

# GIDA ENDÜSTRİSİNDE YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇ UYGULAMALARI

Yahya TÜLEK, Gökçe FİLİZAY

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 20017/Denizli

Geliş Tarihi : 08.07.2005

## ÖZET

Isıl işlem teknikleri, gıda maddelerinin mikrobiyolojik ve biyokimyasal değişimlerden korunması ve raf ömrünün uzatılması amacıyla günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Isıl işlem teknikleri, mikroorganizmaların hem vejetatif hem de spor formlarının tamamını yok edebildiği için, uygulandıkları gıdanın mikrobiyolojik olarak güvenilir bir gıda olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, ısıl işlem uygulamalarının, kullanılan sıcaklık seviyesine bağlı olarak, gıda maddesinin beslenme değerinde ve duyu kalite özelliklerinde azalmaya ve toksik bileşenlerin oluşmasına neden olduğu bilinmektedir. Beslenme değerinde ve duyu özelliklerinde en az kayıpla üretilen, daha taze gıda ürünlerine artan müşteri talebinin karşılanması ve kabul edilebilir bir raf ömrü elde edilebilmesi için yapılan çalışmalar, son on yıllık dönemde, özellikle ısıl işlem içermeyen (non-thermal) inaktivasyon teknikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu makalede, ısıl işlem içermeyen tekniklerden birisi olan yüksek hidrostatik basınç tekniğinin gıdalar için uygulamaları ve etkileri ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Gıda sanayi, Gıda muhafaza, Yüksek hidrostatik basınç

## APPLICATIONS OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURE IN THE FOOD INDUSTRY

### ABSTRACT

Nowadays, thermal processes are used in order to preserve food from microbiologic and enzymatic changes and extend the shelf life. Thermal treatments are particularly safe, assures a total inactivation of vegetative microorganism cells and spore. On the other hand it present some disadvantages related to the high temperature employed, such as denaturation of proteins, vitamins, productions of toxic compound, undesirable organoleptic features. The last decade, non-thermal inactivation techniques have been a major research issue, driven by an increased consumer demand for nutritious, fresh like food products with a high organoleptical quality and an acceptable shelf life. Present article represents studies on application aspects and effects of high hydrostatic pressure in foods.

**Key Words :** Food industry, Food preservation, High hydrostatic pressure.

### 1. GİRİŞ

Günümüzde uygulanan gıda muhafaza tekniklerinin bir çoğu ısıl işlem uygulamalarını içerdiği için hemen tamamında gıdanın besleyici değerinde azalma, tekstürü, ısıya duyarlı besleyici öğeleri,

rengi, görünümü ve lezzetinde kaçınılmaz olumsuz değişimler görülmektedir. Bu nedenle, ısıl işlem içermeyen (non-thermal), iyonize radyasyon, yüksek hidrostatik basınç (YHB), vurgulu elektrik alanı, yüksek basınç homojenizasyonu, UV ışınlama gibi gıda muhafaza tekniklerinin kullanımı konusunda yoğun araştırmalar yapılmaktadır (Ross et al., 2003;

Devlieghere et al., 2004). Bu yeni nontermal teknolojiler, gıda maddesinin renk, lezzet, tekstür ve besin değeri üzerine yüksek sıcaklığın yarattığı olumsuz etkilere yol açmadan, oda sıcaklıkları ve oda sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda mikroorganizmaları inaktive etme özelliğine sahiptirler (Ross et al., 2003). YHB uygulamaları, gıda maddeleri üretim proseslerinde mikroorganizma inaktivasyonu için sıcaklık uygulamalarına alternatif olarak kullanılan ve gıdalarda soğuk pastörizasyon yöntemi olarak son yıllarda ilgi uyandıran bir yöntem olarak büyük önem taşımaktadır (Alpas ve Bozoğlu, 2000; Devlieghere et al., 2004). Bu nedenle, YHB uygulamaları alternatif yöntemler içinde en çok çalışılanı olmuş ve farklı işlem şartları altında mikroorganizmaları inaktivasyonunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Spilimbergo et al., 2002). Bu tekniğin gıda endüstrisindeki uygulamalarında en ilgi çekici yönü; gıdaların yapısında önemli değişiklikler oluşturmaksızın, ürünü mikrobiyal açıdan koruyabilen bir yöntem olmasıdır (Kınık ve ark., 2004).

YHB'nin en önemli kullanım alanları şöyle sıralanabilir: Mikroorganizma inaktivasyonu (Hoover et al., 1989). Biyopolimer modifikasyonu, protein denaturasyonu (Heremans, 1982). Enzim inaktivasyonu veya aktivasyonu (Anon., 1997). Jel formasyonu (Anon., 1997; Şanal ve Çalimli, 2000). Tat-koku ve renk gibi duyu kalite öğelerinin korunması (Gökmen ve Acar, 1995). Ekstraksiyonda verim artırılması (Şanal ve Çalimli, 2000). Yoğunluk, donma ve erime sıcaklıklarının veya tekstürel özelliklerin değişimini sağlamak (Farr, 1990).

## 2. YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇ UYGULAMALARININ TARİHÇESİ

Yüksek basınç, ticari olarak uzun yıllardan beri seramik materyal, sentetik kuarz ve diğer bir çok endüstriyel uygulaması olan bir teknolojidir (Gökmen ve Acar, 1995; Trujillo et al., 2002; Kınık ve ark., 2004). 1970 ve 1980'li yıllarda seramik ve metalurji endüstrisinde yüksek basınç kullanımında büyük gelişmeler kaydedilmiştir (Trujillo et al., 2002). Ancak, yüksek basınçlı gıda endüstrisindeki uygulamaları çok yeni olup, henüz araştırma safhasındadır. Özellikle Japonya'da bu konuda yoğun çalışmalar yapılmakta ve bu teknik gıda endüstrisi için geliştirilmektedir (Gökmen ve Acar, 1995).

Gıdaların yüksek sıcaklıkla muamelesine bir alternatif olarak, ilk defa 1899'da kimyager Bert

Hite tarafından YHB uygulamalarının etkinliği ortaya konmuştur (Kınık ve ark., 2004; Deliza et al., 2005). Hite, yüzyılın başında 600 MPa üzerinde basınç uygulayabilen bir makine tasarımıyla başarılı olmuştur. Hite ve daha sonra bu konuda çalışanlar YHB uygulamasının bir çok gıda üretim prosesinde kullanılabilirliği üzerinde araştırmalar yapmıştır (Anon., 1997).

Hite (1899), ilk olarak oda sıcaklığında 10 dakika boyunca 680 MPa'lık bir basınç altında, sütteki mikroorganizma popülasyonunun sayısal değişimini incelemiş, araştırma neticesinde, sütteki mikroorganizma sayısında 5 ile 6 ondalık değerlerde azalma tespit etmiştir. Aynı yıllarda, çok sayıda araştırmacı konu ile ilgili denemelerde bulunmuşlardır. Bridgman da bu araştırmacılar arasında biridir (Kınık ve ark., 2004).

Hite and Bridgman, 1800'lü yılların sonu ve 1900'lü yılların başlarında YHB ile sütteki bakterilerin inaktivasyonu ve yumurta albümin proteinlerinin denatürasyonunu tespit ederek YHB kullanımının araştırılmasına öncülük etmişlerdir. Son yüzyılda gıdalarda YHB uygulamaları konusunda geniş ölçüde çalışılmıştır (Minerich and Labuza, 2003). Uygun ekipmanların mevcut olmaması YHB uygulamalarının hayata erken geçirilmesini engellemiştir (Trujillo et al., 2002).

1990'lara kadar, YHB ve gıda prosesi arası ilişkiyi inceleyen bir çok araştırma yapılmıştır. Bunlardan en önemlileri (Anon., 1997);

- 1914'te Bridgman'ın basınçla yumurta akı proteinlerinin inaktivasyonu çalışması.
- 1965'te Tomson ve Short'un basınçla çiğ sütte bulunan mikroorganizmaların inaktivasyonu çalışması.
- 1974'de Wilson'un düşük asitli gıdaların basınç ve pastörizasyon sıcaklığı kullanılarak sterilizasyonu çalışması.
- 1977'de Charm'ın, 200 MPa civarındaki basıncın, gıdaların buzdolabı sıcaklığında saklama ömrünü arttırdığını gösteren çalışması.
- 1980'de Elgasim ve Kennick'in basıncın biftik protein kalitesine etkisi üzerine yaptıkları çalışma.
- Hoover et al. (1989) tarafından yapılan hidrostatik basınç uygulanmış sistemlerdeki moleküler ve hücresel değişimler, şeklinde özetlenebilir.

Günümüzde, gıda sanayinde bu teknik geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Kınık ve ark., 2004). Bu tekniğin oda sıcaklığında, 100-900 MPa basınç aralığında, etten meyve suyuna kadar tüm gıdalarda

başarıyla uygulandığı belirtilmektedir (Şanal ve Çalimli, 2000). YHB uygulanmış ilk ticari ürünler 1991'de Japonya pazarında görülmüştür (Trujillo et al., 2002).

Şimdilerde başta Japonya'da olmak üzere, Avrupa ve ABD'de YHB uygulanmış reçeller, soslar, hazır tatlılar ve meyve suları tüketime sunulmaktadır (İbanoğlu ve İbanoğlu, 2003). ABD'de YHB uygulanmış ıstiridye ve guakamol (bir çeşit sos) (Hugas et al., 2002), Avrupa'da dilimlenmiş pişmiş jambon ve portakal suyu raflarda yerini almıştır (Trujillo et al., 2002).

### 3. YÜKSEK HİDROSTATİK BASINCIN MİKROORGANİZMALAR ÜZERİNE ETKİSİ

Yüksek basınç mikroorganizmaların morfolojisi, biyokimyasal reaksiyonları, genetik mekanizmaları, hücre zarları ve duvarları ve spor kılıfları üzerinde değişimlere yol açar (Gökmen ve Acar, 1995; Şanal ve Çalimli, 2000; He et al., 2002). Basınç altında gaz kofullarının sıkışması, hücre uzaması, hücre duvarının hücre zarından ayrılması, hücre zarının çekmesi, çekirdek veya hücre içi organellerin değişimi, hücre içi maddelerin hücre dışına sızması gibi morfolojik değişimler olur (İbanoğlu, 2002).

Basıncın mikroorganizmalar üzerine etkisi, mikroorganizma özellikleri, spor veya vejatatif formu, uygulanan basınç seviyesi ve uygulama süresi, ortam bileşimi, pH ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır (Alpas et al., 2000; Hugas et al., 2002).

Ortam bileşiminin aminoasit veya vitaminlerce zenginleştirilmesi koruyucu etki yapar. Bakterilerin yüksek basınca dayanımı karbonhidratlar gibi zengin besleyici maddeler varlığında artış gösterebilir. Emülsifiye ürünlerdeki gibi karbonhidrat ve proteinlerin varlığında bazı mikroorganizmaların yüksek basınca dirençleri artar (Hugas et al., 2002).

Oxen and Knorr (1993), *Rhodotorula rubra* mayasının inaktivasyonu için oda sıcaklığında, 400 MPa basınçta 15 dakika süreyle gerçekleştirilen basınç uygulamasının işe yaramadığını ve  $a_w$  düştükçe mikroorganizmaların basınca karşı toleransının arttığını saptamışlardır.

Basınç uygulamaları pH değeri düşük ortamlarda daha etkilidir. Düşük pH değerlerinde kısıtlı türde mikroorganizmanın sayısı kolayca azaltılır (İbanoğlu, 2002). Türler arası membran yağ asidi kompozisyonu gibi fenotipik farklılıklar basınç ile

farklı inaktivasyon oranlarına yol açabilir (Hugas et al., 2002). Basınç etkisi ile mikroorganizma inaktivasyonunun nedeni henüz tamamen bilinmemektedir (Spilimbergo et al., 2002; Hartmann and Delgado, 2004).

### 3. 1. Yüksek Hidrostatik Basıncın Mikroorganizmalar Üzerine Etki Şekilleri

#### 3. 1. 1. Hücre Morfolojisinde Oluşan Değişimler

Yüksek basınç mikroorganizmaların morfolojik yapılarını etkilemektedir (Gökmen ve Acar, 1995). Hücre yapısı basınca çok duyarlıdır (Şanal ve Çalimli, 2000). Walsby (1972), 0.6 MPa basınç uygulaması ile hücre içi gaz vakuollerinin içe çöktüğünü belirtmektedir (Gökmen ve Acar, 1995; Şanal ve Çalimli, 2000).

*Escherichia coli* ile yapılan bir çalışmada, 40 MPa basınç altında normalde 1-2  $\mu$  olan hücre uzunluğunun 10-100  $\mu$ 'a çıktığı gözlenmiştir (Hoover et al., 1989).

Hareketli mikroorganizmaların hareket yeteneklerini kaybetmesinin basınç etkisi ile ortaya çıkan yapısal değişimlerden kaynaklandığı, aynı zamanda yüksek basınç etkisinin hücre bölünmesini yavaşlattığı bildirilmiştir (Hoover et al., 1989).

Yüksek basıncın etkileri mikroorganizma türüne bağlı ve genellikle tersinirdir, organizmalar basınç kaldırıldıktan sonra eski biçim ve canlılıklarına dönebilirler (Hoover et al., 1989).

Türlerin yüksek basınca dayanımı farklılık gösterir (İbanoğlu, 2002). Genel olarak inaktivasyon basınçla artar (Hugas et al., 2002). Bazı türler basınç uygulamasına daha duyarlıdır ve düşük basınçlarla inaktive edilebilirler (Hartmann and Delgado, 2004). Basınca en hassas mikroorganizmalar maya ve küflerdir (İbanoğlu, 2002; Trujillo et al., 2002).

Gram-pozitif bakterilerin basınç dayanımı gram-negatiflere göre daha yüksektir (Hugas et al., 2002; Trujillo et al., 2002; Park et al., 2002). Gram-pozitif bakterileri inaktive etmek için daha yüksek basınçlara ihtiyaç duyulur (Şanal ve Çalimli, 2000). Gram-pozitifler için 25 °C'da 10 dakika boyunca 500-600 MPa'lık basınç uygulaması gerekirken, gram negatifler 25 °C'da 10 dakika süresince 300-400 MPa basınçlama ile inaktive edilebilirler (Trujillo et al., 2002).

Yapılan çalışmalarda, bakterilerin logaritmik gelişme evresi başlangıcında, durgunluk ya da ölüm evrelerine göre basınca daha duyarlı oldukları

saptanmıştır (Alpas et al., 2000; Hugas et al., 2002; Trujillo et al., 2002; Moerman, 2005). Basınca koklardan daha duyarlıdır (Hugas et al., 2002; Park et al., 2003). Ökaryotik mikroorganizmalar basınca prokaryotiklerden daha dayanıklıdır (Moerman, 2005).

Bakteri sporları vejetatif hücelere göre yüksek basınca daha fazla direnç gösterirler (Şanal ve Çalımlı, 2000; Trujillo et al., 2002). Bakteri sporları 1000 MPa'da bile hayatta kalabilirler (Trujillo et al., 2002). Sporların tamamen inaktivasyonu henüz sağlanamamıştır (Spilimbergo et al., 2002). Tek başına YHB uygulaması spor sayısını azaltmada yeterli değildir (Şanal ve Çalımlı, 2000; İbanoğlu, 2002). Birden fazla kez 0.1 MPa ile 600 MPa arası basınç uygulamasının *Bacillus Stearothermophilus* sporlarını  $10^6$  oranında azalttığı saptanmıştır (İbanoğlu, 2002).

Bakteri sporlarının çimlenmesi 50-300 MPa basınçla uyarılabilir, gelişmeye başlayan sporlar ısı veya uygun basınçla öldürülürler (Trujillo et al., 2002). Gould and Sale (1970) tarafından yapılan çalışmada, *Bacillus* sporlarının üzerine 100-300 MPa düzeyinde uygulanan basıncın 11800 MPa'dan daha öldürücü olduğu belirlenmiştir. Letal etkinin, 100-300 MPa gibi düşük basınçların sporların vejetatif forma geçmelerini teşvik ettiği ve olumsuz çevresel koşullara daha duyarlı hale geldiği saptanmıştır (Şanal ve Çalımlı, 2000).

### 3. 1. 2. Biyokimyasal Reaksiyonlarda Meydana Gelen Değişimler

Mikroorganizmalar üzerine yüksek basıncın öldürücü etkisinin, denatürasyon sonrası bazı önemli enzimlerin inaktivasyonu sonucu gerçekleştiği, 100-300 MPa basınçlar arasında tersinir olan denatürasyonun, 300 MPa üzeri basınçlarda geri dönüşümsüz hale geçtiği ifade edilmiştir (Hoover et al., 1989).

Basınç uygulaması, hacim arttıran reaksiyonları yavaşlatırken, hacim azaltan reaksiyonları ise hızlandırmaktadır. Biyokimyasal reaksiyonların çoğu hacim değişimine neden olduğu için basınç uygulamasından etkilenirler. Egzotermik reaksiyonlar basınç ile engellenerek hücrenin yaşaması zorlaştırılır. Basınç, reaksiyon sistemlerini; reaksiyon için gerekli olan uygun moleküler boşluğun azalması ve tepkimelerdeki iç etkileşimlerin artışı olmak üzere iki şekilde etkilemektedir (Gökmen ve Acar, 1995; Hoover et al., 1989).

### 3. 1. 3. Genetik Mekanizmada Meydana Gelen Değişimler

Nükleik asitler yüksek basınca proteinlerden daha dayanıklıdır ve basınçtan daha az etkilenirler. Yapılan araştırmalarda 100 MPa basınç altında uzun süreli uygulamalarda bile bazı hücrelerin DNA yapısının korunduğu gözlenmiştir (Gökmen ve Acar, 1995). DNA ve proteinlerin basınca farklı toleransta olmasının nedeni olarak moleküller arası hidrojen bağlarının DNA'da yüksek derecede olması gösterilmektedir (Hoover et al., 1989).

### 3. 1. 4. Hücre Zarı ve Duvarında Meydana Gelen Değişimler

Hücre zarı yapısı, fosfolipit ve proteinlerden oluşmaktadır (Gökmen ve Acar, 1995). Hücre zarı geçirgenliğinde meydana gelebilecek değişimler hücrenin ölümüne yol açabilmektedir (Gökmen ve Acar, 1995; He et al., 2002). Basınç etkisi ile mikroorganizma ölümlerinin birincil nedeninin hücre zarındaki değişimler olduğu sanılmaktadır (Gökmen ve Acar, 1995; Hugas et al., 2002; Ross et al., 2003). 100-800 MPa arası basınç uygulamalarının hücre zarı geçirgenliğine yol açtığı bilinmektedir (Rastogi et al., 2000). Yüksek basınç uygulamaları sonucu hücre zarını oluşturan katmanların hacminde azalma olmakta, sıkıştırılmış zar genellikle normalden farklı geçirgenlik göstermektedir (Gökmen ve Acar, 1995).

Hücre duvarı mikrobiyal hücrelerin şeklini ve sağlamlığını vermektedir. Yüksek basıncın hücre duvarına zararı nedeniyle hücreler daha geçirgen olmaktadır (Rastogi et al., 2000). Hücre duvarı bozulması 400-500 MPa arasındaki uygulamalarda olmaktadır. Hücrenin iç yapısı, örneğin organellerin morfolojisi basınca daha duyarlıdır (Hartmann and Delgado, 2003). Çekirdek zarı 100 MPa basınç uygulamaları altında etkilenmeye başlar, 400-500 MPa arası basınçlarda tüm organellerin membranları bozulur (Brul et al., 2000; Hartmann and Delgado, 2003). Hücre membranına zarar, gram-negatifler ve çubuk şekilli hücrelerde, gram-pozitif ve kok şekilli olanlardan daha ciddidir. (Spilimbergo et al., 2002). 500 MPa üzeri basınçlarda hiçbir organel tanınamamaktadır (Brul et al., 2000). Perrier-Cornet et al. (1995), Perrier-Cornet et al. (1999)'ın çalışmaları sonucunda, maya hücrelerinin 250 MPa üzeri basınçlarda hacim değişimine uğradığı gösterilmiştir. Perrier-Cornet et al. (1995), maya (*Saccharomyces fubiligera*) hücresi üzerine 250 MPa basınç uygulaması sonucu % 15 hacim azalması gözlemlenmiştir. Bu etki, hücre içinden hücre dış ortamına kütle transferi ile açıklanmaktadır

#### 4. YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇ UYGULAMALARININ ENZİMLER ÜZERİNE ETKİLERİ

Yüksek hidrostatik basıncın gıda muhafaza yöntemi olarak yerleştirilmesi konusunda yapılan çalışmaların birçoğu basınç uygulamalarının mikroorganizmalar üzerine olan etkilerini incelemektedir (Gökmen ve Acar, 1995). Basınç uygulamaları altında gıda enzimlerinin nasıl etkilendiği son yıllarda araştırılmaya başlanmıştır (Şanal ve Çalimli, 2000).

Mikroorganizmalar basınç uygulamaları sonucu genellikle inaktive olurken, enzimler inaktivasyon, aktivasyon veya varolan aktivitelerinin artması gibi tepkiler vermektedir (Gökmen ve Acar, 1995; Şanal ve Çalimli, 2000). Basınçla muamelede uygulanan basınç, uygulama süresine, sıcaklığa bağlı olarak enzimi tamamen veya belli bir ölçüde, dönüşümlü veya dönüşümsüz olarak inaktive edebilir (İbanoğlu, 2002). Yüksek basıncın enzimleri inaktive etmesi; intra-moleküler yapı değişimi veya enzimin aktif yerindeki değişim nedeni ile olmaktadır (Şanal ve Çalimli, 2000). Dönüşümlü aktivasyonun, basınç etkisiyle enzim veya substratın yapısında gerçekleşen değişimlerle oluştuğu açıklanmaktadır (İbanoğlu, 2002). Araştırmacılar, gıda bileşiminde bulunan çözünebilir katı, şeker, protein ve yağ bileşenlerinin enzim inaktivasyonuna karşı koruyucu özellik gösterdiğini belirtmektedirler (Şanal ve Çalimli, 2000).

Yüksek basınç uygulaması ile tripsin aktivitesinde azalma gözlenmiştir (Gökmen ve Acar, 1995). 250 MPa basınç altında 15 dakika muamele ile çilek püresindeki polifenoloksidaz aktivitesinde % 60 kayba, 230 MPa basınç peroksidaz aktivitesinde % 25 kayba yol açarken, 250-400 MPa arasındaki basınçlarda her iki enzimin aktivitesinde de artış görülmüştür (İbanoğlu, 2002). Portakal sularında, 300 MPa ve üzerindeki basınç uygulamalarında pektinesteraz aktivitesinde azalma saptanmıştır (Gökmen ve Acar, 1995).

#### 5. YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇIN PROTEİNLERİN FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Genellikle, basınç altında hidrofobik ve iyonik bağların kırıldığı, hidrojen bağlarının kuvvetlendiği

tespit edilmiştir (Hugas et al., 2002; İbanoğlu, 2002). Kovalent bağlar yüksek basınçtan etkilenmemektedir (Needs et al., 1999; Şanal ve Çalimli, 2000; Hugas et al., 2002; Ross et al., 2003).

Basınç, aminoasitlerin R gruplarındaki asit gruplarının ayrışmasına ve 300 MPa basıncın üzerinde ve oksijenli ortamda S-S bağlarının oluşumuna yol açmaktadır. Yapılan çalışmalar, 100-400 MPa basınç altında moleküllerin polimer yapılarının ayrılarak parçalara ayrıldığını (hidrofobik etkileşimlerin zayıflaması nedeni ile) veya yapısının kısmen açılarak (hidrofobik ve iyonik bağların zayıflaması nedeni ile) denatüre olduğunu göstermektedir. Bu basınç aralığında yapıdaki değişim dönüşümlü olabilir. Yapıdaki bu değişim protein çözünürlüğünü etkiler (Hayakawa et al., 1996; İbanoğlu, 2002).

300-400 MPa üzerindeki basınç uygulamaları birçok proteinin yığılmasına yol açar. Yığılım, protein yapısına, uygulanan basınca, uygulama süresine, protein konsantrasyonu ve pH'ya bağlı olarak değişir. Yığılım, basınç ortadan kalktıktan sonra kısmen açılan proteinin, sulu ortama çıkan hidrofobik gruplar başta olmak suretiyle moleküller arası bağ oluşturmaktan kaynaklanır. S-S bağlarının oluşması yığılımda rol oynar (İbanoğlu, 2002).

Yapılan çalışmalar ile, ısı işlem ve basınç uygulanmış yumurta akı jelindeki yapısal özelliklerin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Anon., 1997). Basınç uygulamasına tabi tutulmuş yumurta akı jelinin suda pişmiş yumurtanıninkine göre daha çabuk sindirildiği, pişmiş tadın aksine doğal bir aroma ve vitamin içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir (Şanal ve Çalimli, 2000; İbanoğlu, 2002).

Isıl işlem uygulanmaksızın, proteinlerin sulu çözeltileri basınç altında belli süre tutulduğunda jel oluştururlar. Böylece besin değeri etkilenmeden jel gıdalar üretilebilir (İbanoğlu, 2002). Basınç uygulaması sırasında amiloz molekülleri çözünür hale gelerek jelleşmeye yol açmaktadır (İbanoğlu ve İbanoğlu, 2003).

Proteinlerin yapısının kısmen açılması onların köpürme ve emülsiyon oluşturma özelliklerinde değişime yol açar. Yüksek basınç kontrollü yapısal değişim sağlayabilir. Böylece istenilen özelliklere sahip proteinler basınç uygulaması ile elde edilebilir (İbanoğlu, 2002).

## 6. ÇEŞİTLİ GIDALAR ÜZERİNDE YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇIN ETKİLERİ

### 6. 1. Süt ve Süt Ürünleri

Günümüzde yüksek basınçla yapılan işlemlerin, süt teknolojisindeki uygulamaları ve bu uygulamalardan sonra süt ve süt ürünlerinin depolanma sürecindeki dayanıklılıkları üzerindeki etkileri ile ilgili olarak literatürde pek fazla bilgi bulunmamaktadır (Kınık ve ark., 2004).

Son yıllarda, sütlerde yüksek basınç uygulaması ile ilgili olarak pek çok mikroorganizma inaktivasyonu çalışması yapılmıştır. Çoğunlukla, çiğ sütün 400-600 MPa altında basınçlanması ile mikrobiyal kalite açısından pastörize süt ile (75 °C/15 s) kıyaslanabilecek seviyeye eriştiği kanıtlanmış, fakat yüksek basınca dirençli sporlar nedeni ile sterilize süt elde edilemeyeceği belirtilmiştir (Trujillo et al., 2002; Kınık ve ark., 2004). Örneğin, 10 °C depolama sıcaklığında 10 gün raf ömrü sağlamak için 20 °C'de 3 dakika boyunca 600 MPa veya 15 dakika boyunca 450 MPa uygulama gerekmektedir (Trujillo et al., 2002).

Yapılan çalışmalarda, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Candida utilis* gibi mikroorganizmalar üzerine yüksek basınç uygulamalarının etkileri incelenmiş ve araştırmacılar basınç seviyesinin bakteri inaktivasyonunda son derece etkili olduğunu belirtmişlerdir (Kınık ve ark., 2004).

50-1000 MPa arası basınçların enzim ve mikroorganizmalar üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, 800 MPa üzerindeki basınçlarda proteolitik enzimlerin inaktivasyonu kaydedilmiş ve yüksek basınçın başta konsistenste olmak üzere, peynirin organoleptik özelliklerinde yararlı etkilere sahip olduğu ileri sürülmüştür. Yapılan çoğu araştırmada yüksek basınç kullanımı ile peynirdeki mikroorganizmaların inaktive edildiği ileri sürülmektedir. Olgunlaşmış dilimli peynirde yüksek basınç uygulamaları ile yüksek sayıda bulunan *Listeria monocytogenes* sayısının azaldığı belirtilmiştir (Trujillo et al., 2000; Trujillo et al., 2002).

Gallot-Lavallée (1998), çiğ keçi sütünden yapılmış peynirde bulunan *L. monocytogenes*'in yıkımı için, yüksek basınçın yeterliliği konusunda yaptıkları çalışmada; 450 MPa /10 dakika veya 500 MPa/5 dakika uygulamalarının peynir organoleptik özelliklerinde önemli etki oluşturmaksızın, *L. Monocytogenes* sayısında 5-6 logaritmik üniteden

daha fazla yıkım sağladığını belirtmişlerdir. Yüksek basınç uygulamaları mikroorganizma yıkımına ek olarak, sütün fiziko-kimyasal ve teknolojik özelliklerine de etki eder. Yüksek basınç işlemleri kazein misellerinin küçük çaplı taneciklere parçalanmasına ve viskozite artışına yol açmaktadır (Trujillo et al., 2000; Trujillo et al., 2002).

Needs et al., (1999) yaptıkları çalışmada, kaymağı alınmış sütteki kazein misellerine basınçın etkisini gözlemlemek için örnekleri elektron mikroskopuyla incelemişlerdir. 200 MPa basınçta 15 dakika uygulama, kazein misellerinin kısmi parçalanmasına ve kalan misellerin yoğunluğunda bir miktar artışa yol açmıştır. 400 MPa ve 600 MPa basınçlardaki uygulamalar tüm büyük misellerin tamamen parçalanması ile sonuçlanmıştır. İşlem görmemiş sütteki tipik misel çapları 150-200 nm olduğu halde, 600 MPa basınca maruz bırakılan örneklerin çaplarının ise yaklaşık 40 nm kadar olduğu belirlenmiştir.

Yüksek basınç ile misel bütünlüğünün bozulması süt rengini de etkiler. Yüksek basınç uygulanmış koyun sütünde L değerinde azalma, -a (yeşil) ve +b (sarı) değerlerinde artma gözlenmiştir. 25 °C'de 500 MPa üzeri basınç uygulamalarında,  $\beta$ -laktoglobulinin en kolay denatüre olan serum proteini olduğu, immunoglobulin ve  $\alpha$ -laktalbuminlerin sadece yüksek basınçlarda, özellikle 50 °C'de denatüre olduğu belirtilmiştir. 25 °C'de 500 MPa basınç altında 5-30 dakika yapılan uygulamalar ile peynir raf ömründe artış sağlanmış ve bu peynirler panalistler tarafından basınç uygulanmamış olanlar ile eşit düzeyde tercih edilmiştir (Trujillo et al., 2000; Trujillo et al., 2002).

### 6. 2. Et ve Et Ürünleri

Yüksek basınç et ürünleri için geleneksel işlemler karşısında teknolojik avantajlar sunabilmektedir. Örneğin, yüksek basınç uygulanmış kanatlı etlerinden yapılan sosisler daha iyi bir tekstüre sahip olduğu, pişirme sonrası, yüksek basınç uygulanmamış etlerden yapılan sosislerden daha sulu bulunduğu belirtilmektedir (Linton et al., 2004). Yapılan çalışmalarda yüksek basınç uygulamasına tabi tutulmuş olan jambonun, işlem görmemiş emsallerine göre daha kolay sindirilebilirliğe sahip olduğu saptanmıştır (Hugas et al., 2002).

Et ve et ürünlerindeki vitamin ve şekerler yüksek basınç uygulamasından etkilenmezler, polisakaritler değişime uğrayabilirler. Yapılan çalışmalar sonucunda, yüksek basınç uygulanmış ve uygulanmamış et örneklerinin vitamin içeriği ve mineral kompozisyonunda önemli bir farklılık olmadığı gözlenmiştir. 600 MPa basınç altında,

6 dakika yüksek basınç ile muamele edilmiş olan vakum ambalajlı pişmiş jambonda, bozulma yapan mikroorganizmaların gelişiminde, yüksek basınç uygulanmamış örneklerle karşılaştırıldığında önemli bir gecikme gözlenmiş, böylece uygulama sonrası en az 60 gün boyunca duyuusal tazeliğin korunması sağlanmıştır (Hugas et al., 2002).

Linton et al. (2004), yaptıkları araştırmada, kıyılmış tavuk etindeki başlangıçta  $2.07 \times 10^4$  CFU/g olan aerob mikroorganizma sayısının,  $40^\circ\text{C}$ 'de, 15 dakika süreyle, 500 MPa seviyesinde gerçekleştirilen basınç uygulaması sonunda  $1.27 \times 10^3$  CFU/g'a düştüğünü belirlemiştir. Yüksek basınç uygulanmamış tavuk eti kıyması örneğinde  $3^\circ\text{C}$ 'de depolama süresince aerobik mikroorganizma sayısı hızla artmış ve yaklaşık 8 gün sonra  $10^7$  CFU/g'a ulaşmıştır. *Enterobacteracea* sayısı yüksek basınç uygulanmamış örnekte, 31 gün sonunda  $1.17 \times 10^2$ 'den  $5.75 \times 10^5$  CFU/g'a yükselmiştir. Bununla birlikte, deneyin sürdürüldüğü 182 gün süresince basınç uygulanmış örnekte *Enterobacteracea* bulunmamıştır.

ABD'de çiğ istiridye tüketimi ile çoğunlukla *Vibriolardan* kaynaklanan şiddetli hastalık vakaları tespit edilmiştir. Yapılan son çalışmalar, patojen *Vibrio* türlerinin 200-300 MPa arası yüksek basınç uygulamalarına hassas olduğunu göstermiştir (He et al., 2002).

Molina-Garcia and Sanz (2002), yüksek hidrostatik basınçın balıklarda bulunan *Anisakis simplex* larvaları üzerine etkilerini tanımlamışlar ve 200 MPa basınç altında 10 dakika uygulama sonucu tüm larvaların öldüğünü saptamışlardır. Yüksek basınçlardaki işlemlerde larvaları öldürmek için düşük basınçlardaki işlemlere oranla daha kısa sürelerin yeterli olduğunu belirlemiştir. *Anisakis simplex*'i öldürmek için minimum işlem süresi olarak, 207 MPa basınçta 180 s, 276 MPa basınçta 90 s ve 414 MPa basınçta 30-60 s saptamışlardır. Yüksek basınç uygulamasının *Anisakis simplex* larvaları ile balık rengi üzerine etkisini belirlemek için yapılan çalışmada (Dong et al., 2003), somon balığında % 100 inaktivasyon sağlayan basınç uygulamaları sonrası, somon balığı renginde önemli bir beyazlaşma görülmüştür. Yüksek basınç uygulamalarının çiğ balıktaki *Anisakis simplex* larvalarını etkin bir şekilde öldürmesine rağmen, renk ve görünüş üzerine olumsuz etki yaptığı saptanmıştır.

Yüksek basınç uygulaması ile proteolitik bir enzim olan katepsin, basınç altında stoplazmaya yayılarak miyofibrilleri parçalar ve etin yumuşamasına yol açar. Sığır etine, kesimin hemen ardından  $35^\circ\text{C}$ 'de 4 dakika boyunca 100 MPa basınç uygulandığında

önemli bir yumuşama görülmüştür (İbanoğlu, 2002). Yapılan çalışmalarda miyoglobinin basınca duyarlı olduğu saptanmış, taze etin 300 MPa basınç uygulaması ile parlak kırmızı rengini kaybettiği gözlenmiştir (İbanoğlu, 2002). Shigehisa et al. (1991) domuz etini *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*, *Candida utilis*, *Escherichia coli*, *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis* ve *Yersinia enterocolitica* ile aşılama, 100-600 MPa arası basınçlarda  $25^\circ\text{C}$ 'de 10 dakika tutmuşlardır. *B. cereus* dışında aşılama mikroorganizmalarının tamamının inaktive olduğu bununla birlikte, 300 MPa ve üzeri basınçlarda etin pıhtılaşığı ve renk kaybına uğradığı saptanmıştır.

## 7. SONUÇ

Son yıllarda, tüketicilerin az işlenmiş gıdalara talebi giderek artmaktadır. Yüksek hidrostatik basınç uygulamaları, artan bu talebi karşılayabilecek nitelikte sağlıklı gıdaların üretimine imkan vermektedir.

Yüksek hidrostatik basınç uygulamaları ile gıda işleme ve muhafaza yönteminde; ısının etkinliğinin azaltılması ile gıdalarda renk, aroma ve besin değeri kayıpları önemli ölçüde engellenmektedir. Gıda üzerinde hızlı ve uniform olarak dağılan basınç etkisi ile yeni tekstür ve fonksiyonel özelliklere sahip gıdaların üretimi de mümkün olmaktadır.

Çevre kirliliğine de yol açmayan bu yeni teknolojinin yaygın kullanılan bir gıda işleme ve muhafaza yöntemi olabilmesi için konuyla ilgili çalışmalara yoğunluk verilmeli, kombine uygulamaların etkileri üzerine de detaylı araştırmalar yapılmalıdır.

## 8. KAYNAKLAR

Alpas, H. Kalchayanand, N., Bozoğlu, F. and Ray, B. 2000. Interactions of High Hydrostatic Pressure, Pressurization Temperature and pH on Death and Injury of Pressure-Resistant and Pressure-Sensitive Strains of Foodborne Pathogens, International Journal of Food Microbiology. 60 : 33-42.

Alpas, H. ve Bozoğlu, F. 2000. Yüksek Hidrostatik Basınç (YHB) Değişken Parametrelerinin *Listeria innocua* Hücrelerinin D ve Z Değerleri Üzerine Etkisi, GIDA. 25 (3) : 213-216.

- Anonim, 1997. Gıda İşlemlerinde Hidrostatik Basınç Kullanımı, Gıda Teknolojisi. 2 (7/8), 49-55.
- Brul, S., Rommens, A. J. M. and Verrips. 2000. Mechanistic Studies on The Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by High-Pressure, Innovative Food Science&Emerging Technologies. 1 : 99-108.
- Deliza, R., Rosenthal, A., Abadio, F. B. D., Silva, C. H. O. and Castillo, C. 2005. Application of High Pressure Technology in the Fruit Juice Processing: Benefits Perceived by Consumers, Journal of Food Engineering. 67 : 241-246.
- Devlieghere, F., Vermeiren, L. and Debevere, J. 2004. New Preservation Technologies: Possibilities and Limitations. International Dairy Journal. 14: 273-285.
- Dong, F. M., Cook, A.R. and Herwig, R. P. 2003. High Hydrostatic Pressure Treatment of Finfish to Interactive Anisakis simplex, Journal of Food Protection. Vol. 66, N. 10 : 1924-1926.
- Farr, D. 1990. High Pressure Technology in the Food Industry. Trends Food Science and Technology. 1: 14-16.
- Gallot-Lavallée, T. 1998. Effectiveness of High Pressure Treatment for the Destruction of *Listeria monocytogenes* in Raw Milk Goat Cheese. J. Sciences des Aliments, 18 (6): 647-655.
- Gökmen, V. ve Acar, J., 1995. Yüksek Basınç Teknolojisinin Gıda Endüstrisinde Uygulamaları, GIDA, 20(3):167-172.
- Hartmann, C. and Delgado, A. 2004. Numerical Simulation of the Mechanics of a Yeast Cell Under High Hydrostatic Pressure, Journal of Biomechanics. 37 : 977-987.
- Hayakawa, I., Linko, Y. And Linko, P., 1996. Mechanism of High Pressure Denaturation of Proteins. Lebensmittel-Wissenschaft Technologie. 29:756-762.
- He, H., Adams, R.M., Farkas, D. F. and Morissey, M.T., 2002. Use of High Pressure Processing for Oyster Shucking and Shelf-Life Extension, Journal of Food Science. Vol. 67, N. 2 : 640-645.
- Heremans, K. 1982. High Pressure Effects on Proteins and Other Biomolecules. Ann. Rev. Bioeng., 11:1-21.
- Hoover, D. G., Metrick, C., Papineau, A. M., Farkas, D. F. and Knorr, D. 1989. Biological Effects of High Hydrostatic Pressure on Food Microorganisms. Food Technology. 43 : 99-107.
- Hugas, M., Garriga, M. and Monfort, J. M. 2002. New Mild Technologies in Meat Processing: High Pressure as a Model Technology, Meat Science, 62 : 359-371.
- İbanoğlu, E. 2002. Gıdalarda Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulaması, GIDA, 27 (6) : 505-510.
- İbanoğlu, E. ve İbanoğlu, Ş. 2003. Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulamasının Mısır Nişastasının Jelatinizasyonu Üzerine Etkileri, GIDA, 28 (3) : 273-276.
- Kınık, Ö., Kavas, G., Uysal, H. ve Kesenkaş, H. 2004. Yüksek Hidrostatik Basınç Tekniğinin Süt Endüstrisindeki Uygulamaları, GIDA. 29 (1) : 95-102.
- Linton, M., Mc Clements, J. M. J. and Patterson, M. F. 2004. Changes in the Microbiological Quality of Vacuum-Packaged, Minced Chicken Treated With High Hydrostatic Pressure, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 5 : 151-159.
- Minerich, P. L. and Labuza, T. P. 2003. Development of a Pressure Indicator for High Hydrostatic Pressure Processing of Foods, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 4 : 235-243.
- Moerman, F. 2005. High Hydrostatic Pressure Inactivation of Vegetative Microorganisms, Aerobic and Anaerobic Spores in Pork Marengo, a Low Acidic Particulate Food Product, Meat Science. 69:225-232.
- Molina-Garcia, A. D. and Sanz, P. D. 2002. Anisakis Simplex Larva Killed by High-Hydrostatic Pressure Processing. Journal of Food Protection. 65: 383-388.
- Needs, E. L., Stenning, R.A., Gill, A.L., Ferragut, V. and Rich, G. T. 1999. High Pressure Treatment of Milk: Effects on Casein Micelle Structure and on Enzymic Coagulation, Journal of Dairy Research, 67 : 31-42.
- Oxen, P. and Knorr, D. 1993. Baroprotective Effects of High Solute Concentrations Against Inactivation of *Rhodotorula rubra*. Lebensmittel-Wissenschaft Technologie.
- Park, S-J., Lee, J. I. and Park, J. 2002. Effects of a Combined Process of High Pressure Carbon Dioxide and High Hydrostatic Pressure on The Quality of Carrot Juice, Journal of Food Science. Vol. 67, N. 5 : 1827-1833.



Park, S-J., Park, H-W. and Park, J. 2003. Inactivation Kinetics of Food Poisoning Microorganisms by Carbon Dioxide and High Hydrostatic Pressure, *Journal of Food Science*. Vol. 68, N. 3 : 976-981.

Perrier-Cornet, J.M., Hayert, M. and Gervais, P. 1999. Yeast Cell Mortality Related to a High-Pressure Shift: Occurrence of Cell Membrane Permeabilization. *Journal of Applied Microbiology*. 87, 1-7.

Perrier-Cornet, J.M., Marechal, P.A. and Gervais, P. 1995. A New Design Intended to Relate High-Pressure Treatment to Yeast Cell Mass Transfer. *Journal of Biotechnology*. 41, 49-58.

Rastogy, N.K., Angersbach, A. and Knorr, D. 2000. Synergistic Effects of High Hydrostatic Pressure Pretreatment and Osmotic Stress on Mass Transfer During Osmotic Dehydration, *Journal of Food Engineering*. 45 : 25-31.

Ross, A. I. V., Griffiths, M. W., Mittal, G. S. and Deeth, H. C. 2003. Combining Nonthermal Technologies to Control Foodborne Microorganisms, *International Journal of Food Microbiology*, 89 : 125-138.

Shigehisa, T., Ohmori, T., Saito, A., Taji, S. and Hayashi, R. 1991. Effect of High Hydrostatic Pressure on Characteristics of Pork Slurries and Inactivation of Microorganisms Associated with Meat and Meat Products. *International Journal of Food Microbiology*. 12 : 207-216.

Spilimbergo, S., Elvassore, N., and Bertucco, A., 2002. Microbial Inactivation by High Pressure, *Journal of Supercritical Fluids*. 22 : 55-63.

Şanal, İ. S. ve Çalimli, A. 2000. Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisi ve Gıda Endüstrisinde Uygulamaları, *GIDA*. 25 (3) : 193-201.

Trujillo, A.J., Capellas, M., Buffa, M., Royo, C., Gervilla, R., Felipe, X., Sendra, E., Saldo, J., Ferragut, V. and Guamis, B. 2000. Application of High Pressure Treatment for Cheese Production, *Food Research International*. 33 : 311-316.

Trujillo, A. J., Capellas, M., Gervilla, R., Saldo, J. and Guamis, B. 2002. Application of High Hydrostatic Pressure on Milk and Dairy Products: a Review, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3 : 295-307.