basıncın uygulama alanını daha da geliştirebilmek için biyolojik sistemler üzerindeki etkilerinin incelenerek, optimum çalışma koşullarının belirlenmesi bilim adamlarının amacıdır.

**ABSTRACT:** Present article represents studies on application aspects and effects of high hydrostatic pressure in food systems. Considering today's preference as the consumption of natural or poorly processed foods, the processing of food under high pressure without losing its nutrients and taste and also without use of chemical preservatives find a wide spread application. Main target of researchers is to investigate the optimum conditions for high hydrostatic pressure applications on biological systems.

### GİRİŞ

Günümüz tüketicileri için gıda kalitesi önemli olup, doğal veya az proses görmüş veya katkı maddesi eklenmemiş gıdalar tercih edilmektedir. Yüksek basınç uygulamaları gıda maddelerinin besin değerini düşürmediği gibi, aroma ve kokuları da etkilemediğinden tercih edilen bir prosestir (JOHNSTON, 1994). Özellikle taze tat ve kokunun önemli olduğu reçel, meyve suyu gibi ürünlere veya salata sosları ve hazır tatlılar gibi gıda maddelerine uygulanmaktadır. Geniş bir kullanım yelpazesi olan yüksek basınç teknolojisinin biyolojik maddeler üzerindeki etkisini irdelemek bilim adamlarının ilgisini çekmektedir.

Bir yüksek basınç sisteminde temel olarak basıncın uygulandığı bir hazne, yüksek basınç uygulama mekanizması, sıcaklık kontrol mekanizması, yükleme boşaltma sistemi gereklidir. En önemli parça olan basınç haznesi yüksek gerilme kuvvetine dayanıklı çelikten yapılmıştır. Duvar kalınlığı çalışılan yüksek basınca, çalışma kapasitesine bağlı olarak değişir. Uygulama sırasında madde basınç ileten bir ortamda olmalıdır. Genellikle soğuk ve ılık isostatik pres uygulamalarında basınç ortamı sudur. Paslanmayı önlemek amacıyla düşük oranda yağ içerebilir. Ortamdan hava uzaklaştırıldıktan sonra yüksek basınç direk piston vasıtasıyla veya dolaylı olarak pompa vasıtasıyla (iletken sıvının bir depodan hazneye transfer edilip sıkıştırılması ile) veya sıcaklığın artırılması ile üretilir (MERTENS ve DEPLACE, 1993).

Gıdaların yüksek basınç uygulamalarında temizlik, hijyen ve teknik nedenlerden dolayı kesikli prosesler tercih edilir (ZIMMERMAN ve BERGMAN, 1993). Kesikli prosesler gıdaların makine yağlarından veya birbirlerinden kontaminasyon riskini ortadan kaldırır. Ticari amaçla kullanılan sistemlerde otomatik yükleme, boşaltma, ve taşıma konveyörleri monte edilmiştir. Numune hazırlandıktan sonra hijyenik şartlarda plastik veya alüminyum foil paketlere hava boşluğu olmaksızın konur ve basınç haznesine yerleştirilir. Paket materyali yapılan sıkıştırmayı karşılayacak kadar esnek olmalıdır. Ayrıca koruyucu bariyer özellikleri, sıcaklığa dayanıklılığı ve geçirgenliği yüksek basınçla değişmemelidir. Cam gibi sert paketleme malzemelerinin basınçla esnemenin noktalarının bulunması veya esnek kapaklarının olması gerekir (MERTENS ve DEPLACE, 1993).

Bir yüksek basınç uygulaması basıncın ve sıcaklığın güvenli olarak kontrol edilebilmesini gerektirir. Paskal kuralına göre; herhangi bir noktada uygulanan basınç kayıpsız olarak her yönde iletilir. Dolayısıyla basıncın bir noktada ölçümü ve kontrolü sistemdeki basıncı gösterir. Basınç haznesinde enerji haznenin esneme enerjisi ve sıvı ortamın sıkışma enerjisi olarak saklanır. Pratikte esneme enerjisi toplam enerjiye göre çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Dış çeperi tel ile sarılarak en yüksek basınca kadar sıkıştırılmış basınç

haznesi uygulamalarda güvenli bir şekilde kullanılabilir. Çünkü uygulanan basınçtan doğan sıkışma kuvveti, ters yöndeki çeperden sıkışma ile dengelenir. Böylece uygulama sırasında çatlama riski azaltılır (ZİMMERMAN ve BERGMAN, 1993).

Yüksek basınç uygulamalarında yatırım maliyeti en yüksek çalışma basıncı ve hazne hacmine bağlı olmakla beraber yüksektir. Proses maliyeti optimum koşulların (basınç, süre, sıcaklık) belirlenmesi ile düşürülebilir. Yüksek basınç uygulama süresini kısaltır. Çalışma basıncı, sıcaklık artırılarak ve/veya süre uzatılarak düşürülebilir. Fakat bu şartlarda hacmin artırılması gerekebilir (FREEMAN ve FREEMAN, 1995).

#### **Yüksek Basıncın Gıdalar Üzerindeki Etkisi:**

Yüksek basınç gıdaların besin değerini, koku ve tadını etikelemez. Basınç gıda maddesinin her noktasında sabittir, ısıl işlemde olduğu gibi, madde eksenli boyunca sıcaklık değişiminden kaynaklanan farklılıklar görülmez (JOHNSTON, 1994). İstenen basınca çıkıldıktan sonra, enerji harcaması çok azdır. Isıl işlemde olduğu gibi enerji kaybı, zaman kaybı yoktur. Bu avantajlarından dolayı gıdalarda tercih edilen bir uygulamadır. Genelde gıdalarda uygulanan basınç 100 MPa ile 1000 MPa arasında değişir (LEDWARD, 1995). Mikroorganizmaların yok edilmesinde, biyopolimerlerin yapısının değiştirilmesinde (enzim aktivasyonu veya inaktivasyonu, protein denatürasyonu, jel, emülsiyon ve köpük oluşturma özelliklerinin değişmesi, protein hidrolizinin kolaylaşması, nişasta jelatinizasyonu tekstür modifikasyonu), faz değişiminin kontrol edilmesinde (yağların katılaşması, buz oluşumu) uygulanır. Molekül seviyesinde yüksek basıncın etkisi Le Chatelier prensibine göre açıklanabilir (HEREMANS, 1995). Sistem üzerine yapılan etkiyi yok edecek şekilde değişir. Basınç hacmin düşmesine, moleküller arası kuvvet dengesinin değişmesi, moleküllerin çözünürlüğünün değişmesi gibi hacimle ilgili reaksiyonların oluşumuna yol açar. Sonuçta biyopolimerlerin yapısı açılır, proteinlerin fonksiyonel özellikleri, enzimlerin aktiviteleri değişir veya zar geçirgenliği arttığından mikroorganizma ölümüne sebep olur.

#### **Gıdaların Duyusal Özellikleri ve Besin Değerleri**

400-500 MPa sıvı veya katı gıda maddesinin sıcaklığını 5-15 °C artırabilir. Proses oda şartlarında veya 4°C'de gerçekleştirilirse sıcaklık artımı gıda maddesinin tadında ve kokusunda değişikliğe sebep olmaz. Özellikle çiğ balık ve et, taze meyve püresi veya suyunda taze tat ve koku basınç uygulanarak korunabilir (SHIMADA ve ark., 1990). Basınca tabi tutulan meyve püresi ve suyunda vitamin kaybı %5 olurken, ısı ile pastörize edilen ürünlerde bu kayıp %22-28 arasında değişti. Karotenoidler, klorofil gibi pigmentlerin basınçtan etkilenmediği, fakat miyoglobinin basınca duyarlı olduğu görüldü. Taze etin 300 MPa altında parlak kırmızı rengini kaybettiği gözlemlendi (CHEFTEL, 1992).

Gıdaların tekstür özellikleri basınçla değişir. Meyve, sebzeler gibi içerisinde hava kabarcıkları bulunan gıdaların basınç altında, gazların sıkışmasıyla morfolojisi değişir, dokuları zedelenir. Yüksek basıncın önemli bir uygulama alanı etin yumuşamasında kullanılmasıdır. 100 MPa, 35°C'de, 4 dakika kesimden hemen sonra sığır etine uygulandığında önemli bir yumuşama görüldü (BEILKEN ve ark., 1990). 24 saat sonra aynı yumuşaklığa 150 MPa, 60°C'de, 1 saat uygulanarak ulaşıldı. Uygulama sırasında proteolitik bir enzim olan katepsinin basınç altında stoplazmaya yayılması ve miyofibrilleri parçalanması etin yumuşamasına yol açar (OHMORI ve ark., 1991).

Yüksek basınç sonucu oluşan nişasta jelatinizasyonu ve protein açılması nişasta ve proteinin besin değerini ve sindirilebilirliğini artırır. 400-500 MPa basınç altında 40-50°C'de 20-60 dakika tutulduğunda %5'lik mısır nişastasının solüsyonunun jelatinize olduğu ve  $\alpha$ -amilaz hidrolizinin daha fazla olduğu görüldü (HAYASHI ve HAYASHIDA, 1991). Isıl işlem uygulanmaksızın proteinlerin sulu çözeltileri basınç altında belli bir süre tutulduğunda jel oluşturur. Böylece besin değeri etkilenmeden jel gıdalar üretilebilir.

#### **Mikroorganizmaların Yok Edilmesi**

Mikroorganizmaların öldürülmesi için uygulanan ısıl işlem (sterilizasyon, pastörizasyon) gıda maddelerinin besin değerinin değişmesine yol açar. Soğuk sterilizasyon gıdaların tazeliğini korumak açısından önemlidir. Türlerin yüksek basınca dayanıklılığı farklılık gösterir. En fazla etkilenenler küf ve mayalardır.

Büyüme fazında bakteriler daha hassastır. Gram (-) organizmalar gram (+) olanlara oranla daha fazla duyarlıdır. Yüksek basınca en dayanıklı organizmalar sporlardır. *Bacillus licheniformis* sporları yüksek basınç altında (600 MPa, 20-60 dak, 60°C, pH 7.0) yok edildi (TAKI ve ark., 1991). Tek basınç uygulaması sporlar üzerinde az etkili oldu. Birden fazla kere atmosfer basıncı ile 600 MPa arasında basıncın darbeleri uygulamasının *Bacillus stearothermophilus* sporlarını  $10^6$  kere azalttığı görüldü (HAYAKAWA ve ark., 1994).

Yüksek basıncın organizmanın yapısında ve metabolizmasında yaptığı değişiklikleri içeren birçok çalışma olmasına rağmen gerçek mekanizma hakkında az bilgi vardır (CHEFTEL, 1992). Basınç altında, gaz kofullarının sıkışması, hücre uzaması, hücre duvarının hücre zarından ayrılması, hücre zarının çekmesi, çekirdeğin veya hücre içi organellerin değişimi, hücre içi maddelerin hücre dışına sızması gibi morfolojik değişiklikler görülür.

Basınç uygulamaları pH'sı düşük gıdalarda daha etkilidir. Doğal koruma ortamı olan düşük pH'da kısıtlı türde organizmaların sayısı yüksek basınçla kolayca düşürülebilir (JOHNSTON, 1994). Meyve sularında doğal mikroorganizmanın, ekilen bakterilerin (OGAWA ve ark., 1991) ve ekilen küf, mayanın (OGAWA ve ark., 1990) 100-600 MPa basınç altında sayısının düştüğü, organizmaların ısıya dayanıklılık sırasının basınca dayanıklılık sırası ile paralel olduğu belirtildi. Basınç uygulaması ile meyve sularının buzdolabı raf ömrünün uzadığı görüldü. Yoğurdun 10-20 °C'de 200-300 MPa'da basınç altında 10 dakika tutulması paketlemeden sonra asitliğinin artmasını mikroorganizma sayısını düşürerek engelledi (TANAKA ve HATANAKA, 1992). Etlere çeşitli mikroorganizmaların basınç hassasiyetleri test edildi (pH 6-7). 25°C'de 400 MPa 10 dakika uygulandığında ekilen *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Saccharomyces cerevisiae* ve *Candida utilis* sayısında  $10^6$  kat düşüş görüldü. Benzer bir düşüş *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis* için 500-600 MPa'da 10 dakika basınç uygulamasını gerektirdi (SHIGEHISA ve ark., 1991). Sabit basınçta organizma sayısında zamana bağlı üstel bir düşüş görüldü.

Çalışmalar basınçla birlikte katkı maddeleri, elektromanyetik alan, yüksek voltaj, ultrason tekniklerinin mikroorganizmaların yok olma kinetiğine etkisini inceleyerek devam etmektedir. Sorbik asit, benzoik asit, etanol, lizozim, çitosan gibi katkı maddelerinin basıncın mikroorganizmalar üzerindeki etkisini artırabildiği ve düşük sıcaklıklarda, kısa süreli düşük basınç uygulamasını gerektirdiği, yüksek tuz, şeker, gliserol konsantrasyonunun veya düşük su aktivitesinin mikroorganizmaları yüksek basınca karşı koruyabildiği yapılan çalışmalarda görüldü (POPPER ve KNORR, 1990, PAPINEAU ve ark., 1991).

### Enzim Reaksiyonları

Yüksek basıncın enzimler üzerindeki etkisini inceleyen birçok araştırma yapılmıştır (CHEFTEL, 1992, JOHNSTON, 1994). Basınçla muamele uygulanan basınca, uygulama süresine, sıcaklığa bağlı olarak, enzimi tamamen veya belli bir ölçüde, dönüşümlü veya dönüşümsüz olarak inaktif hale getirebilir. 250 MPa basınç (15 dak) çilek püresindeki polifenoloksidazın %60 kaybına ve 230 MPa peroksidazın %25 kaybına yol açarken 250-400 MPa basınçta her iki enzimde de aktivitenin arttığı görüldü (CANO ve ark., 1997). Dönüşümlü aktivasyon enzim veya substratın basınçla yapısındaki değişimin etkisi olarak açıklandı. Polifenoloksidaz basınca dayanıklı olduğundan oda sıcaklığında mantarlara uygulanan 600 MPa'da enzim yapısı değişim göstermedi ancak 800 MPa'da yapıda değişiklik görüldü (WEEMAES ve ark., 1997). Kimotripsin aktivitesinin basınç altında yok olması aktif tarafındaki iyonik bağların kırılması nedeniyle olup, 400 MPa'a kadar enzimin yapısındaki değişiklik dönüşümlüdür. 500 MPa'ın üzerinde yapıda dönüşümsüz değişiklik gözlemlendi (HEREMANS, 1995).

Basınç uygulaması enzim kinetiğini hızlandırabilir veya yavaşlatabilir. Enzim içeren esmerleşme reaksiyonlarının basınç uygulaması ile hızlandığı görüldü (ASAKA ve HAYASHI, 1991). Ete ve balığa uygulanan basınç sonucu koku veren küçük molekül ağırlıklı bileşikler basıncın çeşitli metabolik enzimlerin aktivitesi üzerinde yaptığı değişikliğe bağlı olarak arttı (JOHNSTON, 1995). Enzimin substrat seçiciliği basınçla artabilir. Peyniraltı suyu basınç altında muamele edildiğinde  $\beta$ -laktoglobülin proteaz aktivitesi ile spesifik olarak hidroliz oldu, dolayısıyla bu yolla ortamdaki uzaklaştırıldı (OKAMOTO ve ark., 1991). Basınç uygulamasının bir sonucu da hücre zarının veya hücre içi organellerinin basınçtan etkilenmesi sonucu hücre içi enzimlerin hücre dışına çıkarak stoplazmaya karışması ve substratla etkileşime girmesidir.

### Proteinlerin Fonksiyonel Özellikleri

Genel olarak, basınç altında hacmin değişmesiyle hidrofobik ve iyonik bağların kırıldığı, hidrojen bağlarının kuvvetlendiği görülür (HEREMANS, 1995). Kovalent bağlar yüksek basınçtan etkilenmez. Basınç, amino asitlerin R gruplarındaki asit gruplarının ayrışmasına ve 300 MPa'nın üzerinde ve oksijenli ortamda S-S bağlarının oluşumuna meydan verir. Yapılan çalışmalar, 100-400 MPa basınç altında moleküllerin polimer yapılarının ayrılarak parçalara ayrıldığını (hidrofobik etkileşimin zayıflaması nedeniyle) veya yapısının kısmen açılarak (hidrofobik ve iyonik bağların zayıflamasıyla) denatüre olduğunu göstermektedir. Bu basınç aralığında yapıdaki değişim dönüşümlü olabilir (HAYAKAWA ve ark., 1996). Yapıdaki bu değişim proteinin çözünürlüğünü etkiler. Çözücünün temas ettiği yüzeyi artırır. Sulu çözelti içerisindeki ovalbümin,  $\beta$ -laktoglobülin ve bovin serum albüminin (BSA) yüzey hidrofobik yapısı, 400-600 MPa uygulandığında kısmen değişti, değişim ovalbüminde daha hızlı gerçekleşti (HAYAKAWA ve ark., 1996). BSA ve  $\beta$ -laktoglobülinin endotermik sıcaklığında değişim olmazken, endotermik entalpileri yarıya düştü. Ovalbümin için endotermik sıcaklık ve entalpi değeri tamamen kayboldu. 10 dakika uygulanan 1000 MPa basınç ovalbüminin  $\alpha$ -heliks yapısının tamamen kaybına sebep oldu. Bu kayıp  $\beta$ -laktoglobülinde %90 ve BSA' da %50 olarak görüldü. Bu basınçın proteinin yüzeyi ile su molekülleri arasındaki hidrojen bağlarını kopardığı ve proteinin ikincil yapısında değişime yol açtığı görüldü. Genelde ikincil yapıdaki değişimler çok yüksek basınçlarda gerçekleşir ve dönüşümlü değildir (MASSON, 1992). Sonuçlardan sadece yüzey hidrofobik yapının değişmesinin proteinin denatürasyonunu göstermediği anlaşıldı. 300-400 MPa'nın üzerinde uygulanan basınç birçok proteinin yığılmasına sebep olur. Yığılma, proteinin yapısına, uygulanan basınç, uygulama süresine protein konsantrasyonuna, pH'a iyon yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Yığılma, basınç ortadan kalktıktan sonra kısmen açılan proteinin, sulu ortama çıkan hidrofobik gruplar başta olmak suretiyle moleküller arası bağ oluşturmamasından kaynaklanır. S-S bağlarının oluşması yığılma da rol oynar.

Soya, et, balık, süt, yumurta proteinleri uygun basınç muamelesi ile jel oluştururlar. Soya proteinlerinin 300 MPa'da, yumurta sarısının 400 MPa'da jelleştiği, yumurta beyazının 500 MPa altında katılaşıp, saydamlığını kaybettiği, 600 MPa'da jel oluşturduğu gözlemlendi. Basınç altında oluşan jellerin ısı ile elde edilen jellere oranla daha elastik ve pürüzsüz olduğu, daha gevşek bir yapıya sahip oldukları görüldü (KAJIYAMA ve ark., 1992). DOI ve arkadaşları (1991) hidrofobik bağlarla oluşturulan jellerin ağ yapılarının basınç uygulaması sonucu gevşediğini, hidrojen bağları içeren jellerin ağ yapılarının basınçla daha kuvvetlendiğini buldu. Jelatin jeli hidrojen bağları içerdiğinden, ısı ile işlem sonucu erir, sıcaklığın düşmesiyle sıvı tekrar donar. Basınç uygulamasının jelin erime sıcaklığını, hidrojen bağlarının kuvvetlenmesi sonucu yükselttiği (Bloom No. 304 jelatin için 2.92 °C/kbar) görüldü (GEKKO ve FUKAMIZU, 1991).

Proteinlerin yapısının kısmi açılması onların köpürme ve emülsiyon oluşturma özelliklerinin değişmesine yol açar. Yüksek basınç kontrollü yapısal değişim sağlayabilir. Böylece istenilen özelliklere sahip protein basınç uygulaması ile elde edilebilir. İBANOĞLU ve KARATAŞ (2000) peyniraltı suyu proteinlerinin köpürme özelliklerini 100-450 MPa arasında 5-25 dakika uygulayarak pH 5-7 arasında inceledi. pH izoelektrik noktasına yaklaştıkça özellikle 250 MPa'nın üzerinde proteinin köpürme özelliklerinin azaldığı gözlemlendi. Ovalbümin ve soya proteinleri 600 MPa'da 10 dakika muamele edildikten sonra emülsiyon oluşturma özellikleri pH 12.5'de arttı (DENDA ve HAYASHI, 1992). Fakat basınçın pH 5.5'de uygulanması çözünürlüğün düşmesi nedeniyle emülsiyon oluşturma özelliklerinde ters etki yarattı. Aynı basınç uygulaması BSA ve kazeinde etki göstermedi. BSA'nın yapısında 18 S-S bağ varken ovalbümin sadece bir S-S bağı içerir. Ayrıca ovalbüminin yüzeyel hidrofobik özelliği 60°C'nin üzerinde artar. S-S bağlarının fazla olmasının doğal yapıyı dayanıklı hale getirmesine ve basınçın daha çok yüzey hidrofobik yapıyı etkilemesine bağlı olarak ovalbüminin emülsiyon özelliklerinde artış kaydedilir. Bunun yanı sıra kazein dağınık bir yapıya sahip olduğundan basınçla yapısında değişiklik görülmez ve emülsiyon özelliklerinde değişiklik olmaz.  $\beta$ -laktoglobülinin (PITTIA ve ark 1996) ve yumurta beyazının (KNORR ve ark., 1992) köpürme özellikleri basınçla muamele edildikten sonra düştü. Basınç uygulaması ile üçüncül ve dördüncül yapıda olan değişiklikler hidrofobik özellikleri artırmakla birlikte proteinin yığılmasına sebep oldu ve fonksiyonel özelliklerini düşürdü. Proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesinde, fiziksel bir metot olan yüksek basınç, katkı maddesi içermemesi ve gıdanın besin değerini

değiştirmemesi nedeniyle tercih edilmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar, optimum uygulama şartlarının bulunarak fonksiyonel özelliklerin artırılmasını içerir.

### Faz Değişiminin Kontrol Edilmesi

Yağların erimesi ve suyun donma/çözülme özellikleri gibi faz değişimleri gıdaların kalitesinde rol oynar. Trigliseritler erime noktaları basınçla yükselir (CHEFTEL, 1992). Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan yağlar basınç altında kristal yapı oluştururlar. Yüksek basınç daha düşük enerji seviyesinde daha yoğun ve kararlı kristallerin oluşumuna yol açar. Trigliseritler birden fazla kristal yapıya sahiptir. Örneğin kakao yağının altı farklı kristal yapısı vardır. İyi kalite çikolata üretmek için bu kristal yapılardan sadece birisinin oluşumu gereklidir. Bu kristal yapının oluşturulması için kontrollü sıcaklık değişimi uygulanır. Kakao yağının kristal yapısının yüksek basınç uygulaması ile kontrol edilebileceği bilinmektedir (YASUDA ve ark., 1991).

Suyun donma sıcaklığı yüksek basınçla düşürülebildiğinden  $-20^{\circ}\text{C}$ 'de 200 MPa basınçla suyun sıvı halini korumak mümkündür. Böylece basınç altında buzlanma olmadan soğuk depolama yapılabilir. Ayrıca donmuş gıdalara uygulanan yüksek basınç hızlı çözülmeye olanak verir (JOHNSTON, 1994) ve özellikle ette çözümlenirken besin kaybını önler. Basınç altında donma noktasının altına kadar soğutma ve daha sonra basıncın kaldırılması, hızlı ve homojen donma sağlar. Bu şekilde dondurulan gıdaların çözüldükten sonra daha az yapısal zarara uğradığı görülür.

### KAYNAKLAR

- ASAKA, M. ve HAYASHI, R. 1991. Activation of polyphenoloxidase in pear fruits by high pressure treatment. *Agric. Biol. Chem.* 55:2439-2440.
- CANO, M.P., HERNANDEZ, A. ve DE ANCOS B. 1997. High pressure and temperature effects on enzyme inactivation in strawberry and orange products. *J. Food Sci.* 62: 85-88.
- CHEFTEL, J.C. 1992. Effects of high hydrostatic pressure on food constituents: an overview. *High Pressure and Biotechnology* (Ed. C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans, P. Masson), Montrouge: INSERM/John Libbey Eurotext Ltd., 195-209.
- DENDA, A. ve HAYASHI, R. 1992. Emulsifying properties of pressure-treated proteins. *High Pressure and Biotechnology* (Ed. C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans, P. Masson), Montrouge: INSERM/John Libbey Eurotext Ltd., 333-335.
- DOI, E., SHIMIZU A., OE, H. VE KITABATAKE, N. 1991. Melting of heat-induced ovalbumin gels by pressure. *Food Hydrocolloids* 5:409-426.
- FREEMAN, M.A. ve FREEMAN, A.J. 1995. Laboratory scale high pressure food processors. *High Pressure Processing of Foods* (Ed. D.A. Ledward, Johnston, D.E., Earnshaw, R.G., Hasting, A.P.M.), Nottingham University Press, 155-165.
- GEKKO, K. ve FUKAMIZU, M. (1991) Effects of pressure on the sol-gel transition of gelatin. *Int. J. Biol. Macromol.* 13:295-300.
- HAYAKAWA, I., KANNO, T., YOSHIYAMA K. ve FUJIO, Y. 1994. Oscillatory compared with continuous high-pressure sterilization on *Bacillus stearothermophilus* spores. *J. Food Sci.* 59:164-167.
- HAYAKAWA, I., LINKO, Y. ve LINKO, P. 1996. Mechanism of high pressure denaturation of proteins. *Lebensm. -Wiss. u. -Technol.* 29:756-762.
- HAYASHI, R. ve HAYASHIDA A. (1989). Increased digestibility of pressure-treated starch. *Agric. Biol. Chem.* 53:2543-2544.
- HEREMANS, K. 1995. High pressure effects on biomolecules. *High Pressure Processing of Foods* (Ed. D.A., Edward, D.E., Johnston, R.G., Earnshaw, A.P.M., Hasting), Nottingham University Press, 81-97.
- JOHNSTON, D.E. 1994. High pressure-a new dimension to food processing. *Chemistry & Industry*, July, 499-501.
- JOHNSTON, D.E. 1995. High pressure effects on milk and meat. *High Pressure Processing of Foods* (Ed. D.A., Edward, D.E., Johnston, R.G., Earnshaw, A.P.M., Hasting), Nottingham University Press, 99-121.
- İBANOĞLU, E. ve KARATAŞ S. 2000. High pressure effect on foaming behaviour of whey protein isolate. *J. Food Engineering.* 47:31-36.
- KAJIYAMA, N., ISOBE, S., UEMURA, K. ve NOGUCHI, A. 1992. Change of soy protein under ultra high hydraulic pressure. *J. Food Sci.* 57: 310-315.
- KNORR, D., BOTTCHER, A., DORNENBURG, H., ESHTIAGHI, M., OXEN, P., RICHWIN, A. ve SEYDERHELM, I. 1992. High pressure effects on microorganisms, enzyme activity and food functionality. *High Pressure and Biotechnology* (Ed. C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans, P. Masson), Vol. 224. Montrouge: INSERM/John Libbey Eurotext Ltd., 211-218.
- LEDWARD, D.A. 1995. High pressure processing-the potential. *High Pressure Processing of Foods* (Ed. D.A., Edward, D.E., Johnston, R.G., Earnshaw, A.P.M., Hasting), Nottingham University Press, 1-5.

- MASSON, P. 1992. Pressure denaturation of proteins. High Pressure and Biotechnology (Ed. C. Balny R. Hayashi, K. Heremans, P. Masson), Montrouge: INSERM /John Libbey Eurotext Ltd., 89-99.
- MERTENS, B. ve DEPLACE, G. 1993. Engineering aspects of high-pressure technology in the food industry. Food Technology, June, 164-169.
- OGAWA, H., FUKUHISA, K., KUBO, Y. ve FUKUMOTO, H. 1990. Pressure inactivation of yeasts, molds, and pectinesterase in Satsuma mandarin juice: effects of juice concentration, pH, organic acids, and comparison with heat sanitation. Agric. Biol. Chem. 54: 1219-1225.
- OGAWA, H., FUKUHISA, K., SUGAWARA, K. ve KUBO, Y. 1991. Effect of hydrostatic pressure on sterilization of citrus juice. High Pressure Science for Food (Ed. R. Hayashi), San-Ei Publication Company, Kyoto, 353-360.
- OHMORI, T., SHIGEHISA, T., TAJI, S. ve HAYASHI, R. 1991. Effect of high pressure on the protease activities in meat. Agric. Biol. Chem. 55:357-361.
- OKAMOTO, M., HAYASHI, R., ENOMOTO, A., KAMINOYAWA, S. ve YAMAUCHI, K. 1991. High pressure proteolytic digestion of food proteins: selective elimination of  $\beta$ -lactoglobulin in bovine milk whey concentrate. Agric. Biol. Chem. 55: 1253-1257.
- PAPINEAU, A.M., HOVER, D.G., KNORR, D. ve FARKASO Ü.F. 1991. Antimicrobial effect of water-soluble chitosans with high hydrostatic pressure. Food Biotechnology. 5:45-47.
- PITTIA, P., WILDE, P.J., HUSBAND F.A. ve CLARK, D.C. 1996. Functional and structural properties of  $\beta$ -lactoglobulin as affected by high pressure treatment. J. Food Sci. 61: 1123-1128.
- POPPER, L. ve KNORR, D. 1990. Applications of high-pressure homogenization for food preservation. Food Technology. 44: 84-89.
- SHIGEHISA T., OHMORI, T., SAITO, A., TAJI S. ve HAYASHI, R. 1991. Effects of high hydrostatic pressure on characteristics of pork slurries and inactivation of microorganisms associated with meat and meat products. Int. J. Food Microbiol. 12: 207-216.
- SHIMADA A., KASAI, M., YAMAMATO, A. ve HATAE, K. (1990). Changes in the palatability of foods by hydrostatic pressurizing. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish, 37:511-519.
- TAKI, Y., AWAO, T., TOBA, S. ve MITSUURA, N. 1991. Sterilization of Bacillus sp. spores by hydrostatic pressure. High Pressure Science for Food (Ed. R. Hayashi), San-Ei Publication Company, Kyoto, 217-224.
- TANAKA, T. ve HATANAKA, K. 1992. Application of hydrostatic pressure to yoghurt to prevent its after-acidification. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 39: 173-177.
- WEEMAES, C., RUBENS, P., DE CORDT, S., LUDIHKUYZE, L., VAN DEN BROEK I., HENDRICK, M., HEREMANS, K. ve TOBBACK, P. 1997. Temperature sensitivity and pressure resistance of mushroom polyphenoloxidase. J. Food Sci. 62:261-266.
- YASUDA, A., MOCHIZUKI, K., SHIMIZU, T. ve SUZUKI, A. 1991. The behaviour of triglycerides under high pressure. High Pressure Science for Food (Ed. R. Hayashi), San-Ei Publication Company, Kyoto, 176-180.
- ZIMMERMAN, F. ve BERGMAN, C. 1993. Isostatic high-pressure equipment for food preservation. Food Technology, June, 162-163.