

**ET TEKNOLOJİSİNDE
YÜKSEK BASINÇ UYGULAMALARI**

**Hayrunnisa ÖZLÜ
Y. Lisans Tezi**

**G da Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç.Dr. Muhammet İrfan AKSU
2006**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ET TEKNOLOJİSİNDE
YÜKSEK BASINÇ UYGULAMALARI**

Hayrunnisa ÖZLÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2006**

Her hakk saklı dır

ÖZET

Y. Lisans Tezi

ET TEKNOLOJİSİNDE YÜKSEK BASINÇ UYGULAMALARI

Hayrunnisa ÖZLÜ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Muhammet İrfan AKSU

Yüksek basınç (YB); ısıtma işlemi olmaksızın sıvı veya katı gıdalara 100-1000 MPa basınç uygulaması ile gerçekleştirilen bir gıda muhafaza tekniğidir. Gıda teknolojisinde ilk YB uygulamaları 1895 yılında başlanmasına rağmen et teknolojisindeki uygulamaları 1973 yılında yapılmıştır. Bu ilk araştırmalardan sonra et ve et ürünlerinin gevreklik, renk, lezzet, yağ oksidasyonu ve mikrobiyal güvenilirliği üzerine YB'nin etkisiyle ilgili bir çok araştırma yapılmıştır.

YB uygulanmasıyla gıdaların besinsel, fonksiyonel ve duyu özellikleri doğala yakın korunabilmektedir. YB, daha iyi görünüme, tekstüre ve su tutma kapasitesine sahip yüksek kaliteli gıdaların üretilmesi için uygun bir metot olarak büyük ilgi görmektedir. YB uygulanmış gıdalarda patojen mikroorganizmaların inaktive edilmesiyle hem mikrobiyal güvenilirliği yüksek hem de raf ömrü daha uzun ürünler elde edilmektedir. YB uygulaması enzimlerin inaktivasyonuna veya aktivasyonuna neden olabilmesi, kovalent bağları etkilememesi ve proteinlerde yapısal değişimlere neden olmasından dolayı etlerin tazeliğinin korunmasında, tekstürel, renk, tat ve aroma özelliklerinin geliştirilmesinde etkili olmaktadır.

Geleneksel ısıtma işlem yöntemlerine göre işlem süresinin daha kısa olması ve sıcaklıktan kaynaklanan zararların azaltılması bu tekniği diğer yöntemlere göre avantajlı hale getirmektedir. YB uygulamasının ısıtma işlemleri, enzimatik karışımlar, doğal antimikrobiyal ve antioksidan maddelerle birlikte kullanılabilir olması bu yöntemin etkinliğini artırmaktadır. YB uygulaması emülsiyon tipi et ürünlerinin jel oluşturma ve yapısal özelliklerini de geliştirmektedir. Ayrıca, et ve et ürünlerinin YB ile dondurulması sonucu daha küçük buz kristalleri oluşmakta ve böylece donma ve çözünmenin istenmeyen etkileri ortadan kalkmaktadır. YB uygulaması ile duyu özellikleri korunan, sağlıklı, beslenme yönünden kaliteli ve raf ömrü uzun gıdaların üretilmesi mümkün olmaktadır. YB teknolojisinin ticari alanda yaygın olarak kullanılabilmesi için işlem parametrelerinin tam olarak belirlenmesi, geliştirilmesi ve standardize edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada yüksek basınç, et ve et ürünlerinin bileşenlerine ve kalite özelliklerine etkileri ile et teknolojisindeki yeri ve uygulamaları ele alınarak bu alanda yürütülen çalışmaların bir derlemesi yapılmıştır.

2006, 71 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yüksek basınç, et ve et ürünleri, protein, tekstür, raf ömrü

ABSTRACT

MS Thesis

HIGH PRESSURE APPLICATIONS ON MEAT TECHNOLOGY

Hayrunnisa ÖZLÜ

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Muhammet İrfan AKSU

High pressure (HP) process is a food protect technique without thermal proceeding in which solid and liquid food are exposed to a pressure ranging between 100 and 1000 MPa. While the first application HP was applied in 1895 in the food technology on the other hand the first in meat technology was applied in 1973. After these first studies a number of investigations on tenderness, color, taste lipid oxidations and microbiological safety of meat and meat products as regards the HP effect were carried out.

By HP application the nutritional, functional and sensory properties of foods can be preserved close to their natural condition. Therefore HP is paid great attention as a suitable method for producing high quality foods of better appearance, texture and water binding capacity. By inactivating pathogen microorganisms in foods, on which HP applied foods having both high microbiological safety and longer extended shelf-life can be obtained. HP application is effective maintaining the freshness and in developing the texture, color, natural taste and flavour features of meat as it can cause inactivation or activation of the enzymes, won't effect covalent bonds and leads to structural transformations in proteins.

Having less process time compared to traditional thermal processing methods and decreasing the harms cause by heat this method is much more advantageous than the others. Its availability to be used by thermal processing, enzymatic mixtures, natural antimicrobial and antioxidant substances increases the efficient of these method. HP application also develops gel forming and structural features of meat products of emulsion type. Furthermore smaller ice crystals occur after meat and meat products have been frozen by HP and thus the side effects of freezing and melting disappear. It is possible to produce foods whose sensory features are maintained, healthy, high quality in terms of nutritional and having long shelf-life thanks to the HP application. In order for HP technology to be used widely in commercial fields process parameters ought to be completely determined, developed and standardized.

In this study the effect of HP on components and quality features of meat and meat products together with its place and application in meat technology have been taken into consideration and review of the studies rendered in this field has been made.

2006, 71 pages

Keywords: High pressure, meat and meat products, protein, texture, shelf-life

TEŞEKKÜR

Sayın Yrd. Doç. Dr. Muhammet İrfan AKSU'ya tez çalışması boyunca göstermiş olduğu anlayış ve rehberliği için en derin teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, eşim Ziraat Yüksek Mühendisi Atilla ÖZLÜ'ye desteği ve inancından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla.

Hayrunnisa ÖZLÜ

Ağustos 2006

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. YB UYGULAMALARININ TARİHSEL SÜRECİ	4
3. YB UYGULAMASININ TEMEL PRENSİPLERİ	6
4. YB SİSTEMİ	8
4.1. YB Sisteminde Kullanılan Ekipmanlar	9
4.1.1. Basınç kabini.....	9
4.1.2. Düşük basınç pompası	11
4.1.3. YB pompası	12
4.1.4. Kapak, kapak aparatları ve vanalar	12
4.1.5. Kontrol ünitesi (basınç ve sıcaklık ölçümü)	13
4.2. YB Üretim Sistemleri	13
4.2.1. İndirekt basınç üretim sistemi	13
4.2.2. Direkt basınç üretim sistemi	13
4.3. YB Uygulama Yöntemleri.....	14
4.3.1. Kesikli sistem.....	14
4.3.2. Yarı sürekli sistem.....	15
4.3.3. Sürekli sistem.....	16
5. YB'IN GIDA BİLEŞENLERİNE ETKİSİ	17
5.1. Su.....	17
5.2. Proteinler.....	19
5.3. Karbonhidrat ve Lipitler	21
6. YB'IN ET ENZİMLERİNE ETKİSİ	23
6.1. Kalpainler	23

6.2. Katepsinler	24
6.3. ATPaz	25
7. YB UYGULAMASININ ETİN YAPISINA ETKİSİ	26
8. YB'IN ETİN FONKSİYONEL VE DUYUSAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ	28
8.1. Tekstür	28
8.2. Renk Değişimleri	32
8.3. Lipit Oksidasyonu	35
8.4. Jelleşme Özellikleri	36
8.5. Tat Bileşenleri	38
9. YB YARDIMIYLA DONMA VE ÇÖZÜNME	40
9.1. Donma Olmaksızın YB ile Gıdaların Korunması	42
9.2. YB Altında Gıdaların Hızlı Donması	42
9.3. YB Altında Donmuş Gıdaların Hızlı Çözünmesi	44
10. YB'IN MİKROORGANİZMALAR ÜZERİNE ETKİLERİ.....	45
10.1. YB'ın Mikroorganizmaların İnaktivasyon Kinetiği Üzerine Etkileri	47
10.2. Mikroorganizmaların Basınca Duyarlılığını Etkileyen Faktörler	51
10.3. YB Uygulanarak Gıdaların Mikrobiyolojik Kalitesinin Artırılması	57
11. SONUÇ	60
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

atm	Atmosfer basıncı
°C	Santigrat derece
°F	Fahrenheit derece
F	Kuvvet
in	Inch
kg	Kilogram
kgf	Kilogram kuvvet
lbf	Libre kuvvet
lt	Litre
MPa	Mega paskal
N	Newton
P	Basınç
Pa	Paskal
Psi	Per square inch

K saltmalar

AB	Avrupa Birliği
ASME	American Society of Mechanical Engineers
EC	European Commission
FDA	Food and Drug Administration
NACMCF	National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods
SEM	Tarama elektron mikrograf
TEM	Transmisyon elektron mikrograf
TPA	Tekstür Profil Analizi
TBARS	<u>Thiobarbituric acid reactive substances</u>
TBA	<u>Thiobarbituric acid</u>
USDA	United States Department of Agriculture
WBS	Warner-Bratzler Shear
YB	Yüksek Basınç

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Birim alana uygulanan kuvvet (Karakaya vd 2004)	6
Şekil 3.2. Paskal prensibi (Anonymous 2006b)	7
Şekil 4.1. YB uygulama ünitesi (Hogan <i>et al.</i> 2005).....	8
Şekil 4.2. YB uygulamasının işlem basamakları (Singh 2001)	9
Şekil 4.3. Tipik bir YB sistemi (Mertens and Deplace 1993;Yuste 2001a).....	10
Şekil 4.4. İndirekt (A) ve direkt basınç (B) kabinlerinin kesit görünüşü (Singh 2001)	11
Şekil 4.5. Çift yönlü intensifiyer (Zimmerman and Bergman 1993).....	12
Şekil 4.6. Kesikli sistem (Singh 2001).....	15
Şekil 4.7. Yarı sürekli sistem (Singh 2001)	16
Şekil 9.1. Su faz diyagramı ve faz geçişlerine YB uygulamasının etkisi (Luscher <i>et al.</i> 2004; Molina-García <i>et al.</i> 2004)	40
Şekil 9.2. YB’ın düşük sıcaklık bölgesindeki temel işlemleri (Urrutia Benet <i>et al.</i> 2004).....	41
Şekil 9.3. Taze ve donmuş domuz et mikrografları (Molina-García <i>et al.</i> 2004)	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1. Farklı materyallere uygulanan her 100 MPa basıncın sıcaklık üzerine etkisi (Ürünlerin ilk sıcaklığı 25°C) (Rasanayagam <i>et al.</i> 2003).....	18
Çizelge 8.1. YB uygulamasının çiğ ve farklı sıcaklıklarda pişirilmiş etlerin gevrekliği üzerine etkisi (De Lamballerie-Anton <i>et al.</i> 2002).....	30
Çizelge 8.2. YB uygulamasının etin sertliği ve elastikiyetine etkisi (Suzuki <i>et al.</i> 1998).....	31
Çizelge 8.3. YB uygulanan deniz levreğinin 4 °C’de 0, 7 ve 14 gün depolanma sonunda L*, a* ve b* değerleri (Chéret <i>et al.</i> 2005).....	34
Çizelge 10.1. Bazı bakterilerin sayılarında 5 log birimlik redüksiyon için 15 dakika süreyle uygulanan YB değerleri (Hogan <i>et al.</i> 2005).....	50
Çizelge 10.2. Çeşitli gıdalardaki mikroorganizmaların farklı YB uygulama şartlarındaki redüksiyonu (Patterson 2004)	53
Çizelge 10.3. Kanatlı etindeki <i>Escherichia coli</i> ve <i>Staphylococcus aureus</i> sayılarında 5 log birimlik redüksiyon için gerekli olan 15 dakikalık farklı sıcaklık ve basınç değerleri (Hogan <i>et al.</i> 2005).....	54
Çizelge 10.4. Farklı basınç ve sıcaklık uygulamalarının sığır eti pH’sına etkisi (Ma and Ledward 2004).....	58

1. GİRİŞ

Günümüzde gıdaları doğal ve taze özelliklerine yakın özellikte uzun süre muhafaza edebilecek, gıda kaynaklı hastalıkları azaltabilecek, güvenilir, ekonomik ve hijyenik muhafaza yöntemlerine yönelik beklentiler artmıştır. Bu durum, güvenlikten taviz verilmeksizin yüksek kaliteli ve nitelikli ürünleri üretebilmek için, yeni koruma teknolojilerinin gıda sanayinde kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir (Garriga *et al.* 2004). Bu zorunluluk bilim adamlarını gıda güvenirliliği konusunda yeni arayışlara itmiştir. Bu araştırmalardan biride gıdaların renk, tat ve tekstürü üzerine geri dönüşümsüz olarak etkili olan ısıtma işlem tekniklerine alternatif yüksek basınç (YB) teknolojisidir. Gıdalarda arzu edilmeyen sıcaklık etkilerini azaltan termal olmayan bir teknik olarak yaygın uygulama alanı bulan YB uygulaması son zamanlarda, gıda sanayinde önemli koruma metotlarından biri olarak yerini almıştır (Mañas and Mackey 2004).

YB uygulamasının gıda üzerine etkisinin araştırılmasına yaklaşık yüz yıl önce başlanmıştır (Fonberg- Broczek *et al.* 2005). Zaman içerisinde teknolojiye gelişmeler ve hükümetlerin desteğinin bir sonucu olarak özellikle Japonya’da gıda ürünlerine YB uygulama çalışmaları artmıştır (Suzuki 2005). Bu kadar geniş yelpazede benimsenen ve ilgi gören bu metodun et teknolojisindeki uygulamaları Avustralya’da 1970’li yıllarda gerçekleştirilmiş olmasına rağmen (Suzuki 2005) öneminin anlaşılması 1990’lı yılları bulmuştur (Fonberg-Broczek *et al.* 2005).

YB uygulamasının gıdalar üzerindeki etkileri farklı olmaktadır. Çeşitli araştırmalarda YB’nin gıda maddelerinde bulunan enzimleri inaktive, zararlı vejenatif hücreleri ise tahrip ettiği belirtilmiştir (Hendrickx *et al.* 1998; Garriga *et al.* 2004). YB uygulamasının kovalent bağları fazla etkilememesinden dolayı tat, aroma, vitaminler (NACMCF 2004), pigmentler, fenoller ve diğer benzer bileşenler üzerinde önemli değişimlere yol açmadığı vurgulanmıştır. Ayrıca YB uygulaması ile duyuusal özellikleri

korunan, sağlıklı ve raf ömrü uzun gıdalar üretilebilmektedir (Tewari *et al.* 1999; Fonberg-Broczek *et al.* 2005).

YB uygulamasının gıdaların tekstür ve strüktüründe spesifik etkilere neden olduğu ileri sürülmüştür. Bu sebeple yeni ürünler geliştirilmesinde veya bazı ingrediyeentlerin fonksiyonlarının artırılması konusunda kullanılabilir olduğu belirtilmiştir (Hugas *et al.* 2002; Ardia 2004). Et açısından incelendiğinde, YB uygulaması etin moleküler bileşenlerinde değışikliklere neden olmakta (renk ve jelatin özellikleri gibi), fonksiyonel özelliklerini ve tekstürünü etkilemektedir (Jung *et al.* 2003; Mor-Mur and Yuste 2003; Yetim vd 2003; Zorba ve Kurt 2005).

YB uygulaması ısıl işlemler, enzimatik karışımlar, doğal antimikrobiyal ve antioksidan maddelerle birlikte kullanılabilir olması bu yöntemin etkinliğini artırmakta ve avantajlı hale getirmektedir. Ayrıca nişastanın soğuk jelleşmesi, proteinlerin ısı olmaksızın koagülasyonu ve belirli enzimlerin inaktivasyonu gibi işlemlerle yeni et ürünlerinin geliştirilmesine katkıda bulunacak YB uygulamalarında da ümit verici gelişmelerin sağlandığı bildirilmiştir (Hugas *et al.* 2002; Ardia 2004; Bragagnolo *et al.* 2006).

Diğer taraftan YB teknolojisinin ticari ve akademik çevrelerde ilgi görmesinin sebebi non-termal bir yöntem olması, yani herhangi bir ısıl işlem uygulanmaksızın gıdaların mikrobiyal yükünü azaltmış olmasıdır. Ayrıca maillard reaksiyonları, farklı tat oluşumları, vitaminlerin yapısının bozulması ve enzimatik esmerleşme gibi kimyasal reaksiyonları engellediği ifade edilmiştir (Ardia 2004). Gıdalarda arzu edilmeyen sıcaklık etkilerini iyileştirmek amacıyla ısıl işlemlere alternatif olan termal olmayan tekniklerin geliştirilmesi üretici, tüketici ve araştırmacı üçgeni içerisinde oldukça benimsenmiştir.

Günümüzde gıda sektöründe YB uygulamalarının en fazla kullanıldığı ve bu konuda yoğun araştırma faaliyetleri sürdüren başlıca ülkeler; Japonya (meyve suyu, reçel, jambon, balık, sake (pirinç likörü), pirinç ürünleri), ABD (meyve suyu ve istiridye),

Meksika (meyve suyu), Fransa (özellikle elma suyu) ve İspanya'dır (jambon ve diğer et ürünleri) (Hugas *et al.* 2002).

YB yönteminin özellikle dilimlenmiş, pişirilmiş ve tütülenmiş et ürünleri açısından gelecekte iyi bir muhafaza metodu ve pastörizasyon işlemi olarak yer alacağı düşünülmektedir. Ayrıca, bu yöntemin oldukça düşük enerji tüketimine sahip olması ve yeni ürünlerin geliştirilmesi için büyük bir potansiyel olarak görülmesi diğer yöntemlere karşı avantajlı hale getirmektedir (Hugas *et al.* 2002).

Bu çalışmada yüksek basıncın gıda endüstrisindeki potansiyel uygulamaları, et teknolojisindeki yeri ve uygulama şekilleri, et ürünlerinin kalite özellikleri ve bileşenlerine etkileri ele alınarak bu alanda yürütülen çalışmaların bir derlemesi yapılmıştır.

2. YB UYGULAMALARININ TARİHSEL SÜRECİ

Yüksek basınç uygulamasıyla ilgili ilk çalışma H. Roger tarafından 1895 yılında bakterilerin inaktivasyonu üzerine yapılmıştır. Gıda bilimi ve teknolojisi bakımından en önemli çalışma, Bert Hite tarafından 1899 yılında Batı Virjinya Tarımsal Deney İstasyonu'nda sütün pastörizasyonu ile mikroorganizmaların inaktivasyonu konusunda yapılmıştır (Karatzas and Bennik 2002). Bu çalışmada çiğ süte 600 MPa'lık basıncın oda sıcaklığında 1 saat süresince uygulanması sonucu sütün raf ömründe yaklaşık 4 günlük bir artış sağlandığı bildirilmiştir. 200 MPa'lık basınçta ise sütün ekşimesinde yaklaşık 24 saat'lik gecikmeye neden olduğu görülmüştür. P.W. Bridgman ise 1914 yılında YB'ın yumurta albüminlerini koagüle ettiğini ileri sürmüştür (Anonymous 2006a).

FDA (2000)'de bildirildiğine göre, Larsen *et al.* (1918) tarafından yapılan çalışmada 14 saat süreyle 607 MPa'lık basınç uygulandığında vejetatif hücrelerde ölümler gözlenmiştir. Bakteri sporlarının basınca karşı aşırı derecede dirençli olduğu ve ancak 1214 MPa'lık bir basınç uygulanması ile inaktive oldukları belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda YB'ın mikrobiyal gelişmeyi engelleyebileceği ve hücrelerin ölümüne sebep olabileceği ileri sürülmüştür.

Gıda teknolojisinde YB uygulamaları ile ilgili araştırmalara daha sonraki yıllarda da devam edilmiştir. 1965 yılında Timson ve Short tarafından yapılan bir çalışmada 35°C'de 90 dakika süreyle 103,5 MPa'lık basıncın sütteki bakteri popülasyonunu yaklaşık %0,05 seviyesine düşürdüğü belirtilmiş ancak *Bacillus subtilis* ve *Bacillus alvei* sporlarının canlılıklarını sürdürdükleri ifade edilmiştir (FDA 2000).

Yüksek basıncın et teknolojisinde uygulanmasına 1973 yılında MacFarlane tarafından başlanmıştır. Bu çalışmadan sonra et ve et ürünlerinin çeşitli özelliklerine YB'ın etkisini araştırmak amacıyla birçok araştırma yapılmıştır (Suzuki *et al.* 1998; Jung *et al.* 2003).

1974 yılında Gıda Teknolojileri Enstitüsü'nde yapılan bir toplantıda D.C. Wilson tarafından gıda koruyucu olarak yüksek sıcaklık ile basıncın birlikte kullanılması doğrultusunda bir çalışma sunulmuş, araştırıcı basınç (yaklaşık 140 MPa) ve sıcaklığın (82-103°C) birlikte uygulanmasının düşük asitli gıdaların sterilizasyonunda etkili olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca, basınçla sıcaklığın birlikte kullanılması YB uygulamasının etkisini artırdığı vurgulanmıştır. Yapılan çalışmada Gram(+) bakteri sporlarının D-değeri 100 °C ve 138 MPa basınçta 2,2 dakika iken, 100 °C ve 0,35 MPa basınçtaki D-değeri 280 dakika olduğu belirlenmiştir (FDA 2000).

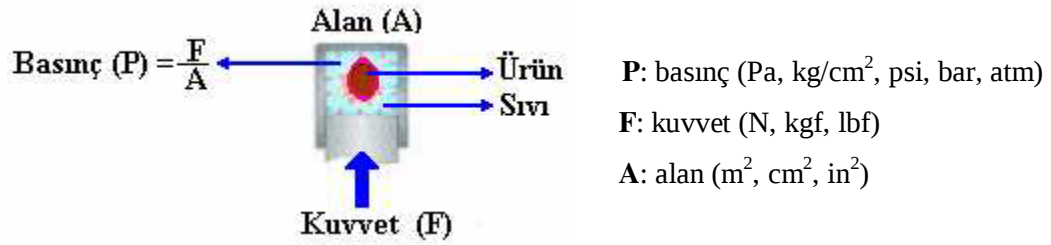
1980'li yıllardan sonra YB uygulamasının et, süt ve meyve gibi gıdalardaki mikroorganizmaların ve enzimlerin inaktivasyonu, sporların öldürülmesi, proteinlerin yapısı, vitamin içeriği, aroması, rengi ve tadı üzerine etkisiyle ilgili birçok araştırma yapılmıştır.

1990'lı yıllarda Japonların bu alana ilgi duyması ile birlikte araştırmalar hızlanmış ve ilk olarak Japonlar tarafından YB uygulanmış meyveli gıdalar pazara sunulmuştur. Böylece, Japon marketlerinde çeşitli meyve reçel ve jelleri, portakal ve greyfurt suları, meyveli yoğurt ve meyve sosları gibi birçok ticari ürün yer almaya başlamıştır. Japonya'dan yaklaşık 5-6 yıl sonra Avrupa ile birlikte ABD'de de YB uygulanmış ürünler piyasaya sunulmuştur (Karatzas and Bennik 2002). 1995 yılında Fransa'da YB uygulanarak üretilmiş portakal suları, 1997 yılında İspanya'da dilimlenmiş jambon ve ABD'de avakado püresi (guacamola) piyasada yer almaya başlamıştır.

Bu gelişmeler sonucunda Avrupa Birliği (AB) mevzuatında ‘‘yeni gıdalar’’ kategorisinde YB uygulanmış gıdalara da yer verilmiştir. Böylece, AB'nin tüm ülkelerinde satışa sunulan yeni gıdalar için (EC 258/97) gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemelerle birlikte AB ülkelerinde son yıllarda YB uygulamalarıyla ilgili araştırmalar hızlanmış ve belirli ürünlere uygulanmaya başlanmıştır (Fonberg-Broczek *et al.* 2005).

3. YB UYGULAMASININ TEMEL PRENSİPLERİ

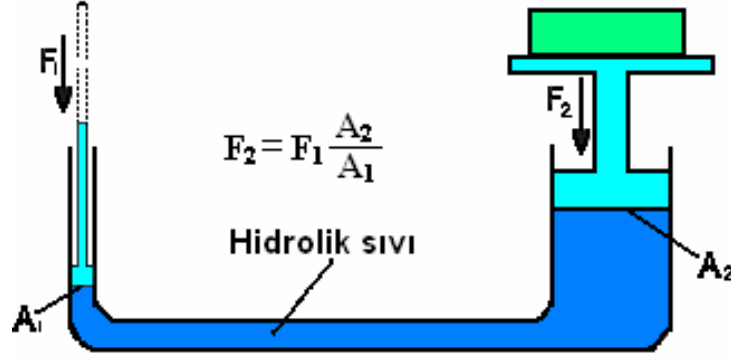
Özellikle 100-600 MPa arasında basınç uygulamasını içeren YB uygulamasının temel prensibi Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi (Karakaya vd 2004) ürünü çevreleyen sıvıya uygulanan kuvvetle sıvının sıkıştırılması ilkesine dayanmaktadır (Mañas and Pagán 2005).



Şekil 3.1. Birim alana uygulanan kuvvet (Karakaya vd 2004)

Gıda işlemede YB'ın kullanımı iki bilimsel prensiple doğrudan ilgilidir. Bunlardan birincisi “Le Chatelier Prensibi” dir. Bu prensip; dengede bulunan bir sisteme dışardan bir etkiye sunulduğunda sistemin bu etkiyi azaltıcı yönde yeni bir denge hali oluşturmasıdır. Bu durum basınçtaki artışa karşı hacimdeki bir azalış anlamına gelmektedir. Basınç altındaki gıda bileşenlerinde oluşan faz geçişi, kimyasal tepkime ve moleküler konformasyondaki değişim gibi reaksiyonların herhangi biri basınçtaki artışa karşı hacimdeki bir azalış kuralıyla oluşmaktadır (Hugas *et al.* 2002; Hogan *et al.* 2005).

İkincisi ise “İzostatik Basınç Kuralı”dır. Bu kural ise, Pascal kanununa dayanmaktadır (Şekil 3.2.) (Anonymous 2006b). Bu kanuna göre kapalı ve sızdırmaz bir sistem içerisindeki sıvıya uygulanan basınç, sıvıyı saran sistemin her noktasına aynı anda yaptığı basıncın eşit olduğu ilkesiyle açıklanmaktadır. Basınç ortamında sıvı kullanıldığı için YB uygulaması gıdanın kompozisyonuna, şekline, büyüklüğüne bağlı olmadan gıdanın tüm kütesine ani ve üniform olarak yapılmaktadır. Basınç uygulanacak ürünün ambalajlı olup olmaması, basıncın ürünün tamamına ani ve üniform olarak ulaşmasını etkilememektedir (Ardia 2004; Hogan *et al.* 2005).



F_1 ve F_2 : A_1 ve A_2 yüzey alanlarına dik olarak etki eden kuvvetler (N, kgf, lbf)
 A_1 ve A_2 : Yüzey alanları (m^2 , cm^2 , in^2)

Şekil 3.2. Paskal prensibi (Anonymous 2006b)

YB sisteminde uygulanan basıncın gıdaya iletilmesinde basınçlama sıvısı olarak özel hidrolik yağlar, hidrokarbonlar veya su kullanılmaktadır (Cheftel and Culioli 1997). Sistemde kullanılan basınçlama sıvısına FDA (Food and Drug Administration) ve USDA (United States Department of Agriculture) onaylı yağlayıcılar, anti korozyon ajanlar ve antimikrobiyal maddeler ilave edilebilmektedir. Basınçlama sıvısı olarak yağ kullanılan YB sistemleri geçirgen olmayan materyal ile ambalajlanmış gıdalara uygulanabilmektedir. Pratikte ise basınçlama sıvısı olarak filtrelenmiş içilebilir su kullanılmaktadır (FDA 2000). Kullanılan basınçlama sıvılarından hexanın hacmi 300 MPa'da %20 ve 600 MPa'da %25 azalırken suyun hacmi 300 MPa'da %10 ve 600 MPa'da %15 azaldığı bilinmektedir (Anonymous 2006a).

YB uygulaması sırasında basınç üretmek için kullanılan enerjinin bir kısmı termal enerjiye dönüşmektedir. Ürüne uygulanan her 100 MPa'lık basınç artışı ürünün sıcaklığında üniform olarak yaklaşık 3°C'lik (5°F) bir artışa neden olmaktadır. Günümüzde ticari olarak uygulanan basınç süresi ürünün özelliklerine bağlı olarak milisaniyeden 20 dakikanın üzerindeki bir zaman aralığında değişebilmektedir (Singh 2001).

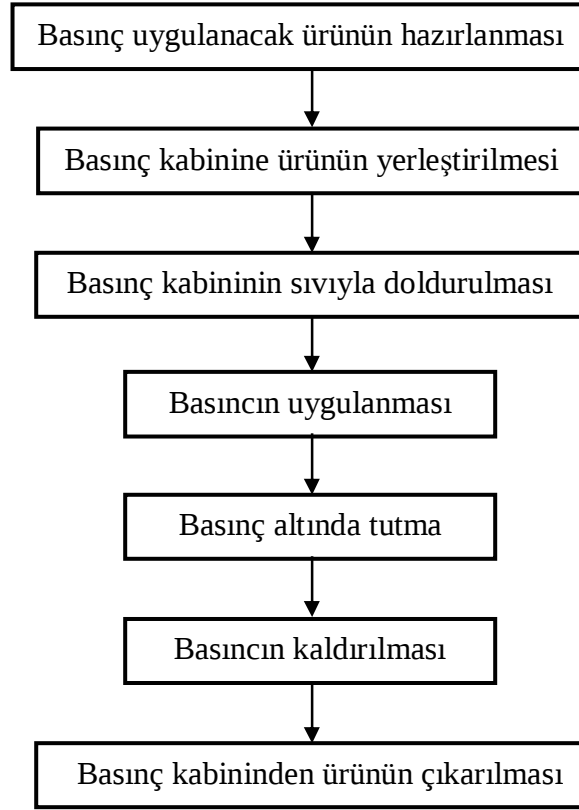
4. YB SİSTEMİ

Ambalajlı veya ambalajsız sıvı veya katı gıdaların 100-1000 MPa basınca maruz bırakılması yüksek hidrostatik basınç veya ultra yüksek basınç işlemi olarak tanımlanmaktadır (FDA 2001). YB işlemi esnasında uygulanan 1000 MPa'lık basıncın ne anlama geldiğinin daha iyi anlaşılabilmesi için 10000 kg'lık bir ağırlığın aynı anda 1 cm²'lik alana yaptığı etkiye eşit olmasıyla açıklanabilir (Hogan *et al.* 2005).

Günümüzde gıdalara uygulanacak basınç seviyesi ve süresinin hesaplanması ve YB'a dayanıklı çeşitli ambalaj materyallerinin üretilebilmesindeki teknolojik ilerlemelerden dolayı daha güvenilir ve yüksek kapasiteli komplike YB sistemleri üretilmektedir (Şekil 4.1.) (Hogan *et al.* 2005). Bir YB sisteminde ürüne uygulanan işlemler Şekil 4.2.'de verilmiştir. Bu işlem aşamaları sırasında basınç uygulama süresi, uygulama sıcaklığı, ambalajlama materyalinin sağlamlığı, ürünün ilk sıcaklığı, pH'sı, bileşimi ve su aktivitesi gibi kritik işlem faktörlerinin dikkate alınması gerekmektedir (Singh 2001).



Şekil 4.1. YB uygulama ünitesi (Hogan *et al.* 2005)



Şekil 4.2. YB uygulamasının işlem basamakları (Singh 2001)

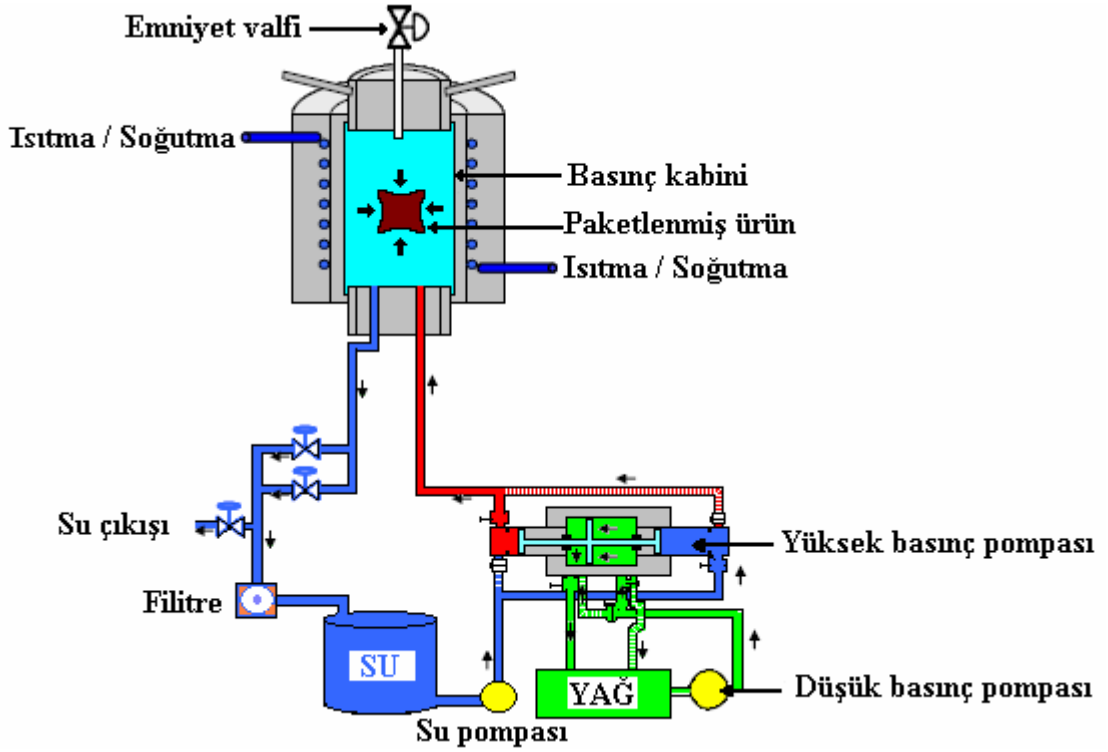
4.1. YB Sisteminde Kullanılan Ekipmanlar

YB sisteminin ana elemanları basınç kabini, düşük basınç pompası, YB pompası (intensifiyer), kapak, kapak aparatları, vanalar ve kontrol ünitesi (basınç ve sıcaklık ölçümü) dir. Günümüzde kullanılan tipik bir YB sistemi Şekil 4.3.'de verilmiştir (Mertens and Deplace 1993; Yuste *et al.* 2001a).

4.1.1. Basınç kabini

YB teknolojisinde gıda maddelerinin basınca maruz kaldığı basınç kabini bu sistemin en önemli parçasıdır. Basınç kabinleri genellikle düşük alaşımlı çelikten yapılmış yekpare silindirik bir kaptır. YB kabinleri yatay, dikey veya eğilebilir modellerde üretilmektedir. 400 MPa basıncın üzerinde çalışma kapasitesine sahip basınç kabinleri iki veya daha

fazla eşmerkezli gerilme direnci yüksek çelik silindirlerden yapılmaktadır (FDA 2000; Singh 2001).

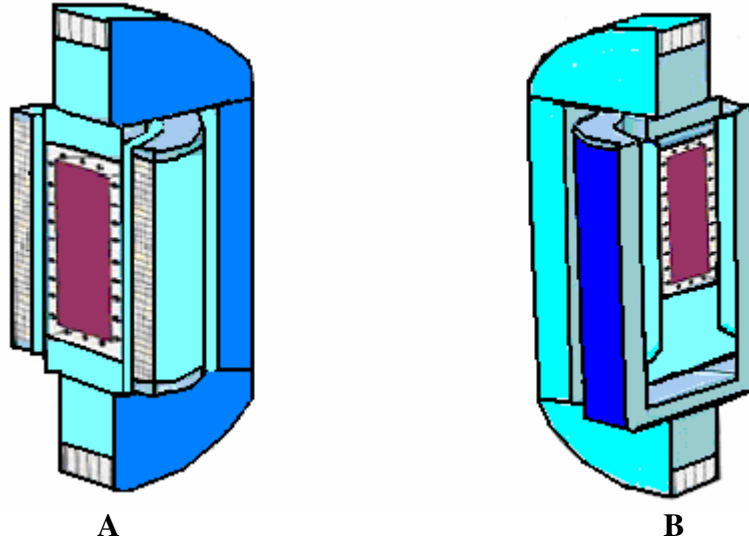


Şekil 4.3. Tipik bir YB sistemi (Mertens and Deplace 1993; Yuste *et al.* 2001a)

Basınç kabinlerinin cidar kalınlığı uygulanacak maksimum işlem basıncına, basınç kabininin çapına ve işlem döngü sayısına göre belirlenmektedir (Şekil 4.4) (Singh 2001). İç içe geçmiş silindirler, tel sargılı veya önceden gerilmiş şekilde tasarlanan komplike dizaynlar kullanılarak cidar kalınlığı azaltılabilir (Mertens and Deplace 1993; Zimmerman and Bergman 1993).

Dış silindir 680 MPa veya daha yüksek basınçlarda çalışma ömrü 100 000 işlem döngüsü sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. İç silindir ise basınçtan dolayı oluşabilecek olası çatlaklara izin vermeyecek ASME (American Society of Mechanical Engineers) standartlarına uygun ve işlem sırasında artan basınç gerilmesini karşılayacak şekilde dizayn edilmektedir. ASME standartlarında üretilecek bir basınç kabini işlem

sırasında olası faciaları engelleyebilecek özelliğe sahip olduğu ifade edilmektedir (Freeman 1998; FDA 2000).



Şekil 4.4. İndirekt(A) ve direkt basınç(B) kabinlerinin kesit görünüşü (Singh 2001)

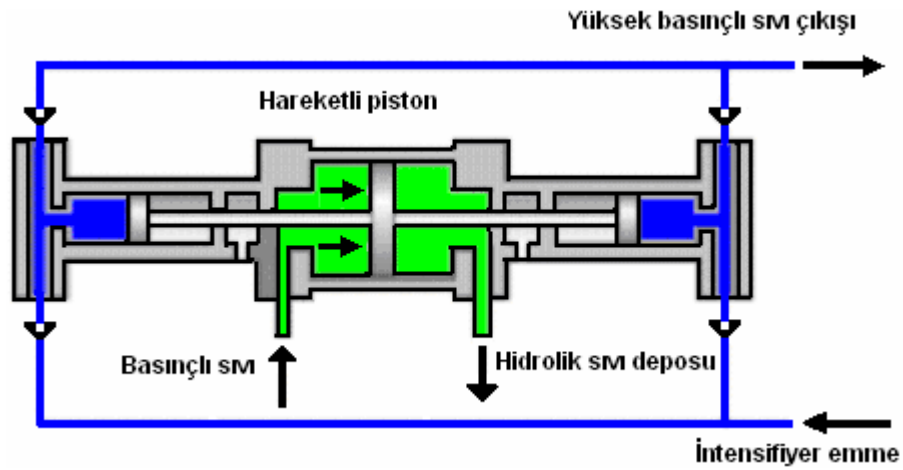
Fazla sayıda tekrarlanan basınçlı ve basınçsız döngü metal yorgunluğunu artırarak basınç kabininin ömrünü azaltmaktadır. Gıda maddesi ve temizlik için kullanılan sıvıların oluşturabileceği korozyona karşı basınç kabini dayanıklı olmalı ve kolay temizlenebilir bir materyalden yapılmış olmalıdır (Singh 2001). Basınç seviyesi ve hacimdeki artışı karşılayacak ve işlem sırasında emniyeti sağlayabilecek basınç kabinlerinin üretimi sırasında maliyet artışına neden olan bu durum bu sistemin pahalı olmasına neden olmaktadır (FDA 2000).

4.1.2. Düşük basınç pompası

Düşük basınç pompası YB üretmek için direkt basınç üretim sisteminde sıkıştırma pistonunu indirekt basınç üretim sisteminde ise intensifiyerin pistonunu hareket ettirmek için düşük basınç üretmektedir. 100 beygir gücündeki bir düşük basınç pompası, 50 lt'lik basınç kabininde 3-4 dakikada 680 MPa'lık basınç oluşturabilmektedir (FDA 2000).

4.1.3. YB pompas

Silindir, conta ve vanalardan oluşan YB pompası (intensifiyer), bu sistemin en hassas kısmını oluşturmaktadır (Freeman 1998). Düşük basınç pompası tarafından oluşturulan basınçlı sıvı (yağ) iletim boruları aracılığıyla intensifiyere iletilmekte, böylece intensifiyerin büyük çaplı pistonunu itmektedir. Bu sırada intensifiyerin bir tarafı filtrelenmiş suyu bir vakum oluşturarak emerken diğer tarafı önceden emilen sıvıyı Paskal kanununa göre yüksek basınçlı bir şekilde basınç kabinine iletmektedir (Şekil 4.5.) (Zimmerman and Bergman 1993).



Şekil 4.5. Çift yönlü intensifiyer (Zimmerman and Bergman 1993)

4.1.4. Kapak, kapak aparatlar ve vanalar

Uygulanan basınç seviyesi ve kullanılan basınç sistemine bağlı olarak farklı kapaklar kullanılabilir. Bir vinç aleti ile kullanılan kesikli veya sürekli vida dişlisi şeklinde olan kapaklara alternatif olarak kapaktaki aksel güçleri kontrol eden tel bağlamalı çerçeveli kapaklar üretilmiştir. Sistemde tekrarlanan açılıp kapanmalara karşı dayanıklı contalara ve sızdırmaz kapağa ihtiyaç duyulmaktadır (Mertens and Deplace 1993).

4.1.5. Kontrol ünitesi (basınç ve sıcaklık ölçümü)

Kontrol ünitesi kullanıcılar için çok önemli olup, ünite yardımıyla basınç kabininin içinde ve dışında elektrik sinyallerine bağlı olarak sıcaklık ve basıncın düzenli ölçümleri yapılmaktadır (Freeman 1998).

4.2. YB Üretim Sistemleri

Genellikle endüstriyel alanda yaygın olarak iki tip basınç üretim sistemi kullanılmaktadır.

4.2.1. İndirekt basınç üretim sistemi

Bu sistemde YB pompası kullanılmaktadır. Gerekli işlem basıncına ulaşmaya kadar hava ile dolu olan basınç kabineye intensifiyer ile basınçlama sıvısı pompalanmaktadır. Basınç pompası YB kabinden ayrı bir ünite olarak çalışmaktadır. Bu sistemde kullanılan basınç sıvısının basınç kabineye taşınması için uygun donanıma ve borulara ihtiyaç duyulmaktadır (Singh 2001).

4.2.2. Direkt basınç üretim sistemi

Bu tür sistemlerde basınç, düşük basınç pompası ile çalışan bir piston tarafından direkt olarak basınçlama sıvısının sıkıştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Bu sistemde basınç pompası basınç kabininin içine yerleştirildiğinden basınç pompası ile basınç kabini tek bir ünite olarak üretilmiştir. Bu nedenle basınç kabininin ebadı oldukça büyüktür. YB oluşturmak için bir pistondan yararlanılmaktadır. Basınç kabini ile piston arasındaki sızdırmazlık özelliğinin etkin bir şekilde yapılamamasından dolayı bu sistemin ticari olarak kullanımını kısıtlamıştır. Genellikle küçük çaplı laboratuvar ve pilot fabrikalarda kullanılmaktadır (Mertens and Deplace 1993; Singh 2001).

4.3. YB Uygulama Yöntemleri

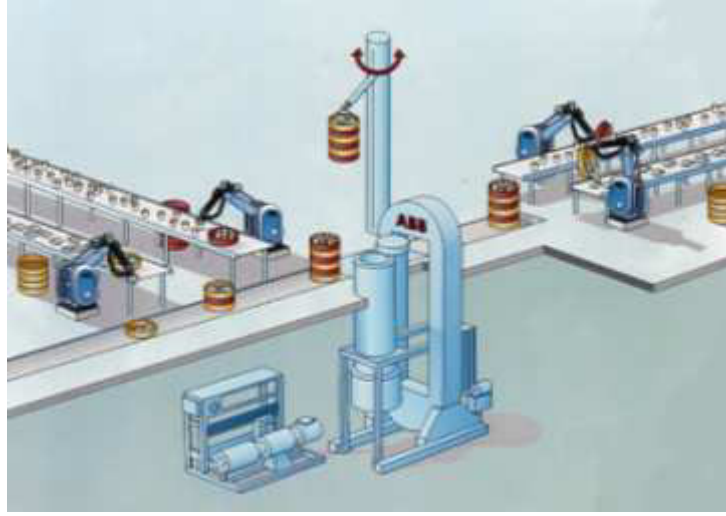
Günümüzde basınç işlemleri kesikli, yarı sürekli ve sürekli sistem olarak üç şekilde yapılmaktadır. Fakat sürekli sistem özellikle katı gıdalarda ticari olarak kullanılmamaktadır (FDA 2001).

4.3.1. Kesikli sistem

Kesikli sistemde paketlenmiş gıdalar basınç kabininin içine doldurulurak kap sızdırmaz bir şekilde kapatılmaktadır. Havanın sıkıştırılmasını ortadan kaldırarak pompalama maliyetini düşürmek için basınç uygulamasından önce su ile havanın yer değiştirmesi sağlanmaktadır. Basınç kabininin içinde bulunan havayı çıkarmak için basınç suyu pompalanmaktadır. Basınç suyu ile havanın yerdeğiştirmesi tamamlandıktan sonra yani basınç kabini tamamen su ile doldurulduktan sonra emniyet vanası kapatılmakta ve işlem basıncına ulaşıncaya kadar basınç kabininin içine basınçlı su pompalanmaktadır (FDA 2000).

Sıkıştırma oranı düşük basınç pompasının beygir gücü ile doğru orantılıdır. İşlem zamanı tamamlandığında emniyet vanası açılarak suyun basıncı düşürülmekte ve istenilen atmosfer basıncına geri dönülmektedir. Daha sonra basınç kabini açılarak YB uygulanmış gıdalar çıkarmaktadır (FDA 2000). Kesikli sistemlerde kullanılan basınç kabinleri genellikle 35-350 litre hacmindedir (Patterson 2005).

Günümüzde et ve et ürünleri gibi katı gıdalara YB uygulaması ancak kesikli sistemlerle yapılmaktadır (Şekil 4.6.). Bu amaçla kullanılan en yaygın yöntem, vakum uygulanarak ambalajlanmış etin basınç kabine konularak yapılmasıdır. İstenilen basınç seviyesine ulaşıldığında sistemin vanaları kapatılarak basıncın sabit kalması sağlanmaktadır.

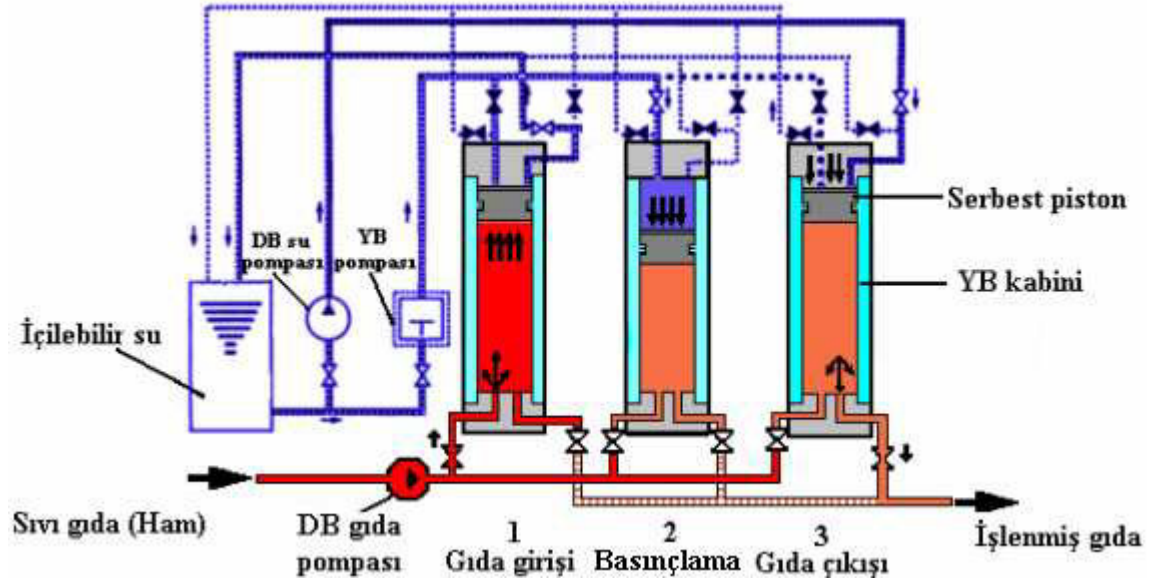


Şekil 4.6. Kesikli sistem (Singh 2001)

4.3.2. Yarı sürekli sistem

Sıvı gıdalara YB uygulamak için genellikle yarı sürekli sistem kullanılmaktadır. Sürekli akış sağlamak için bu sistemde birden fazla basınç kabini bulunmaktadır. Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi 1. basınç kabini işlenmemiş gıda alınırken, 2. kabinde basınç işlemi yapılmakta ve 3. kabinde ise basınç kaldırılarak işlem görmüş gıda boşaltılmaktadır. Bu sistemde basınç kabine sıvı gıdayı doldurmak için düşük basınç gıda pompasından yararlanılmaktadır. Basınç kabini doldurulduktan sonra gıda pompası devreden çıkmakta ve emme borusu kapanmaktadır. Basınç kabindeki gıdanın sıkıştırılması için kabinin içinde serbest bir piston bulunmaktadır. Gıdaya YB uygulamak için YB pompası yardımıyla oluşturulan basınçlı su serbest pistonun arkasına gönderilmektedir (Hogan *et al.* 2005). İstenilen YB uygulama süresi tamamlandıktan sonra işlem suyuna uygulanan basınç kaldırılarak sistemin basıncı azaltılmaktadır. Boşaltma borusuna doğru serbest pistonu hareket ettirmek için düşük basınç su pompasından faydalanılmaktadır. Böylece YB uygulanmış sıvı gıda basınç kabininden steril bir boşaltma borusu ile steril bir bekletme tankına veya steril ambalaj kaplara doldurularak işlem tamamlanmaktadır (FDA 2000). Bu sistemde sıkıştırma işlemi maksimum 400 MPa'a kadar gerçekleştirilmektedir. Maliyet yönünden kesikli sistemle

karşılaştırıldığında saatte 500 lt'lik ürünün işlem maliyetinin bu sistem sayesinde %27 azaldığı bildirilmiştir (Singh 2001).



Şekil 4.7. Yarı sürekli sistem (Singh 2001)

4.3.3. Sürekli sistem

Sürekli sistemde belirlenmiş işlem zamanı boyunca durdurma borusu veya durdurma kabinine sıvı akışı bir kapama buşonu ile engellenerek borunun veya kabinin içerisindeki sıvı gıda sıkıştırılmaktadır. Basınç kaldırıldıktan sonra YB uygulanmış sıvı son olarak aseptik dolum için steril tutma tankına gönderilmektedir (FDA 2000).

5. YB'IN GIDA BİLEŞENLERİNE ETKİSİ

YB uygulanması gıda üzerinde fiziksel bir etki sonucunda hacimsel değişime neden olmaktadır. Hacimdeki bu değişimler; moleküler konfirmasyon modifikasyonlarına, molekül içi etkileşimlerine, çözelti çeşitlerine ve kimyasal reaksiyonlara göre değişim göstermektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda hidrojen, hidrofobik ve iyonik bağlar gibi zayıf enerji bağları YB uygulamasından etkilenirken kovalent bağların etkilenmediği görülmüştür. Ayrıca ete uygulanan YB'nin esas etkisinin etin yapısında bulunan su, proteinler (enzim içerenler), lipitler ve polisakkaritler üzerine olduğu bildirilmiştir (De Lamballerie-Anton *et al.* 2002).

5.1. Su

Suyun birçok fizikokimyasal özelliği basınç altında değişmektedir. Suyun hacmi 22°C'de 100 MPa'da %4, 400 MPa'da %12 ve 600 MPa'da %15 civarında azalmaktadır. Büyük bir kısmı su ve az miktarda da gaz içeren gıdalar suyun sıkıştırılmasına benzer bir sıkıştırılma özelliği gösterdiği bildirilmektedir (Cheftel and Culioli 1997). Buna göre, 680 MPa'lık bir basınç üretmek için 100 litre hacmindeki basınç kabine 15 litrelik su ilavesine ihtiyaç duyulmaktadır (FDA 2000). Suyun adiyabatik sıkıştırılmasında uygulanan her 100 MPa basınç (basınçlama sıvısı ile gıda arasındaki ısı transferinin olmadığı), üründe yaklaşık 2-3°C'lik sıcaklık artışına neden olmaktadır. Sıcaklık artışı katı ve sıvı yağlarda ise her 100 MPa için 6-8,7°C'dir (Çizelge 5.1.). Bununla birlikte uygulanan basıncın oluşturduğu sıcaklık artışı basıncın kaldırılmasıyla aynı oranda azalmaktadır (De Lamballerie-Anton *et al.* 2002; Rasanayagam *et al.* 2003). YB uygulamasında kullanılan suyun ilk sıcaklığına bağlı olarak sıkıştırma ısısı artmaktadır. Buna karşın sıvı ve katı yağlarda ilk sıcaklığın etkili olmadığı yada çok az etkili olduğu ileri sürülmüştür (Rasanayagam *et al.* 2003).

Yapılan basınç uygulamalarında su, gıda ve basınç kabini arasında termal değişimlerin oluşmasına rağmen sıcaklık değişimleri minimize edilebilmektedir. Ayrıca suya

uygulanan 1000 MPa'lık basıncın oluşturduğu sıcaklık değişiminin, suyun $H^+ \times OH^-$ iyonlarını 10 ile 100 kat artırdığı belirlenmiştir (Cheftel and Culioli 1997). Basıncın etkisiyle iyonizasyondaki bu artış, suyun çözünme noktasında ve pH'da azalışa neden olurken düşük basınçlarda ise bu değişikliklerin tersinir olduğu bildirilmiştir (Hugas *et al.* 2002).

Çizelge 5.1. Farklı materyallere uygulanan her 100 MPa basıncın sıcaklık üzerine etkisi (Ürünlerin ilk sıcaklığı 25°C) (Rasanayagam *et al.* 2003)

Ürün	Basıncı (MPa)	Her 100 MPa için sıcaklık artışı	Ürün	Basıncı (MPa)	Her 100 MPa için sıcaklık artışı
Su	149	$2,6 \pm 0,1$	İşlenmemiş sığır et yağı	162	$4,1 \pm 0,1$
	298	$2,7 \pm 0,2$		315	$4,4 \pm 0,3$
	443	$2,8 \pm 0,1$		463	$4,4 \pm 0,5$
	592	$2,9 \pm 0,3$		606	$4,4 \pm 0,8$
Propilen glikol	164	$5,8 \pm 0,6$	Som balığı	159	$2,8 \pm 0,3$
	325	$5,3 \pm 0,4$		321	$2,9 \pm 0,1$
	470	$5,1 \pm 0,2$		463	$3,0 \pm 0,2$
	548	$5,1 \pm 0,5$		611	$3,0 \pm 0,1$
Etanol	144	$10,6 \pm 0,6$	Ekstrakte sığır et yağı	170	$8,3 \pm 0,7$
	325	$5,4 \pm 0,6$		342	$6,5 \pm 0,4$
	457	$5,5 \pm 0,2$		465	$6,2 \pm 0,4$
	540	$6,8 \pm 0,4$		613	$6,3 \pm 0,4$

Birçok maddenin katı formu sıvı formundan daha büyük yoğunluğa sahiptir. Bu yüzden basınçta olası bir artış çözünme noktasında da artışa neden olmaktadır. Bununla beraber basıncın etkisiyle suyun hal değişimi birçok bileşikten farklıdır. Çünkü suyun donması hacimde bir artışa neden olmaktadır. Su değişik basınç ve sıcaklıklarda, birkaç farklı buz kristal yapısı şeklinde katılaşmaktadır. Böylece, basıncın birincil etkisi olarak bağlanmamış su molekülleri arasındaki mesafenin azalmasıyla kristal kafes yapısı bozulabilmektedir (Fikiin 2003; Molina-Garcia *et al.* 2004).

5.2. Proteinler

Etin kalitesi üzerinde oldukça önemli bir yere sahip olan proteinler, etin en önemli bileşenlerinden biridir. Bu yüzden proteinlerin yapısında meydana gelebilecek değişimler et ve et ürünlerinin kalitesini de etkileyebilmektedir. Proteinler üzerine YB'nin etkisi; uygulanan basınç miktarına, proteinin yapısına ve proteinin bulunduğu ortama (sıcaklık, pH, iyonik kuvvet) bağlıdır (Hendrickx *et al.* 1998; Zorba ve Kurt 2005; Anonymous 2006a).

Proteinlerin birincil (primer) yapısı aminoasitlerin kovalent bağlarla bağlanmasıyla oluşan düz polipeptit zinciri şeklindeki yapılardır (Hendrickx *et al.* 1998). Yüksek basınç, bu yapılardaki kovalent bağlar üzerine dikkate alınmayacak kadar az etkili olmaktadır. Proteinin ikincil (sekonder), üçüncül (tersiyer) ve dördüncül (kuaterner) yapılarında ise polipeptit zincirleri heliks şeklinde olup aminoasitler iyonik, hidrofobik ve hidrojen bağları gibi zayıf bağlarla bağlanmıştır. Yüksek basınç uygulaması ile zayıf bağların bir çoğunun kırılması sonucu proteinler yapısal olarak etkilenmekte ve özelliklerinde önemli değişimler görülebilmektedir (Murchie *et al.* 2005).

Büyük bir kısmı hidrojen bağlarından oluşan proteinlerin sekonder yapıları çok yüksek basınçlarda geri dönüşümsüz denatrasyona uğradığı belirlenmiştir. Bu yapının hidrojen bağları düşük basınçlarda nispeten stabil olma eğiliminde iken yüksek basınçlarda bozulduğu görülmüştür (Hendrickx *et al.* 1998). Hidrofobik ve iyonik interaksiyonlarla bağlanmış olan proteinlerin tersiyer yapılarındaki önemli değişikliklerin genellikle 200 MPa'nın üzerindeki basınçlarda meydana geldiğinin bildirilmesine rağmen (Hendrickx *et al.* 1998), Galazka *et al.* (1996) yaptıkları çalışmada 100 MPa'nın üzerindeki basınç uygulamalarında tersiyer ve kuaterner yapılarda değişimler olduğunu gözlemlemişlerdir. Genel olarak, kuaterner yapının daha çok hidrofobik interaksiyonlara sahip olması nedeniyle YB uygulamasına karşı daha hassas olduğu bununla birlikte hem tersiyer hem de kuaterner yapılardaki değişimlerin geri dönüşümlü olduğu belirlenmiştir (De Lamballerie-Anton *et al.* 2002).

Yüksek basınç uygulaması proteinlerin hacminde de değişmelere neden olabilmektedir. YB uygulaması, proteinin hacimdeki azalışa eşlik eden reaksiyonları ve işlemleri hızlandırırken hacimdeki artışa neden olan reaksiyonları da engellemektedir. Hacimde meydana gelen azalma (yaklaşık 30-80 ml/mol) kovalent olmayan bağların ya kırılması ya da oluşması ve solvent moleküllerinin yeniden düzenlenmesinden kaynaklandığı ileri sürülmüştür (Hendrickx *et al.* 1998; Hugas *et al.* 2002; Murchie *et al.* 2005). Patterson (2005) ise, proteinlerdeki hacim değişimleriyle ilgili yapılan araştırmalarda sekonder proteinlerin α -heliks ve β -kıvrım formunda olan polipeptit zincirindeki intra-intermoleküler hidrojen bağlarına basıncın önemli bir etkisinin olmadığını bildirmiştir.

Protein kompleksinin bireysel alt ünitelerini açmak için gerekli olan basınçtan daha düşük basınçlarda oligomerik proteinlerin dissosiyeye olduğu saptanmıştır (Prehoda *et al.* 1998). Genellikle, 100–200 MPa arasındaki basınçlarda oligomerik proteinler geri dönüşümlü olarak dissosiyeye olmaktadır (Anonymous, 2006a). Ancak 200 MPa'nın üzerindeki YB uygulaması proteinlerin dissosiyasyonunu etkilerken, dissosiyeye olmuş oligomerlerin tekrar birleşmelerine neden olduğu bildirilmiştir (Zorba ve Kurt 2005).

Proteinin yapısındaki değişiklikler düşük basınçlarda geri dönüşümlü olarak meydana gelirken genellikle oda sıcaklığında 300 MPa üzerindeki basınçlarda heliks yapı açılarak düz protein zinciri oluşmasıyla proteinlerin geri dönüşümsüz denatrasyonuna sebep olduğu bildirilmiştir (Hendrickx *et al.* 1998). Bu duruma sekonder ve tersiyer yapıdaki değişiklikler sebep olmaktadır. Bununla birlikte proteinlerin tersinir açılımları 400-800 MPa'da da gözlenebilmektedir. Böylece YB uygulamasının hidrofobik interaksiyonlar üzerine etkisinin olduğu açık bir şekilde ortaya konulmuştur (Zorba ve Kurt 2005).

Sıcaklık ve basınç gibi harici faktörlerdeki değişiklikler intramolekülerin hassas dengesini ve solvent-protein interaksiyonlarını bozarak polipeptit zincirinin denatrasyonuna veya açılmasına sebep olmaktadır (Hendrickx *et al.* 1998). Tamamen stabil bir proteinin kantitatif denatrasyonu için 1000 MPa'dan daha fazla basınç gerekebileceği ifade edilmiştir (Prehoda *et al.* 1998).

Etin en önemli proteinlerinden olan myofibriller proteinler üzerine yapılan çalışmalarda, YB'ın bu proteinlerin çözünürlüğünü artırdığı ve yapısal değişimlere yol açtığı belirlenmiştir. Tilapia kaslarından ekstrakte edilen myosine 500-2000 atm (50-200 MPa) arasındaki basınç uygulamalarında önemli değişimler saptanmıştır. Yapılan bir çalışmada 0°C'de 500 atm'lık basınçtan sonra myosin filamentlerinin açıldığı ve hacminin azaldığı, 1000-1500 atm arasındaki basınçlarda ise, myosinlerin agregasyona uğradığı ve çözünmez bir yapı oluşturduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 500-1000 atm basınçta myosinin viskoz sol halden elastik jel haline dönüştüğü ve 2000 atm'de myosinin düzensiz agregatlar oluşturduğu tespit edilmiştir (Hsu and Ko 2001). Ko *et al.* (2006)'da 100 MPa'ın altındaki basınç uygulamalarının depolama aşamasında Tilapia etinin fonksiyonel özelliklerini ve kalitesini koruyabildiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, YB uygulanmış Tilapia etindeki suda çözünen proteinleri YB uygulamasının etkilediği ancak bu etkide basıncın seviyesinden ziyade depolama süresinin önemli olduğunu da belirlemişlerdir. 250 MPa'lık basınç uygulaması ile tuzda çözünen proteinlerin %60 oranında ve 200 MPa'lık basınç uygulamasından sonra ekstrakte edilen aktomyosin miktarının da %10 oranında azaldığı belirtilmiştir. Soğuk tütüleme yapılmış somon balığına 300 MPa'lık bir basınç uygulaması ile myosinin çok az etkilendiği ve buzdolabı şartlarında 18 günlük depolama sonucunda bu etkinin kaybolduğu da belirlenmiştir (Lakshmanan *et al.* 2005).

Galazka *et al.* (1996) sığır serum albuminine 300-800 MPa arasındaki basınç uygulamalarında yüzey hidrofobitesinde kısmen kayıp oluştuğu ve bu durumun basıncın etkisiyle proteinin açılarak çözünürlüğünü kaybetmesinden kaynaklandığını belirlemişlerdir.

5.3. Karbonhidrat ve Lipitler

YB uygulaması et ve et ürünlerinde bulunan polisakkarit yapısındaki karbonhidratlar üzerine etkili olmaktadır (Hugas *et al.* 2002). Kas dokusunun tek polisakkariti olan glikojen post-mortem süreçte glikojenolizis ile parçalanmaktadır. Bu nedenle et karbonhidratlarının basınçtan etkilenmediği ileri sürülmüştür (De Lamballerie-Anton *et*

al. 2002). Ancak pre-rigor ette glikolisiz henüz tamamlanmadığından dolayı bu dönemde YB uygulamasının glikolisizi hızlandırdığı belirlenmiştir. Bu durum, YB işlemi görmüş kasın işlem görmemiş kasta daha düşük pH'ya sahip olmasıyla açıklanmıştır (Cheftel and Culioli 1997).

YB uygulamalarının et yağlarında bazı değişmelere sebep olabileceği ifade edilmektedir. YB, yağların erime noktasını artırmakta ve oda sıcaklığında trigliseritleri kristalize edebilmektedir (De Lamballerie-Anton *et al.* 2002; Hugas *et al.* 2002).

6. YB'IN ET ENZİMLERİNE ETKİSİ

Enzimler, proteinlerin özel bir sınıfı olup bulundukları bölgede biyolojik aktiviteyi artıran maddelerdir. Enzimlerin etkili oldukları bölgelerde meydana gelen olası değişiklikler onların aktivitelerinin kaybolmasına neden olabilmektedir (Hendrickx *et al.* 1998).

YB uygulmasının yalnızca kasa fiziksel bir etki yapmakla kalmayıp aynı zamanda kastaki enzimlerin proteolitik aktivitesinde de artışa neden olduğu belirlenmiştir (Homma *et al.* 1994). Lanciotti *et al.* (1997) yaptıkları bir çalışmada, 800 barın üzerinde uygulanan YB'ın proteolitik aktivitede bir artışa, ekstraselüler aktivitede ise bir azalışa neden olduğunu tespit etmişlerdir. Lakshmanan *et al.* (2005) tarafından yapılan çalışmada ise, Lanciotti *et al.* (1997)'nin aksine YB uygulamasının proteolitik aktiviteye etkisinin olmadığı ancak, 18 günlük depolama sonunda (4-5°C) kastaki enzimlerin aktivitelerinde bir artışın olduğunu ifade etmişlerdir.

Proteinaz enzimlerinden olan kalpain ve katepsin post-mortem dönemde etin gevrekliği üzerine önemli rol oynadığı bilinmektedir (Kubo *et al.* 2002). Gevreklik üzerine etkili olan bu enzimlerin YB altındaki davranışlarını araştırmak için birçok çalışma yapılmıştır (Homma *et al.* 1995; Jung *et al.* 2000b; Kubo *et al.* 2002).

6.1. Kalpainler

100 MPa'a kadar uygulanan basınç kastaki kalpainlerin seviyesinde hemen hemen hiçbir değişikliğe neden olmazken, 100 MPa'ın üzerindeki basınçlarda kastaki kalpain seviyesinin hızla düştüğü belirtilmiştir. Kalpainlerin 300 MPa basınçta ise inaktive oldukları tespit edilmiştir. 200 MPa'da m-kalpain aktivitesi değişmezken, Ca^{+2} konsantrasyonundaki artış ile μ -kalpain aktivitesinde hızlı bir azalışın olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden YB uygulanmış kasta toplam kalpain aktivitesinin arttığı ve bu durumda etin gevrekliğine neden olduğu bildirilmiştir (Homma *et al.* 1995). Fakat

kalpainin özel bir inhibitörü olan kalpastatinin 100 MPa'daki inaktivasyonun kalpainden daha hızlı olduğu (Homma *et al.* 1995) ve 200 MPa'da inhibe olduğu belirlenmiştir (Cheftel and Culioli 1997; Hugas *et al.* 2002).

6.2. Katepsinler

Genellikle kesimden sonra myofibrillerin proteolizisi sonucu lizozomlar parçalanmakta ve lizozomlarda bulunan katepsinler kastaki serbest kalmaktadırlar. Aynı şekilde kaslara YB uygulanması sonucu lizozom membranının etkilendiği ve lizozomlardada bulunan katepsinlerin yerlerinin değiştiği immunoelektron mikroskobu ile gözlenmiştir (Kubo *et al.* 2002). 300 MPa'ın üzerindeki basınçlarda lizozomlar şişmekte ve membranları parçalanmaktadır. Bu şartlar altında serbest lizozomal enzim içeriğinin arttığı ve bazı değişikliklerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlemler 14 günlük etteki lizozomal değişimlere benzer olduğu ve YB'ın normal lizozomal değişiklikleri hızlandığı ifade edilmiştir (Jung *et al.* 2000b).

Homma *et al.* (1994) yaptıkları çalışmada YB uygulamasıyla lizozomlardan serbest kalan katepsinlerin kasta proteolitik aktivitenin artmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. Homma *et al.* (1995) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise 400 MPa'ın üzerindeki basınçlarda katepsin B, D ve L aktivitesi artarken 500 MPa'da azalma eğiliminde olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca 500 MPa'lık basınç uygulanmış kastan ekstrakte edilen asit fosfataz aktivitesinin ise arttığını belirlemişlerdir. Basınç ve sıcaklığın (60°C ve 150 MPa) birlikte kullanılmasıyla katepsin B1 aktivitesindeki artışın etin gevrekliğine katkıda bulunduğu ifade edilmiştir (Kurth 1986). Kuru kür işleminden sonra dondurulan jambonlara 400-600 MPa'lık basınç uygulamasının tuz absorpsiyonunun etkisiyle yüzeysel bir denatrasyon ve antioksidan enzim aktivitesinde kısmi bir azalışa neden olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar bu basınç seviyesinde katepsin B ve katepsin B+L aktivitesinin ise etkilemediğini belirtmiştir (Serra *et al.* 2007b)

YB uygulanmış et örneklerinin depolama aşamasındaki katepsin D ve asit fosfataz aktivitesinin post-mortem kontrol örneklerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Aktivitedeki bu artışın lizozomal membranda ve/veya enzim aktivitesinde bozulmayla ilgili olduğu ifade edilmiştir (Jung *et al.* 1998; Jung *et al.* 2000c). Hugas *et al.* (2002) tarafından bildirildiğine göre, Montero and Gómez-Guillén, (2002) yaptıkları bir çalışmada 200 MPa'dan düşük basınçlarda lizozomların bozulmasıyla otolitik aktivitedeki artışın, etin gevrekliğinde de bir artışa neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, katepsin-H ve aminoasitlerin 200 MPa'dan daha düşük basınçlarda, katepsin-D'nin ise 500 MPa basınçta inaktive olduğu ifade edilmiştir.

6.3. ATPaz

70 MPa'lık basınç uygulandığında ATPaz aktivitesi azalmakta, 210 MPa'dan sonra ise tamamen kaybolmaktadır (De Lamballerie-Anton *et al.* 2002). Elkhalfa *et al.* (1984), basınç uygulamasının hem ATP hem de kreatin fosfat katabolizmasını hızlandığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar kesimden bir saat sonra kreatin fosfat aktivitesi kontrol örneklerinden daha yüksek iken 24 saat sonra bu farklılığın ortadan kalktığını belirlemişlerdir. Mg-ATPaz aktivitesindeki değişimin ise kasın YB uygulamasına maruz kalması sonucu ince filamentlerdeki yapısal değişikliğe göre açıklanabileceği ileri sürülmüştür (Nishiwaki *et al.* 1996).

Basınç uygulaması sonucunda membran fonksiyon kayıplarını araştıran Wouters *et al.* (1998), yaptıkları bir çalışmada *Lactobacillus plantarum*'a 250 MPa basınç uygulanması ile F_0F_1 ATPaz aktivitesi ve pH'nın değişebildiğini ifade etmişlerdir.

7. YB UYGULAMASININ ETİN YAPISINA ETKİSİ

Yüksek basıncın etin yapısı üzerine etkilerini belirlemek amacıyla sığır, koyun, kümes hayvanları ve balık etinde çeşitli araştırmalar yapılmış ve basınç uygulamalarından dolayı ette oluşan yapısal değişimlerin post-mortem zamana, uygulanan basınca ve sıcaklığa, kas tipi ve türüne bağlı olduğu belirtilmiştir (Yuste *et al.* 1998b; Jung *et al.* 2000a; De Lamballerie-Anton *et al.* 2002).

Jung *et al.* (2000a) ve Yuste *et al.* (1998b) yaptıkları araştırmalarda YB uygulanmış etlerin kas liflerinde (M çizgisinin kayıp olması, I bandının dağılması, sarkomer uzunluğunun artması) ve kas lifleri arasındaki bağlantılarda (endomisyum ve sarkolemmadaki değişimler) önemli yapısal değişimlerin olduğunu tespit etmişlerdir.

Cheftel and Culioli (1997) yaptıkları araştırmada, pre-rigor dönemde ete YB uygulaması ile oluşan hızlı ve yoğun bir kasılmanın (kasın uzunluğunda %35-50 oranında azalma) ette önemli yapısal değişimlere neden olduğunu belirtmişlerdir. De Lamballerie-Anton *et al.* (2002) da, Kennick *et al.* (1980) tarafından yapılan bir çalışmada pre-rigor dönemdeki dört farklı sığır ve koyun kasına 35°C'de 2 dakika süreyle 103 MPa uygulamasının kas uzunluğunda %48'lik bir kısaltmaya neden olduğunu ifade etmişlerdir. Aynı bilim adamlarının (1982) başka bir çalışmasında ise, 37°C'de 2 dakika süreyle 103 MPa basınç uygulanmış pre-rigor sığır kasının SEM (Tarama elektron mikroskop) ve TEM (transmisyon elektron mikroskop) kullanılarak detaylı incelemeleri sonucunda sarkolemma ve endomysial kılıflarda parçalanma, kas liflerinde genişleme, mitokondrial bozulma ve sarkoplazmik retikulumda şişme görüldüğünü belirtmişlerdir. Öte yandan, Jung *et al.* (2000a) yaptıkları araştırmada post-rigor ete YB uygulaması ile ette yapısal değişikliklerin oluşabildiğini ancak bu değişikliklerin pre-rigor etteki gibi kasılmaya neden olmadığını tespit etmişlerdir.

Yukarıda belirtildiği gibi YB uygulamasının etteki etkisini etkileyen faktörlerden biri de sıcaklıktır. Oda sıcaklığı veya daha düşük sıcaklıklarda 150 MPa'a kadar olan düşük

basıncılarda sarkomer uzunluğundaki kısmi kısılmanın dışında kasta dikkate değer yapısal değişikliklerin oluşmadığı Suzuki *et al.* (1990) tarafından tespit edilmiştir. De Lamballerie-Anton *et al.* (2002) tarafından bildirildiğine göre de, Locker and Wild (1984) yaptıkları araştırmada basınçla birlikte sıcaklık uygulaması kastaki yapısal değişiklikleri artırdığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, yüksek sıcaklık-düşük basınç (sığır eti, 65°C'de 50-60 MPa) uygulamasının da I bandı bölgesinde önemli yapısal değişimlere sebep olduğunu belirtmişlerdir.

YB'nin diğer bir etkisi ise uygulanan basıncın seviyesidir. Suzuki *et al.* (1990) ve Suzuki *et al.* (1991), post-rigor sığır etine 5 dakika süre ile 100-300 MPa'lık basınç uygulaması sırasında 150 MPa'da I bandı ile M ve Z çizgilerinde parçalanmaların olduğunu, 200 MPa'da ise A ve I bandı bölgelerindeki yapısal değişimler ile kasın bütünlüğünün bozulduğunu belirtmişlerdir. Konu ile ilgili yapılan diğer araştırmalarda ise sığır için 130 MPa ve 10°C (Jung *et al.* 2000a) ve 100 MPa ve 4°C (Ueno *et al.* 1999), balık için 100 MPa ve 20°C (Ashie *et al.* 1997) gibi düşük sıcaklık ve basınç uygulamalarının yapısal değişimlere neden olmadığı belirtilmiştir. Ancak, sığır için 325 MPa ve 10°C (Jung *et al.* 2000a) ve 400 MPa ve 10°C (Ueno *et al.* 1999), balık için 200-300 MPa ve 20°C (Ashie *et al.* 1997) gibi sıcaklık ve YB uygulamalarının M çizgisi, H zonu, I bandı (Jung *et al.* 2000a) ve bazı kas lifleri ile endomisyum ve perimisyumda yapısal değişimlere neden olabildiği ifade edilmiştir (Ashie *et al.* 1997; Ueno *et al.* 1999).

Ete YB uygulamasının bağ dokusu üzerine etkisi incelendiğinde araştırma sonuçları arasında farklılıklar görülmektedir. Ueno *et al.* (1999), ete YB uygulanmasının etteki endomisyum ve perimisyum parçalanmasını hızlandırdığını belirtmişlerdir. Ancak, Suzuki *et al.* (1993 ve 1998) ve Yuste *et al.* (1998b), YB'nin bağ dokusunda herhangi bir değişikliğe neden olmadığını veya çok az etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir.

8. YB'IN ETİN FONKSİYONEL VE DUYUSAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

8.1. Tekstür

YB uygulaması etin gevrekliğini artırmak için kullanılan metotlardan biri olup, özellikle son yıllarda et endüstrisinde büyük ilgi görmeye başlamıştır. Schilling (1999), post-mortem ete uygulanan YB'nin seviyesine bağlı olarak etin gevrekliğinin değiştiğini belirtmiştir. Suzuki *et al.* (1998)'de YB uygulanan etlerde tekstür açısından meydana gelen değişikliklerin aktomyosin oluşumunun engellenmesi, kas liflerinin (kas liflerinin parçalanması, α -connectinin β -connectine dönüşümü vb.) ve bağ dokusunun parçalanmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Önceki bölümde de belirtildiği gibi ete pre-rigor dönemde YB uygulandığında kasta yoğun bir kasılma olmakta, glikolisiz olayı hızlanmakta ve pH düşmektedir. Bununla birlikte pre-rigor dönemde YB uygulamasında Cold-Shortening(CS)'e benzer kasılmaya rağmen sertlik yerine gevreklik artmakta, buna bağlı olarak da Warner-Bratzler Shear (WBS) değeri düşmektedir (Cheftel and Culioli 1997).

Etin gevrekleştirilmesi üzerine ilk YB uygulaması 1973 yılında MacFarlane tarafından pre-rigor kasta yapılmıştır. Bu çalışmada kesimden hemen sonra alınan öküz ve sığır kaslarına 103 MPa basınç (1-4 dakika, 30-35°C) uygulanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda çiğ etin sertleştiği ve kasıldığı belirlenmiştir. Ancak bu etlerin pişirildikten sonra daha gevrek ve daha yüksek nem içeriğine sahip oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca post-mortem etlere YB uygulandığında WBS değerlerinin azaldığı belirlenmiştir (Schilling 1999). Anonymous (2006a) bildirdiğine göre, MacFarlane and Morton (1978) tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise YB uygulamasının aktini etkilediği görülmüştür. Ayrıca kontrol örneklerinin elektron mikrograflarında aşırı glikojen görülmüşken YB uygulaması yapılmış örneklerde görülmemiştir. Bu gözlemlerle YB uygulaması yapılmış örneklerin pH değerleri dikkate alındığında basınç uygulamasının sonunda glikolisizin tamamlandığı fikri ileri sürülmüştür. Ayrıca Schilling (1999)

tarafından bildirildiğine göre Elgasim and Kennick (1980) tarafından yapılan çalışmada, YB uygulanmış (37°C 'de 2 dakika süreyle 103.5 MN/m^2) pre-rigor sığır etinin WBS değerinin daha düşük olduğu ve basınç uygulamasından 1 saat sonra glikolisizin hemen hemen tamamlanmış olduğu görülmüştür. YB uygulanmış örneklerde 1 saat sonra pH 5,6'ya ulaşırken basınç uygulanmamış örneklerde bu değere 24 saat sonra ulaşılmıştır. Jung *et al.* (2000c) tarafından bildirildiğine göre Elgasim and Kennick (1982) YB uygulaması sonucunda sarkoplazmik retikulum yapısının bozulması ile sarkoplazmada Ca^{2+} iyon konsantrasyonunun arttığı, bunda YB uygulanmış pre-rigor ette iki Z çizgisi arasındaki mesafenin (sarkomer uzunluğu) kısılmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Etin gevrekliğinin artmasında bu değişimlerin neden olduğu lizozomal enzim aktivitesindeki artışın ve düşük pH'nın etkili olduğu ileri sürülmüştür.

Pre-rigor dönemin kısa oluşundan dolayı ticari açıdan bu dönemde YB'ın uygulanmasının zor olduğu bilinmektedir. Bu nedenle post-rigor kastaki gevrekleşmenin pre-rigor kasta daha önemli olduğundan dolayı yapılan çalışmaların bir çoğu post-rigor kasta yoğunlaşmıştır (Suzuki *et al.* 1998). 30°C 'nin altındaki sıcaklıktaki ete post-rigor dönemde 150 MPa'a kadar basınç uygulamasının, örnekler pişirildikten sonra etin gevrekliği, sululuğu ve kesme direnci üzerine hiçbir etkisinin olmadığı, ancak 30°C 'nin üzerindeki sıcaklıktaki ete 150 MPa'a kadar basınç uygulamasının soğuk kısılmasında (CS) oluşan sertliği gidermek için çok etkili bir metot olduğu belirtilmiştir. Bu basıncın ($>150 \text{ MPa}$) üzerindeki uygulamalarda ise etin gevrekliği üzerine farklı etkiler tespit edilmiştir (Cheftel and Culioli 1997). MacFarlane and McKenzie (1986) 60°C 'de 150 MPa'lık basınç uygulamasıyla soğuk kısılmasına maruz kalmış ette gevrekleşme sağlandığını ileri sürmüşlerdir. Ma and Ledward (2004) post-rigor dönemde $60-70^{\circ}\text{C}$ 'de 200 MPa'lık basınç uygulaması ile *Longissimus dorsi* kasının sertliğinde çok büyük bir azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir ve bu şartlarda proteolisizin hızlandığını ve myosinin kısmen parçalandığını belirlemişlerdir. Suzuki *et al.* (1993) post-rigor kasa yüksek basınç uygulamasının yalnızca myofibriller proteinlerden aktomyosinin yapısında oluşturduğu değişimlerle gevrekliğe katkıda bulunduğunu ileri sürmüşlerdir. Öte yandan, Bouton *et al.* (1977), dört farklı kasa $45-60^{\circ}\text{C}$ 'de 150 MPa sıcaklık-basınç uygulamasıyla etlerde sululuğun kontrol

örneklerinden az olduğunu ve WBS değerlerinin azalmasına rağmen bağ dokusunun sertliği nedeniyle gevrekliğin engellendiğini bildirmişlerdir. Jung *et al.* (2000c)'de yaptıkları çalışmada post-rigor kasa 520 MPa'lık basınç uygulaması ile etin gevrekleşmediğini, kasılma ile birlikte etin sertliğinin arttığını ve pişirme kayıplarının daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. YB uygulamasının pre ve post-mortem dönemde çiğ ette ve farklı sıcaklıklarda pişirilmiş etlerde meydana getirmiş olduğu etkiler Çizelge 8.1.'de verilmiştir (De Lamballerie-Anton *et al.* 2002).

Çizelge 8.1. YB uygulamasının çiğ ve farklı sıcaklıklarda pişirilmiş etlerin gevrekliği üzerine etkisi (De Lamballerie-Anton *et al.* 2002)

Post-mortem zaman	YB uygulaması	Pişirme şartlar	Etkisi
Pre-rigor Post-rigor	130 MPa'a kadar 30-40°C, 1-8 d.	90°C ,1 saat	G E
Pre-rigor Post-rigor	20-140 MPa, 25-60°C, 2,5 d.- 1 saat	75 ve 80°C,1.5 saat	G E
Pre-rigor	103 MPa, 35°C, 2 d.	Mikrodalga+gril (80°C)	G
Pre-rigor	103,5 MPa, 37°C, 2 d	80°C, 40 d.	G
Pre-rigor	103 MPa, 35°C, 2 dak.	80°C, 40 d	G
Post-rigor	45 d., 45°C'de ön pişirme, 30 d., 60°C'de 150 MPa	80°C, 90 d 80°C, 24 saat	G
Post-rigor	25-65°C'de 60 MPa, 5-20 d.	80°C, 40 d. çiğ	G E
Post-rigor	150 MPa, 40-80°C, 1-4 saat	80°C, 1 saat	G E
Post-rigor	45 d., 45°C'de ön pişirme, 30 d. 60°C'de 150 MPa	80°C ,2 saat	G
Post-rigor	45 d., 45°C'de ön pişirme, 30 d., 60°C'de 150 MPa	80°C ,1 saat	G
Post-rigor	150 MPa, 30 veya 60 °C, 1,6 veya 16 saat	80°C, 1 saat	E G
Post-rigor	150 MPa, 0°C, 3 saat	25-50 veya 80°C, 1 saat	E S
Post-rigor	500 MPa, 2°C'de10 veya 30 d.		S
Post-rigor	400-600 MPa, 20-50°C, 15 d.	80°C, 20 dak.	E
Post-rigor	200-350 MPa, 20°C'de 5 100 d.	çiğ	G
Post-rigor	520 MPa, 260 saniye, 10°C	65°C, 1 saat	S

G: gevrekleşme, S: sertleşme, E: etkisiz, d:dakika

Post-rigor ette myofibrillerin parçalanması et gevrekliği üzerine olumlu katkı sağlamaktadır. Ete uygulanan YB oranı arttıkça myofibrillerin parçalanma oranları da artmaktadır. YB uygulanmamış kasta myofibrillerin parçalanma oranı %10'dan az iken, bu oran 100 MPa basınç uygulamasıyla %30'a, 300 MPa'lık basınç uygulamasıyla %90'a çıkmaktadır. Ayrıca YB uygulaması ile α -connectinin β -connectine dönüşmesine neden olduğu bildirilmiştir (Suzuki *et al.* 1992). Kim *et al.* (1992)'de basınçtaki artışın α -connectinin β -connectine dönüşmesini hızlandığı için etin gevrekleşmesine önemli katkı sağlayacağını ifade etmişlerdir. Ayrıca Suzuki *et al.* (1998) tarafından yapılan bir araştırmada, YB uygulamasının etin sertliğini azalttığı buna karşın elastikiyeti üzerine önemli bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Çizelge 8.2.).

Çizelge 8.2. YB uygulamasının etin sertliği ve elastikiyetine etkisi (Suzuki *et al.* 1998)

Muamele (MPa)	Sertlik (%)	Elastikiyet (%)
Kontrol	100	100
100	58	91
150	22	94
200	27	91
300	13	98

Sosislerle ilgili yapılan araştırmalarda sosislere YB uygulamasının, sıcaklık uygulamasına oranla daha fazla etkili olduğu bildirilmiştir (Yuste *et al.* 1999c; Mor-Mur and Yuste 2003). YB uygulanan sosislere sertlik ve kesme direncinde bir azalmaya neden olduğu ileri sürülmüştür (Yuste *et al.* 1999c). Ancak pişirilmiş sosislere YB uygulandığında yapışkanlık ve kesmeye karşı dirençte bir değişme görülmemiş, pişirme ile jelleşme olduğundan, pişirilmiş sosislerin bu özellikleri üzerine YB uygulamasının etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Mor-Mur and Yuste 2003).

Farklı seviyelerde basınç uygulandığı deniz levreği etlerinin 0, 7, ve 14 gün süreyle 4°C'de depolandıktan sonra elde edilen verilerde, 200 MPa'ın üzerindeki basınç uygulamasında ette meydana gelen doğal sızıntı suyu miktarının azaldığı ve depolama sonrası net ağırlık veriminde artışa neden olduğu ifade edilmiştir. 300 MPa'ın

üzerindeki uygulamalarda ise balık filetosunun sertliğini muhafaza ettiği belirlenmiştir (Chéret *et al.* 2005).

Et hamuru ve pişmiş etin tekstürel özelliklerine öğütülmüş ceviz ve YB uygulamasının incelendiği bir araştırmada (Ayo *et al.* 2005) et hamurunun su ve yağ bağlama özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Araştırmada pişmiş üründe sertlik, gevreklik, bağlayıcılık ve çiğnenebilirlik özelliklerinin azaldığı, buna karşın YB uygulamasının bu özellikler üzerine etkisinin olmadığı ileri sürülmüştür.

8.2. Renk Değişimleri

Protein yapısında olan myoglobin pigmentinin ete renk verdiği bilinmektedir. Bu nedenle proteinler üzerinde etkili olan YB uygulaması, protein yapısında olan myoglobini de etkileyerek renk üzerinde önemli değişimlere yol açmakta, YB işlemi L* (parlaklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) gibi etin renk karakteristiklerinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu değişim çiğ ette pişmiş etten daha olmaktadır (Jung *et al.* 2000c).

Yürütülen araştırmalarda hem myoglobin hem de myofibril denatrasyonunun parlaklıkta değişikliklere neden olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 150 MPa üzerindeki basınçlarda pişmiş ettekine benzer renk değişimleri görülmüştür. Kıyılmış sığır etlerine 350 MPa'ın üzerinde basınç uygulanması önemli renk değişimlerine neden olduğu, 400 MPa veya daha yüksek basınçlarda ise oksimiyoglobinin metmyoglobine dönüşmesi sonucunda çiğ ette renk solukluğunun oluştuğu görülmüştür (Hugas *et al.* 2002; Garriga *et al.* 2004). Ancak, Jung *et al.* (2003) YB uygulanmış etteki renk değişiminin etin kırmızılık, metmyoglobin içeriği ve uygulanan basıncın büyüklüğünden ziyade basınç uygulama süresinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Öte yandan yapılan araştırmalarda, basınç seviyesinin artmasıyla myoglobin denatrasyonunun arttığı ve bunun 400 MPa'da en yüksek seviyeye ulaştığı görülmüştür. Korzeniowski *et al.* (1999)'de 300 MPa'lık basınçta domuz etinin renginde önemli değişimler olduğunu ve 400 MPa basınçta parlaklık değeri en yüksek seviyeye ulaştığını tespit etmişlerdir.

Ayrıca Cheftel and Culioli (1997)'ün bildirdiğine göre Carlez *et al.* (1995) vakum ambalajlı sığır kıymasına YB uygulanmasının (10°C 'de 10 dakika 200-300 MPa), L^* değerinde önemli bir artışa sebep olduğunu (daha parlak) ve rengin pembeye dönüştüğünü belirtmişlerdir. Araştırmacılar, ete uygulanan basıncın artırılması ile (10°C 'de 10 dakika 400-500 MPa) metmyoglobin miktarının arttığını, oksimiyoglobin miktarının ise azaldığını; bu değişimlere paralel olarak a^* değerinde azalma olduğunu ve etin renginin kahverengiye dönüştüğünü tespit etmişlerdir.

Cheah and Ledward (1997a) tarafından yapılan bir araştırmada *Longissimus dorsi* ve *Psoas major* sığır kaslarına 20 dakika süreyle 80-100 MPa'lık basınç uyguladıklarında metmyoglobin oluşumu oranında ve renk stabilitesinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Basıncın uygulanmasıyla L^* , a^* ve b^* değerlerinde artış olduğu fakat a^* değerindeki artışın L^* ve b^* 'den daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ancak, kesimden 7-20 gün sonra uygulanan basıncın renk stabilitesinde herhangi bir değişmeye neden olmadığını bildirmişlerdir. Sığır etine 10°C 'de 260 saniye süreyle 520 MPa'lık (Jung *et al.* 2000c) ve balık etine 4°C 'de 15-20 dakika süreyle 100-200 MPa'lık (Sequeira-Munoz *et al.* 2006) basınç uygulamasının L^* , a^* ve b^* değerlerinde artışa neden olduğu ifade edilmiştir. Chéret *et al.* (2005) tarafından yapılan çalışmada da deniz levreğine 5 dakika süreyle farklı seviyelerde uygulanan basınçtan sonra 4°C 'de 0, 7 ve 14 gün süreyle depolanan balık etlerinin L^* , a^* ve b^* değerlerindeki değişimler incelenmiş ve Çizelge 8.3.'de verilmiştir. YB uygulamasının balık etlerinin renginde değişikliğe sebep olduğu fakat bu durumun pişirme ile ortadan kalktığı ifade edilmiştir.

Anonymous (2006a) bildirdiğine göre; Deuchi and Hayashi (1992) tarafından -20°C 'de depolanan donmuş sığır etine 20°C 'de 30 dakika 50-200 MPa basınç uygulanması ile yaptığı çalışmada, 50 MPa'lık basınç uygulamasında renk değişiminin görülmediği, ancak daha yüksek basınçlarda ette protein denatasyonundan kaynaklanan renk açılmalarının olduğunu tespit etmişlerdir.

Çizelge 8.3. YB uygulanan deniz levreğinin 4°C’de 0, 7 ve 14 gün depolanma sonunda L*, a* ve b* değerleri (Chéret *et al.* 2005)

Renk Parametreleri	YB uygulaması (5 dakika süreyle)						
	Depolama süresi (Gün)	Kontrol Örneği	100 (MPa)	200 (MPa)	300 (MPa)	400 (MPa)	500 (MPa)
L*	0	34,19	37,45	46,42	61,54	66,39	71,30
	7	47,71	48,94	54,32	63,51	72,04	70,24
	14	42,56	45,12	51,63	60,83	65,55	70,25
a*	0	-2,48	-0,75	-5,23	-5,88	-5,41	-4,79
	7	-2,23	-2,89	-4,05	-5,04	-4,85	-4,17
	14	-3,33	-3,48	-4,56	-5,76	-5,07	-4,41
b*	0	0,39	-0,67	-2,25	0,16	2,58	4,74
	7	-0,93	-1,67	-2,65	-2,92	0,58	2,99
	14	0,78	-0,43	-0,71	-1,33	1,51	4,75

Hajós *et al.* (2004) YB uygulamasının sosis hamurunun renk özellikleri üzerinde ne tür bir etki oluşturacağını belirlemek için 20 dakika süresince 600 MPa’lık bir basınç uygulamışlardır. Çalışma sonucunda sosis hamurunda parlaklığın (L değeri) arttığı ve kırmızılık değerinin (+a değeri) azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, 4°C’de 3 hafta boyunca depolanan 130 MPa basınç uygulanmış örneklerde kırmızılık artarken 520 MPa basınç uygulanmış örneklerde metmyoglobin artışıyla kırmızılıkta kademeli olarak bir azalmanın olduğu belirlenmiştir (Jung *et al.* 2003). Cheftel and Culioli (1997) ise kırmızı veya pembe rengin YB uygulamasına karşı dirençli olduğu için, dilimlenmiş-piştirilmiş-ambalajlanmış jambon veya salamların YB ile pastörize edilmesini önermişlerdir.

Yuste *et al.* (1999c)’de yaptıkları araştırmada tavuk ve domuz eti kıymasından yapılan sosislerde hem 50-75°C’de 30 dakika süreyle 500 MPa’lık basınçlardaki sosislerde hem de ısıtma işlemi görmüş (75°C) sosislerde parlaklığın önemli ölçüde arttığını ancak YB uygulaması yapılmış sosislerde bu artışın daha yüksek olduğunu belirlemişler ve YB uygulanmış sosislerde kırmızılık değerinin azaldığını, sarılık değerinin ise önemsenmeyecek derecede azaldığını veya değişmediğini ifade etmişlerdir. Buna karşın piştirilmiş sosislere YB uygulandığında L* değerinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığı da belirtilmiştir. Bunun da sosislerin kür edilmesi ve pişirilmesinden dolayı

myoglobin nitrosohemokoma dönüşmesinden ve YB uygulamasının bu pigmenti etkilememesinden kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir (Mor-Mur and Yuste 2003; Garriga *et al.* 2004). Serra *et al.* (2007a) tarafından yapılan araştırmada da YB uygulanmış (400-600 MPa) jambonların kontrol örneklerinden daha düşük bir renk yoğunluğuna sahip olduğu belirlenmiştir

8.3. Lipit Oksidasyonu

Et ve et ürünlerinin raf ömrünü belirleyen en önemli etkenlerden biriside lipit oksidasyonudur. Bu durum daha çok, fazla miktarda doymamış yağ asidi içeren kümes hayvanları, balık yağı ve domuz etinde görülmektedir. Lipit oksidasyonu bu ürünlerin hem tat hem de esansiyel yağ asitleri ile yağda çözülen vitaminler gibi beslenme değerlerinde azalmaya neden olabileceği ifade edilmiştir (Cheftel and Culioli 1997; Zorba ve Kurt 2005).

Orlien and Hansen (2000), ette 500 MPa'nın altındaki basınçlarda ransiditenin oluşmadığını bu basıncın üzerindeki basınçlarda ise lipit oksidasyonun olduğunu ifade etmişler, bundan dolayı da ette lipit oksidasyonu ve ransiditenin oluşumu için 500 MPa'lık basıncın kritik basınç seviyesi olduğunu belirtmişlerdir. Cheah and Ledward (1996) yaptığı çalışmada post-rigor domuz kıymasına ve saf su ile 6-7 kez muamele edilmiş kas liflerine YB uygulandığında (800 MPa, 20°C'de 20 dak.) lipit oksidasyonunun sıcaklık uygulamasına benzer şekilde hızlandığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, domuz kıymasındaki lipit oksidasyonunun saf su ile muamele edilmiş kas liflerinden daha fazla olmasının suda çözünmeyen bileşenlerin oksidasyonda önemli düzeyde etkili olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Kıymada oluşan lipit oksidasyonunun 300 MPa'nın üzerindeki basınçlarda daha da hızlı olduğu belirtilen araştırmada, yüksek oranlarda YB uygulanması esnasında etteki demirin serbest kalması lipit oksidasyonunu hızlandırdığı da belirtilmiştir (Cheah and Ledward 1997b).

Tuboly *et al.* (2003) tarafında yapılan çalışmada ise, hindi etine 20 dakika süreyle 200-400 MPa basınç uygulanmıştır. Daha sonra 200 MPa basınç uygulanmış etler 4°C’de 15 gün ve 400 MPa basınç uygulanmış etler -20°C’de 8 ay boyunca depolanmıştır. Her iki örnekte de thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) değerinin ve kolesterol oksidasyon ürünlerinin oluşumunun arttığı gözlenmiştir. Yapılan başka bir çalışmada YB uygulanmış balık etinde basınç seviyesi ve süresinin artırılmasına paralel olarak TBARS değerinin ve serbest yağ asitlerinin oluşumunun arttığı belirlenmiştir (Sequeira-Munoz *et al.* 2006). Ayrıca MAP’lanmış (Azot ile) ve YB uygulanmış etlerde thiobarbituric acid (TBA) değeri normal paketlenen etlerden daha düşük bulunmuştur. Ancak depolama aşamasında her iki örnekte de lipit oksidasyonunun hızlı bir şekilde ilerlediği görülmüştür. Böylece YB uygulamasında lipit oksidasyonun oksijenin varlığıyla ilgili olmadığı ileri sürülmüştür (Angsupanich and Ledward 1998).

Tavuk kıymasına biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ilave edilerek 10 dakika ve 600 MPa’lık basınç uygulanmasından sonra 70-120°C de pişirilen etlerden ziyade 95°C de pişirilen etlerde oksijen tüketim ve serbest radikallerin oluşum oranlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Böylece biberiyenin lipit oksidasyonunu geciktirmede etkili olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca YB uygulanmış tavuk but etinin oksidasyona göğüs etinden daha hassas olduğu ileri sürülmüştür (Bragagnolo *et al.* 2006). Angsupanich and Ledward (1998) ise, %1 oranında EDTA (ethylenediamine tetraacetic acid) katılmış morina balık etine 400 MPa’lık YB uygulanmasıyla depolama aşamasında lipit oksidasyonunun engellendiğini ifade etmişlerdir.

8.4. Jelleşme Özellikleri

Et ve et ürünlerine uygulanan yüksek basınç etin jelleşme özelliğini de etkilemektedir. Basınç yardımıyla jel oluşumunda, proteinin özellikleri (proteinin tipi, türü, yapısal parçalanma, pH, iyonik güç ve tuz konsantrasyonu) ve basınç uygulama şartları (basınç seviyesi, zaman ve basınç sıcaklığı) etkili olmaktadır (Suzuki *et al.* 1998; Jiménez-Colmenero 2002).

Myofibriller proteinlerin özellikle de myosinin su bağlama ve jel oluşturma gibi fonksiyonel özellikleri et endüstrisinde et ürünlerinin iyileştirilmesi ve yeni et ürünlerinin üretilmesi için oldukça önemlidir (Jiménez-Colmenero 2002). Cheftel and Culioli (1997) yaptıkları araştırmada sıcaklık olmaksızın YB uygulanmasıyla myofibriller proteinlerin jelleşebildiğini, aktin ve myosinin depolimerize olduğunu ve myofibriller proteinlerin çözünürlüğünün arttığını tespit etmişlerdir. Ikeuchi *et al.* (1992a)'de aktomyosine (0,2 M KCl ve pH'sı 6,0) 150 MPa'lık YB uygulandığında sıcaklıkla oluşan jelleşmeye benzer bir jelleşmenin oluştuğunu ve yüksek basınç uygulanmış aktomyosindeki aktinin denatürasyonu sonucu daha düşük KCl konsantrasyonlarında daha sıkı yapılı jelleşmenin olduğunu belirtmişlerdir (Ikeuchi *et al.* 1992a). Ikeuchi *et al.* (1992b) diğer çalışmalarında ise aktomyosindeki aktinin denatürasyonu ve myofibriller proteinlerin hibrofobik ve sülfhidril interaksiyonlarındaki artışın aktomyosinin jel oluşturma gücünü arttırdığını ileri sürmüşlerdir. Carballo *et al.* (2001)'de yaptıkları çalışmada kümes hayvanları etinden oluşturulan et hamuruna (%1,5 tuz) farklı kimyasallar katılarak 325 MPa'da YB uyguladıklarında hibrofobik interaksiyonların etkisiyle jelleşmenin arttığını görmüşlerdir. Bununla birlikte yalnızca β -mercaptoethanol katılmış tuzlu et hamuru ile tuz ilaveli et hamurunun jelleşme özelliklerinin benzer olduğu ancak, β -mercaptoethanolün jelleşmeyi hızlandırdığı ifade edilmiştir. Cofrades *et al.* (2003)'de tavuk etine 400 MPa basınç uygulandığında daha az sert ve çiğnenebilir jelleşmenin oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Crehan *et al.* (2000) ve Troy *et al.* (2001) yaptıkları araştırmalarda tuz ve fosfat içeriği düşürülerek (%1,5 tuz ve %0,25 fosfat) hazırlanan frankfurterlere 150 MPa'lık basınç uygulandığında emülsiyon stabilitesinin yükseldiğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte tuz içeren et ürünlerinin tuz oranının azaltılmasıyla etin tekstürel özelliklerini iyileştirdiği ifade edilmiştir. Trespalacios and Pla (2007) tarafından yapılan araştırmada da düşük yağ ve tuz içeriğine sahip tavuk eti hamuruna YB (500 MPa) ile mikrobiyal kaynaklı transglutaminaze (%0,3-MTGaz)'ın birlikte kullanılması daha sıkı ve daha homojen jellerin oluşumunu artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca bu uygulamalar ile daha sert, daha çiğnenebilir ve daha esnek jeller oluşturulmuş, bağlayıcılık ve kesme direncinin ise sıcaklık uygulamasına benzer olduğu belirtilmiştir.

Balık etinde jelleşmenin artmasında YB uygulamasının etkisinin incelendiği bir araştırmada, 400 MPa basıncın jelleşmeyi artırdığı tespit edilmiştir (Uresti *et al.* 2005). Yapılan başka bir çalışmada ise YB uygulanan balık (*Tilapia*) etinin jelleşme gücünün basınç seviyesinin artmasıyla azaldığı ve 250 MPa'lık basınçta bu azalmanın %25 olduğu belirtilmiştir (Ko *et al.* 2006). Ayrıca basıncın etkisiyle oluşan jellerin daha yumuşak ve daha parlak olduğu belirtilmiştir (Hugas *et al.* 2002).

Et ve et ürünlerine sıcaklık/basınç kombinasyonlarının uygulanabilmesinin iki temel yönünün olduğu ifade edilmiştir. Bunlardan birisi et proteinlerinin termobilitesi, diğeri ise, programlanmış basınç ve sıcaklığın değişim oranlarının üründe meydana getirdiği değişikliklerdir. Sıcaklığın artmasıyla iyonik güç, pH, protein konsantrasyonu gibi parametreler ve etin karakteristiklerine bağlı olarak myofibriller proteinlerde farklı yapısal değişiklikler oluşabilmektedir. Jiménez-Colmenero (2002), 30-35°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ette önemli değişikliklerin meydana geldiğini ve daha düşük sıcaklıklarda et proteinlerinin belirli değişikliklere uğradığını tespit etmişlerdir. Araştırmacı, ayrıca parçalanmış etin 15-20°C'de belirli bir zaman tutulması ile protein-protein interaksyonun oluştuğunu, 25-35°C'de myosin jelinin sertliğinin lineer olarak artmasıyla bazı molekülerde değişikliklerin oluşabildiğini de belirlemiştir.

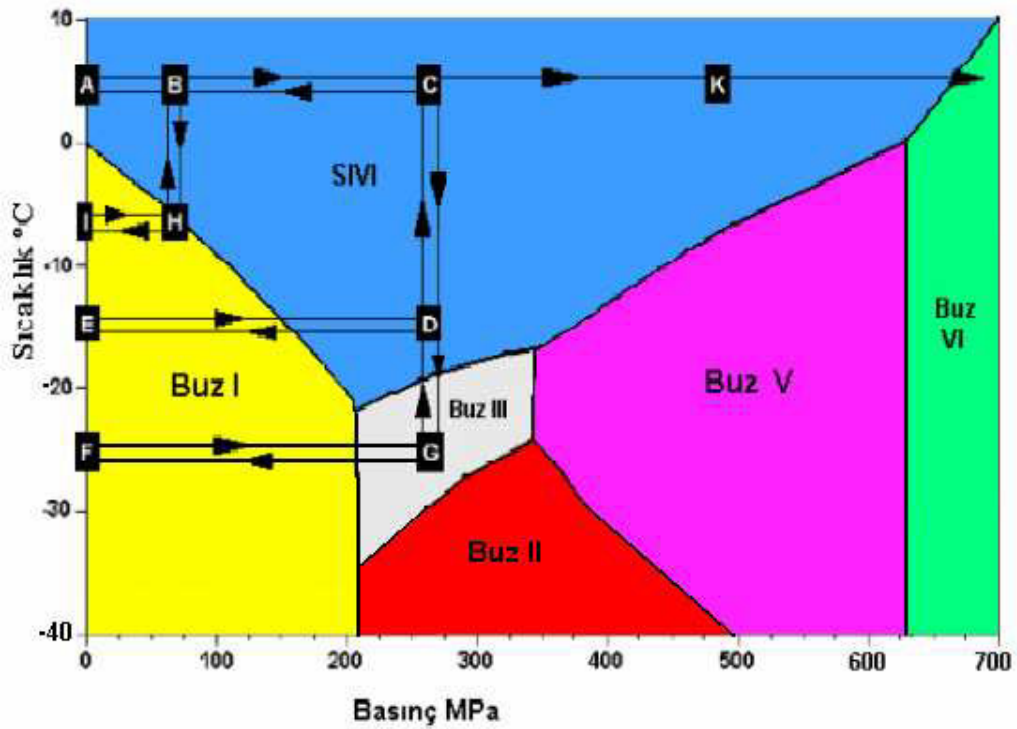
8.5. Tat Bileşenleri

Konu ile ilgili literatür verileri dikkate alındığında YB uygulamasının etin tattan sorumlu bileşenleri üzerinde yaptığı değişikliklerin normal şartlarda ette oluşan değişikliklere benzer olduğu için etin tadı üzerine YB uygulamasının önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır (Suzuki *et al.* 1994). Etin tadını etkileyen önemli bileşiklerinden olan inosinik asit miktarının basınç uygulaması ile değişmediği belirtilmiştir. Ancak, basınç etkisiyle lizozomlardan salınan proteolitik enzimlerin olgunlaşma sırasında ette tat ve aroma gelişimini hızlandırdığı ileri sürülmektedir (Karakaya vd 2004). Suzuki *et al.* (1992) YB uygulamasının etin tat bileşenlerinin (aminoasit ve peptitler) miktarını artırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca serin, glutamik asit,

glutamin, glisin ve alanin içeriği 200 MPa basınca kadar artarken 300 MPa'da glutamin ve alaninin azalma eğilimde olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte 7 günlük depolama sonunda hem YB uygulanmış hem de kontrol etlerde aspartik asit, serin, prolin, alanin ve lisin içeriğinde artışın olduğu saptanmıştır. Serra *et al.* (2007a) tarafından yapılan araştırmada da kuru kr edilerek işlenmiş ve dondurulmuş jambonlara YB uygulamasının (400-600 MPa) son ürünün aromasına önemli bir etkisinin olmadığı ifade edilmiştir

9. YB YARDIMIYLA DONMA VE ÇÖZÜNME

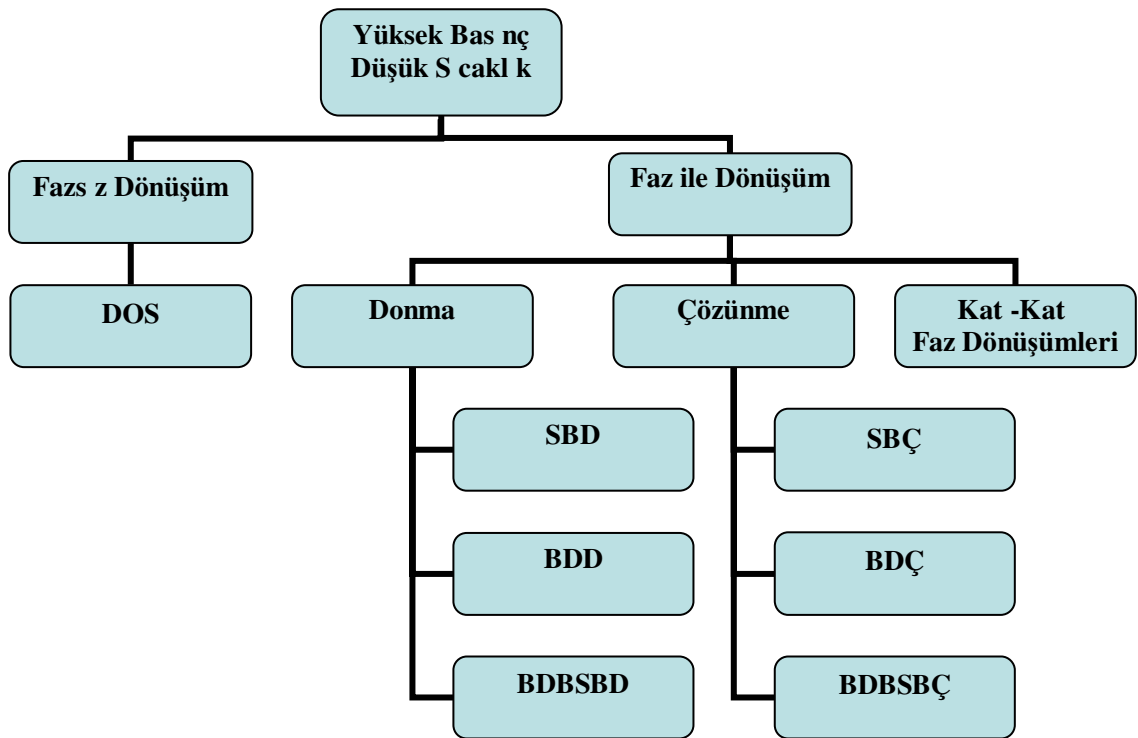
Suyun faz diyagramı (Şekil 9.1.) incelendiğinde basıncın 210 MPa'a kadar artırılması durumunda suyun donma noktası 0°C'den -22°C'ye düşerken, 210 MPa üzerindeki basınçlara çıkılması durumunda ise basıncın artışına bağlı olarak donma noktasının arttığı görülmektedir. Suyun basınç altındaki davranışından yararlanılması gıda sektöründe önemli değişimler sağlamıştır. Böylece gıdalar donma olmaksızın soğutulabilmektedir. Basıncın kaldırılması sonucu çok hızlı bir donmanın meydana gelmesiyle gıda maddelerinde oluşabilecek olası zararların azaldığı görülmüştür. Zarar oranındaki bu düşüşte gıda maddelerinin donma sürelerinin kısılmasının da etkili olduğu bildirilmiştir (Luscher *et al.* 2004; Molina-García *et al.* 2004).



A-B-C-D-C-B-A, donma olmaksızın 0°C'de soğutma (DOS); A-B-H-I, sabit basınçta donma (SBD); I-H-B-A, sabit basınçta çözünme (SBÇ); A-B-C-D-E, basıncın değişimiyle donma (BDD); E-D-C-B-A, basıncın değişimiyle çözünme (BDÇ); A-B-C-D-E, basıncın değişimiyle başlayan sabit basınçta donma (BDBSBD); E-D-C-B-A; basıncın değişimiyle başlayan sabit basınçta çözünme (BDBSBÇ); A-B-C-D-G-F, buz III'de donma; F-G-D-C-B-A, buz III'ün çözünmesi; A-B-C-K- Buz VI, 0°C'nin üzerinde donma

Şekil 9.1. Su faz diyagramı ve faz geçişlerine YB uygulamasının etkisi (Luscher *et al.* 2004; Molina-García *et al.* 2004)

Donma esnasında (210 MPa'nın üzerindeki basınçlarda) saf suyun farklı katı fazları sudan daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu ve bu şartlarda daha küçük buz kristalleri olduğu için daha iyi kalitede ürünler elde edildiği belirlenmiştir (Luscher *et al.* 2004). Bu durum, sabit basınç altında donma ve çözünmeyle oluşan faz değişimi, basınç değişimiyle donma (basıncın kaldırılmasından dolayı oluşan faz değişimi), basınç artırılmasıyla başlayan ve sabit basınçta çözünmeyle oluşan faz değişimi vb. gibi çok farklı yeni uygulamalar üzerinde araştırmalara yol açmıştır (Şekil 9.2.) (Fikiin 2003; Urrutia Benet *et al.* 2004). Özellikle son yıllarda suyun faz diyagramı ve faz transferi kullanılarak YB uygulaması ile gıda ürünlerinin işlenmesi ve korunması konusunda birçok araştırma yapılmıştır (Martino *et al.* 1998; Sanz *et al.* 1999).



DOS: donma olmaksızın 0°C'de soğutma, **SBD:** sabit basınçta donma, **BDD:** basıncın değişimiyle donma, **BDBSBD:** basıncın değişimiyle başlayan sabit basınçta donma, **SBC:** sabit basınçta çözünme, **BDÇ:** basıncın değişimiyle çözünme, **BDBSBC:** basıncın değişimiyle başlayan sabit basınçta çözünme

Şekil 9.2. YB'ın düşük sıcaklık bölgesindeki temel işlemleri (Urrutia Benet *et al.* 2004)

9.1. Donma Olmaksızın YB ile Gıdaların Korunması

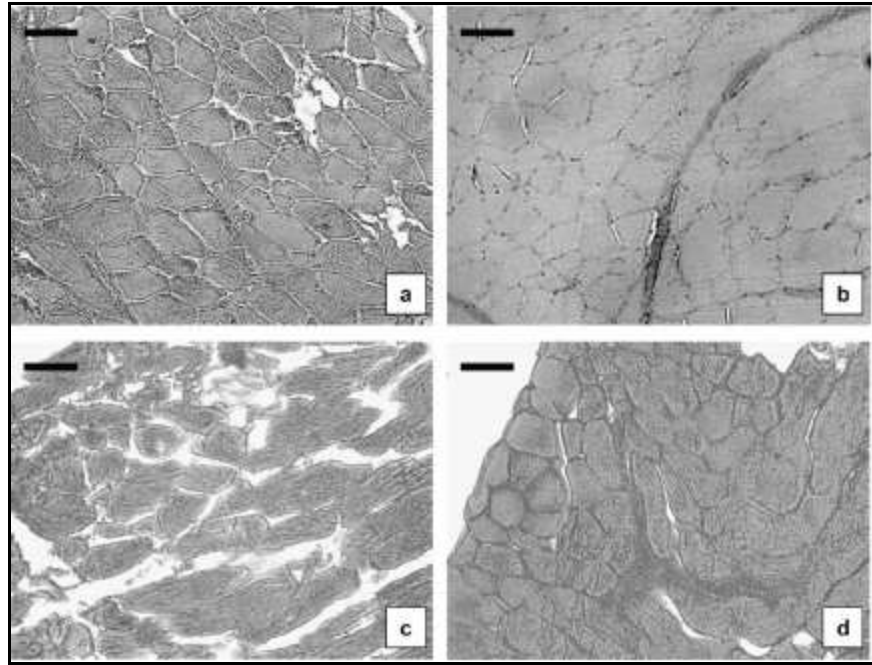
Kristalizasyon oluşmadan suyun sıcaklığının donma noktasının altına düşürülmesi aşırı soğutma (supercooled) olarak ifade edilmektedir. Şekil 9.1’de verilen suyun faz diyagramında görüldüğü gibi YB uygulaması aşırı soğutmayı kolaylaştırmaktadır. Gıda maddelerine 210 MPa’ya kadar bir basınç uygulaması ve 0°C’den -20°C’ye kadar donma olmaksızın depolanması (Şekil 9.1.) ile normal donma işlemi esnasında buzlanmadan kaynaklanan zararların ortadan kaldırılmasına ve böylece bozulabilen gıdaların raf ömrünün uzatılmasına imkan sağlandığı bildirilmiştir. Çiğ et örneklerinin -5°C’den -20°C’ye kadar 50 ile 200 MPa arasındaki basınç uygulanması sonucu birkaç gün ile birkaç hafta arasında depolanabileceği ve bu depolanma esnasında bozulmanın olmayacağı gibi çiğ domuz etinde klasik donma işlemiyle oluşan su kaybının da olmayacağı ifade edilmiştir. Ancak, bütün bu işlemler için gerekli olan YB ekipmanlarının çok pahalı olduğundan dolayı pratikte kullanımının ekonomik olmadığı bildirilmiştir (Anonymous 2006a).

9.2. YB Altında Gıdaların Hızlı Donması

Hızlı dondurma işlemlerinde -20°C’de 200 MPa’lık bir basınç uygulanarak soğutma gerçekleştirilmekte (bu şartlar altında su sıvı haldedir) ve basıncın aniden kaldırılmasıyla ürünün tamamında homojen ve hızlı buz çekirdeklenmesini ve büyümesini kolaylaştırarak çok küçük buz kristallerinin oluşmasına neden olduğu tespit edilmiştir (Martino *et al.* 1998; Kalichevsky-Dong *et al.* 2000). Yapılan birçok çalışmada et gibi yüksek miktarda su içeren gıdaların hızlı donma ve çözünme işlemlerinde bu tekniğin kullanılmasının faydalı olacağı ifade edilmiştir. Çünkü yavaş donma ile büyük yapılı buz kristalleri oluştuğu için gıdaların tekstüründe zarara neden olurken hızlı donma gıdanın tekstürünü korumaktadır (Sanz *et al.* 1999).

Klasik donma (buz I) kas liflerinde yapısal zararlara neden olurken buz VI’da (oda sıcaklığında 632.4–2216 MPa) donma etin yapısının korunmasında yararlı olduğu

görülmüştür. Şekil 9.3.'de a (taze et), b (buz VI'da donan et) ve d (buz VI'de donma olmadan oda sıcaklığında 700 MPa basınç uygulaması) mikrograflarının birbirine benzediği ve kas lifleri arasında çok küçük ayrılıklar olduğu görülmektedir. Böylece kas yapısının donma işleminden etkilenmediği ve intrasellüler buz kristallerinin oluşmadığı ortaya çıkmıştır. Bunların aksine c (buz I'de donan et) mikrografında çok sayıda intrasellüler kristaller, ekstrasellüler oluşumda ayrılma ve kas liflerinde yapısal olarak bozulma görülmüştür (Molina-García *et al.* 2004).



Şekil 9.3. Taze ve donmuş domuz eti mikrografları (Molina-García *et al.* 2004)

-20°C'de 200 MPa basınç uygulanan et örneklerinde YB uygulamasının aniden kaldırılmasıyla donan etteki protein denatürasyonunun dondurulmayan etteki protein denatürasyonundan daha fazla olduğu belirtilmiştir. Kastaki sarkomer yapısındaki değişikliklere basınçtan ziyade basıncın kaldırılmasıyla oluşan donmanın etkisinin çok daha önemli olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle hem basınç hem de basıncın kaldırılmasıyla oluşan donmanın et proteinlerinin korunması için uygun bir yöntem olmadığı anlaşılmıştır (Fernández-Martín *et al.* 2000). Yapılan başka bir araştırmada ise farklı donma çözünme döngüsü uygulanan et örneklerine daha sonra basınçla birlikte

sıcaklık uygulanmıştır. Bu işlemten sonra oluşan protein denatürasyonunun sadece sıcaklığın etkisiyle oluşan denatürasyondan daha az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca jel yapısı nedeniyle su tutma özelliğinin de daha iyi olduğu ancak, basınç uygulanmamış veya düşük sıcaklıklarda uygulanan basınçlardan daha zayıf olduğu belirlenmiştir (Carballo *et al.* 2000).

9.3. YB Alt ında Donmuş Gıdaların Hızlı Çözünmesi

Donmuş gıdaların 0°C ila -22°C'ler arasında YB uygulaması ile üniform bir şekilde çözünebileceği tespit edilmiştir. YB uygulamasından sonra basıncın kaldırılmasıyla yeniden oluşacak donmayı önlemek için basınç işlemi sırasında gıdaya ısı uygulanabileceği belirtilmiştir. YB altında çözünme, atmosfer basıncındaki çözünmeyle karşılaştırıldığında; çözünme zamanının 2-50 kat daha azaldığı ve tahribin az olması ve patojenlerin inhibisyonu gibi bazı avantajlarının olduğu görülmüştür (De Lamballerie-Anton *et al.* 2002).

Anonymous (2006a)'da belirtildiğine göre Deuchi and Hayashi (1992) tarafından yapılan bir çalışmada -10, -15, -20 ve -30°C'de depolanan donmuş sığır etlerine 5°C'de 30 dakika süreyle 50-200 MPa arasında bir basınç uygulandığında 200 MPa basınçta örneklerin tamamen çözüldüğü, aynı şartlardaki örnekler 5°C'de 30 dakika atmosfer basıncına maruz bırakıldığında ise kısmen çözünmüş oldukları belirlenmiştir. YB uygulaması sonucunda en uygun çözünmenin 50 MPa basınçta olduğu ve oluşan sızıntı suyu miktarının klasik yöntemle çözünmeden daha az olduğu tespit edilmiştir. Ancak Zhao *et al.* (1998), 210-280 MPa'nın sığır etinin çözünmesi için kritik işlem aralığı olduğunu ve örneğin büyüklüğü ile ilk sıcaklığının YB altında çözünmede önemli olmadığını ileri sürmüşlerdir. Ayrıca YB uygulaması ile gıdaların donma-çözünme işlemlerinde basıncın etkisiyle oluşan su-faz geçişlerinin kalorimetrik olarak belirlenmesinde YB diferansiyel tarama kalorimetresinin kullanılmasının uygun olduğu bildirilmiştir (Zhu *et al.* 2004).

10. YB'IN MİKROORGANİZMALAR ÜZERİNE ETKİLERİ

Başlıca bileşenleri protein, yağ, karbonhidrat, su, vitaminler (özellikle B grubu vitaminler bakımından zengin) ve mineral maddelerden oluşan et, mikroorganizmaların gelişmesi için oldukça zengin bir ortam olarak bilinmektedir (Hugas *et al.* 2002). Mikroorganizmalar, gıdaların bozulmasına ve gıda zehirlenmelerine neden olmaktadır. Avrupa Birliği Ülkeleri'nde zorunlu gıda standartları getirilmesine rağmen epidemiologlar gıda kaynaklı hastalıkların %75'ne bakterilerin neden olduğunu düşünmektedirler (Fonberg-Broczek *et al.* 2005). Bu nedenle mikroorganizmaların kontrolü gıda kalite ve güvenilirliği bakımından önemlidir. Bunun için gıda endüstrinde kullanılan gıda koruma metotları ya mikrobiyal çoğalmayı engellemek yada mikrobiyal inaktivasyonu sağlamak amacıyla yapılmaktadır (Mañas and Pagán 2005). Diğer muhafaza yöntemlerine alternatif koruma metotlarından biri olan YB uygulamasının et üzerindeki en önemli etkilerinden biri de etin mikrobiyolojik kalitesinin korunmasıdır.

YB uygulamasının mikroorganizmaların inaktivasyon mekanizmaları üzerine nasıl bir etki yaptığı açıkça bilinmemesine rağmen bilim adamları bunun hücre membranının bozulması ve fonksiyonlarını kaybetmesiyle ilgili olduğunu ileri sürmektedirler (Linton *et al.* 2001). Uygulanan basıncın seviyesi mikroorganizmaların hücre duvarını ve zarını, morfolojisini, biyokimyasal reaksiyonlarını ve genetik mekanizmalarını etkileyerek mikroorganizmada önemli değişimlere neden olabilmektedir (Molina-Hoppner *et al.* 2003). YB uygulamasının mikroorganizmaların hücre membranı ve morfolojisinde yaptığı değişiklikler ile mikroorganizmaların genetik mekanizması, enzim ve proteinleri üzerine yaptığı etkilerle ilgili birçok araştırma yapılmıştır (Patterson 2005).

Basıncın hücrede zarar verdiği ilk yer hücre membranıdır (Hoover *et al.* 1989). Basınca maruz kalan bakteri hücrelerinde UV-absorbsiyon materyalinin veya ATP'nin azalması hücre membranında oluşan fiziksel zararın bir kanıtıdır. Zarar görmemiş hücre membranı normalde geçirgen değildir (Patterson 2005). Ancak YB uygulamasıyla birlikte, hücre zarı geçirgenliği artmaktadır (Yuste *et al.* 2002a). 500 MPa basınç

uygulanarak yapılan bir çalışmada propidium iodide ve ethidium bromide gibi flüoresan boyaların membranda geçişinin arttığı görülmüştür (Benito *et al.* 1999). Basıncın, membranda geri dönüşümsüz zararlarından dolayı üslü çoğalma fazında hücreler inaktive olurken sabit fazda membran bütünlüğü korunmaktadır. YB ile sıcaklık membran akışkanlığında zıt etki göstermektedirler. Tekli ve çoklu doymuş yağ asitleri oranının artması ve membran akışkanlığının düzenlenmesi ile piezofilik (piezophilic) bakterilerin fizyolojik adaptasyona neden olduğu bildirilmiştir (Molina-Hoppner *et al.* 2003). YB uygulaması hücre duvarını hücre membranından daha az etkilemektedir. Ritz *et al.* (2001) tarafından yapılan bir araştırmada sitrat tamponundaki *Listeria monocytogenes*'e 400 MPa basıncın 10 dakika süreyle uygulamasından sonra SEM (Tarama elektron mikroskop) kullanarak hücre membranındaki değişiklikler incelenmiştir. YB'nin hücre membranına yaptığı başlıca etkilerden birinin hücre membranındaki fosfolipitlerin düzeninin bozulması olduğu görülmüştür. YB uygulaması hücrenin hacminde önemli bir değişiklik yapmazken, hücre popülasyonunun büyük bir bölümünde membran bütünlüğünün bozulmasına ve hücre yüzeyinde tomurcukların oluşmasıyla bazı fiziksel zararlar meydana gelmesine neden olmuştur. Membran potansiyeli ve metabolik aktivitedeki düşüşün hücrelerin büyük bir bölümünde zarar oluşturmadığı görülmüştür. Park *et al.* (2001) *Lactobacillus viridescens*'a 5 dakika süresince 400 MPa basınç uygulandıktan sonra SEM (Tarama elektron mikroskop) ile yaptıkları incelemede hücre duvarında nodulların oluştuğunu ve TEM (transmisyon elektron mikroskop) kullanılarak yapılan incelemede de stoplazmik membran ile hücre duvarı arasındaki boşlukların oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

YB uygulaması hacimde bir artışa neden olan reaksiyonları engellerken veya geciktirirken hacimde bir azalışa neden olan biyokimyasal reaksiyonları da kolaylaştırmaktadır (Patterson 2005). Bu biyokimyasal reaksiyonlardan biride basıncın etkisiyle çeşitli multimerik proteinlerin ayrılmasıdır (Molina-Hoppner *et al.* 2003). YB uygulamasıyla laktik asit bakterilerinin bazı proteinlerinin fonksiyonlarını ve morfolojisini değiştirdiği (Molina-Hoppner *et al.* 2003) ve *Listeria monocytogenes*'e basınç uygulanmasından sonra hücre aktivitesiyle ortaya çıkan esteraz'ın özelliklerini değiştirdiği görülmüştür (Ritz *et al.* 2001).

YB uygulamasına enzimlerin direnci oldukça değişkenlik göstermektedir. Mikrobiyal enzimlerden *Bacillus subtilis* α -amilaz 500 MPa basınca direnç gösterirken *Listeria monocytogenes* fosfoglukomutaz ve aconitaze 200 MPa basınçta inaktive olmaktadır. Ancak enzimlerin basınçla inaktive olması ile *Listeria monocytogenes*'in basınca direnci arasında bir ilişki tespit edilememiştir (Patterson 2005). YB uygulamasıyla birlikte, hücre içi bileşenler parçalanmakta, hücrede enerji üreten reaksiyonlar yavaşlamakta, hücre büyümesi için gerekli enzimler fonksiyonlarını kaybetmekte ve büyüme için gerekli olan pH aralığı azalmaktadır (Hugas *et al.* 2002; Zorba ve Kurt 2005).

YB uygulamasına etin yapısında bulunan nükleik asitler oldukça dirençlidir. Ayrıca, büyük bir kısmını hidrojen bağlarının oluşturduğu heliks yapıdaki DNA da basınca karşı stabildir. DNA replikasyonu ve transkripsiyonunda yer alan enzimler YB uygulamasıyla bozulmaktadırlar (Yuste *et al.* 2001a; Patterson 2005). Bununla birlikte ekstrasellüler ortamdaki RNA, protein ve osmotik hassasiyet kaybı gibi değişimlerde üslü çoğalma fazında görülmektedir (Mañas and Mackey 2004). Buna karşın *Lactobacillus viridescens*'a 5 dakika 600 MPa basınç uygulandığında DNA'nın bozulduğu ve etrafında genişleyen bölgelerin oluştuğu TEM (transmisyon elektron mikroskop) ile gözlemlenmiştir (Park *et al.* 2001). YB uygulamasıyla *Escherichia coli*'nin (Mañas and Mackey 2004) ve *Lactobacillus plantarum*'un (Wouters *et al.* 1998) çekirdek materyallerinde bir sıkışma belirlenmiştir. YB uygulanmasıyla ribozomlarda oluşan şekilsel değişikliklerden dolayı *Escherichia coli*'nin redüksiyonu da mümkün olabilmektedir (Niven *et al.* 1999).

10.1. YB' n Mikroorganizmalar n İnaktivasyon Kinetiği Üzerine Etkileri

YB uygulamasıyla mikroorganizmaların inaktivasyonu değişik faktörlerin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Bu faktörlerin hücre içindeki farklı etkilerinden dolayı basınç hücre ölümlerini artırmaktadır (Garriga *et al.* 2004). Mikroorganizma yükünün logaritmasıyla zamana karşı çizilen grafik her zaman lineer olmamaktadır. Genellikle başlangıçta mikroorganizmaların sayılarında lineer bir azalış vardır. Ancak

mikroorganizmanın basınca direnç gösterdiği pik noktadan itibaren ölüm oranlarında bir azalış görülmektedir (Kalchayanand *et al.* 1998; Yuste *et al.* 2001a). Doona *et al.* (2005) tarafından yapılan bir çalışmada sistematik oranlarda değişen sıcaklık ve basınç şartlarını sağlayan bir gıda sistem modelinde *Escherichia coli*'nin (ATCC 11229) YB uygulaması ile inaktivasyonu için yarı kimyasal modelin uygunluğu araştırılmış, gıda sistem modelinde 207-345 MPa arasında basınç ve 30-50°C arasında sıcaklık kullanılarak YB'la inaktivasyon kinetiği belirlenmiştir. Düşük basınç ve sıcaklık kombinasyonuna göre inaktivasyon eğrisinin lineer olmadığı belirlenmiştir. Buna karşın daha yüksek basınç ve sıcaklık kombinasyonlarında inaktivasyon grafiklerinin lineer olma eğiliminde olduğu görülmüştür. Değişik şartlara yarı kimyasal model başarılı bir şekilde oturtularak gıda sistem modelleri için *Escherichia coli*'nin lineer grafikleri çizilmiştir.

YB uygulamasından sonra belirli şartlar altında mikroorganizmalar yeniden canlılıklarını devam ettirebilmektedirler. 130 MPa'nın üzerindeki basınçlar hücrelerde ölümlere neden olurken 20-130 MPa arasındaki basınçlarda bakterilerin gelişmesi engellenmektedir (Hauben *et al.* 1997). Basınca duyarlı mikroorganizmaların 40-50 MPa arasındaki basınç uygulamasında gelişmeleri durmaktadır. Gıda biyoteknolojisinde kullanılan mezofilik laktik asit bakterilerinden (basınca karşı toleranslı olan) *Lactobacillus sanfranciscensis* 50 MPa basınçta büyüyemezken *Lactobacillus lactis* 50 MPa basınç uygulandığında gelişme oranı atmosferik basınçtaki büyüme oranından %30 daha az olduğu belirtilmiştir (Molina-Hoppner *et al.* 2003). İşlenmiş etlerin bozulmasına neden olan *Lactobacillus viridescens*'in ise 50°C'de 600 MPa basınçta tamamen inaktive olduğu bildirilmiştir (Park *et al.* 2001).

Vejatatif bakteri sporları basınca ve ısıya karşı çok dirençlidirler. Yaklaşık 100°C sıcaklığa (atmosfer basıncında) kadar dirençli olan bakteri sporları basınca karşı da yüksek direnç göstermektedirler. YB uygulanmasıyla gıda kaynaklı patojenler kadar bakteri sporlarının da etkili bir şekilde inaktive olduğu ifade edilmiştir (Cheftel and Culioli 1997). Basınca daha fazla dirençli olan bakteri sporları çevre sıcaklığında uygulanan 1000 MPa'nın üzerindeki basınçlarda aktivasyonlarını sürdürebilmelerine

karşın 70°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda büyük oranda inaktive olduğu (Ardia 2004) hatta 5 dakika 90°C'de 800 MPa veya 60°C 'de 1400 MPa basınçta tamamen inaktif hale geldikleri belirlenmiştir (Rovere *et al.* 1998). Yapılan başka bir çalışmada (Hayakawa *et al.* 1994) 70°C'de 600 MPa'da 1 saat sürekli basınç uygulamasıyla sporlar tamamen inaktive edilemezken, 70°C'de 600 MPa'da 5'er dakikalık 6 kez ard arda yapılan basınçlamayla *Bacillus stearothermophilus* sporlarının tamamen inaktive olduğu tespit edilmiştir. Sporların inaktive olmasının adiyabik genişleme hızına bağlı olduğu ileri sürülmüştür. Düşük basınç (250 MPa) ile birlikte sıcaklık (40°C) uygulamasıyla sporların iki aşamada inaktive edilebileceği tespit edilmiştir. İlk aşamada sporların basınçla çimlendirildiği, ikinci aşamada ise gelişmiş olan sporların yine basıncın etkisiyle inaktive olduğu belirtilmiştir (Cheftel and Culioli 1997; Wuytack *et al.* 1998). 100-600 MPa'lık basınç uygulandığında (pH 3-8) *Bacillus subtilis* sporlarının %80'i inaktive olurken, ilk önce nötr pH'da basınç uygulanan etlere daha sonra düşük pH'da (pH<5) 1 saat basınç uygulanması sonucunda daha fazla sporun inaktive olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin nötr pH'da uygulanan basıncın etkisiyle sporların çimlendiği ve daha sonra düşük pH'da basınç uygulamasıyla sporların inaktive olduğu ileri sürülmüştür (Wuytack and Michiels 2001). Yapılan bir çalışmada da, 600 MPa basınç uygulanarak geliştirilen *Bacillus subtilis* sporlarının 100 MPa basınçta geliştirilen sporlardan inaktivasyona karşı daha dirençli olduğu ileri sürülmüştür. Ayrıca 100 MPa basınçta geliştirilen sporlarla besin ortamında geliştirilen sporların enzimatik reaksiyonlarının benzer olduğu ancak 600 MPa'da geliştirilenlerde en az iki enzimatik reaksiyonun oluşmadığı görülmüştür (Wuytack *et al.* 1998; 2000).

Clostridium botulinum gibi bakteri sporlarının 90-110°C'de 500-700 MPa'lık basınç uygulanması ile inaktive edilebileceği bildirilmiştir (FDA 2001). Bununla birlikte *Clostridium sporogenes* sporlarının da YB (600-800 MPa) ve yüksek sıcaklığın (91-108°C) birlikte kullanılmasıyla daha kısa sürede inaktive edileceği ve böylece sterilizasyonun sağlanacağı ifade edilmiştir (Koutchma *et al.* 2006). Ayrıca şarbon hastalığına neden olan *Bacillus anthracis*'in sporları 75°C'de 500 MPa basınç uygulanmasında 4 dakika sonra sporların %90'nının inaktive olduğu belirlenmiştir (Cléry-Barraud *et al.* 2004). Lechowich (1993) tarafından yapılan bir çalışmada ise

50°C’de 30 dakika boyunca 250 MPa basınç uygulamasıyla *Bacillus*’un bazı türlerinin sporlarının %50-65 geliştiği, hatta ortama alanın eklendiğinde *Bacillus subtilis* ve *Bacillus coagulans* sporlarının %95-99 çimlendiği belirlenmiştir.

Mikroorganizmaların YB uygulamasına karşı göstermiş oldukları direnç farklıdır. Çizelge 10. 1.’de bazı mikroorganizmaların 5 logaritmik birimlik redüksiyonu için gerekli olan 15 dakikalık basınç değerleri verilmiştir (Hogan *et al.* 2005). 20 ve 50°C’de 30 dakika 400 MPa basınç uygulamasında *Clostridium spp.*, *Bacillus spp.* aktivitelerini sürdürebilmektedirler. Gram(+) koklardan *Enterococcus faecalis* ve *Staphylococcus aureus*’un *Saccharomyces cerevisiae* ve Gram(-) bakterilerden *Pseudomonas fluorescens* ve *Escherichia coli*’nin de basınca karşı daha dirençli olduğu, 20°C’de YB uygulanmış nötr pH’lı gıdaların pastörize ve sterilize olmadıkları belirtilmiştir (Moerman 2005).

Çizelge 10.1. Bazı bakterilerin sayılarında 5 log birimlik redüksiyon için 15 dakika süreyle uygulanan YB değerleri (Hogan *et al.* 2005)

Mikroorganizma	Bas nç (MPa)
<i>Yersinia enterocolitica</i>	275
<i>Salmonella Typhimurium</i>	350
<i>Listeria monocytogenes</i>	375
<i>Salmonella enteritidis</i>	450
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	680
<i>Staphylococcus aureus</i>	700

Yuste *et al.* (2004) tarafından yapılan araştırmada *Vibrio parahaemolyticus* ve *Bacillus cereus* (300 MPa’da 5 dakika veya 400 MPa’da 1 dakika), *Escherichia coli*, *Salmonella Typhimurium*, *Yersinia enterocolitica* (400 MPa’da 1 dakika) ve *Listeria monocytogenes* (400 MPa’da 5 dakika veya 500 MPa’da 1 dakika)’in tamamen inaktive oldukları belirlenmiştir. Yuste *et al.* (2003) ve Yuste *et al.* (2004) ise *Staphylococcus aureus*’un ise basınca karşı çok daha dirençli olduğunu, bu bakterinin ancak 700-800 MPa (5 dakika) veya 900 MPa (1 dakika) gibi yüksek basınçlarda tamamen inaktive edildiğini belirlemişlerdir

Genellikle mayaların gıda kaynaklı hastalıklarla ilgisi yoktur. Ancak gıdaların bozulmasında önemli oldukları ifade edilmektedir (Patterson 2005). Mayalara 200-400 atm basınç uygulandığında hücre duvarı parçalanabilmektedir. Bu olay mayaların inaktivasyonu için birincil faktör olduğu bilinmektedir (Hoover *et al.* 1989). Basıncın membran geçirgenliğini etkilemesi de mayaların inaktivasyonuna neden olmaktadır (Perrier-Cornet *et al.* 1999). Basıncın etkisiyle virüslerin redüksiyonu oldukça sınırlı olurken *Tricchinella spiralis* gibi bazı parazitler basınç uygulamasıyla inaktive olabilmektedirler (De Lamballerie-Anton *et al.* 2002).

10.2. Mikroorganizmaların Basınca Duyarlılığına Etkileyen Faktörler

İşlenmiş veya taze etlere katılan veya etin yapısında doğal olarak bulunan çeşitli mikroorganizmaların basınca karşı duyarlılığıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda mikroorganizmaların basınca duyarlılığı oldukça değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir (Yuste *et al.* 2001a). Bu değişkenleri etkileyen faktör diğer fiziksel koruma metotlarından farklı değildir. Bu faktörlerin hepsi birbirini etkiler ve ölümcül etkiye katkıda bulunurlar. Bu yüzden basınç uygulanmış gıdaların mikrobiyolojik açıdan emniyetini ve kalitesini sağlamak için işlem şartları belirlenirken bunların göz önünde tutulması gereklidir. Bu değişkenleri etkileyen faktörler: Mikroorganizmanın tipi, gelişme fazı, ortamdaki dağılımı, uygulanan basıncın seviyesi, süresi, sıcaklığı (Hugas *et al.* 2002; Fonberg-Broczek *et al.* 2005), gıdanın bileşimi, pH'sı ve su aktivitesidir (Cheftel and Culioli 1997).

Mikroorganizmanın Tipi, Gelişme Fazı ve Ortamdaki Dağılımının Etkisi:

Bakterilerin basınca karşı direnciyle gram boya tipi ve hücre morfolojisi arasında bir korelasyon olduğu bilinmektedir. Bu yüzden Gram pozitif bakteriler (*Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Lactobacillus lactis*) Gram negatif bakterilerden (*Pseudomonas*, *Salmonella spp.*, *Yersinia enterocolitica*) ve koklarda çubuklardan basınca karşı daha fazla direnç göstermektedirler. Bu nedenle değişik çalışmalarda ökaryotik mikroorganizmaların YB'a prokaryotik mikroorganizmalardan daha duyarlı oldukları ifade edilmiştir (Hoover *et al.* 1989, Yuste *et al.* 2001a). Mezofilik bakteriler

gibi psikrotrofik bakterilerin de basınca karşı duyarlılık gösterdikleri bilinmektedir. Psikrotrofik bakterilerin bakteriosinlere karşı daha hassas oldukları ve nisin ile 450 MPa basıncın birlikte uygulanmasıyla ortamda tespit edilemeyecek kadar az bir seviyeye düştüğü belirtilmiştir (Yuste *et al.* 1998a). Ayrıca basınç veya sıcaklık işleminden sonra psikrotrofik bakterilerin, soğutma sıcaklığında gelişme kabiliyetlerini kaybettikleri bildirilmiştir (Garriga *et al.* 2004.). Bununla birlikte yapılan bir çalışmada YB uygulanmış (2°C’de 30 dakika 500 MPa) kümes hayvanları etinde mezofilik ve psikrotrofik bakterilerin sayılarının azaldığı ve buzdolabı sıcaklığında depolandığında bozulmanın geciktiği belirlenmiştir (Yuste *et al.* 1999a, 2000a).

Pişmiş domuz jambonu ve çiğ tütülenmiş domuz bifteklerine inoküle edilen patojenlerden *Enterococcus hirae*’nın *Listeria monocytogenes* ve *Aeromonas hydrophila*’dan YB basınca daha dirençli olduğu bildirilmiştir (Fonberg-Broczek *et al.* 2005). Hücreler sabit, dinlenme ve ölüm fazlarından ziyade üslü gelişme fazında basınca karşı daha duyarlı oldukları bilinmektedir (Hoover *et al.* 1989; Yuste *et al.* 2001a; Mañas and Mackey 2004). Aynı cins bakterilerin farklı türleri arasında basınca direnç bakımından da farklılıklar olabilmektedir (Hoover *et al.* 1989; Alpas *et al.* 1999; Mañas and Mackey 2004). Bu nedenle, gıdaların basınçla pastörizasyonun emniyetini sağlamada işlem parametrelerini belirlemek için gıda kaynaklı patojenlerin hangi türlerinin YB uygulamasına dirençli olduğunun bilinmesi gerekmektedir (Alpas *et al.* 1999).

Uygulanan Basıncın Seviyesi, Süresi ve Sıcaklığın Etkisi: YB uygulamaları için mikrobiyal inaktivasyonda sıcaklık önemli bir rol oynamaktadır. Optimal gelişme sıcaklıklarında inaktivasyon, gelişme sıcaklığından daha yüksek veya daha düşük sıcaklıklardan daha az olmaktadır. Çünkü membran akışkanlığı optimal gelişme sıcaklığı dışındaki sıcaklıklarda daha kolay bozulabilmektedir (Garriga *et al.* 2004). YB uygulaması genellikle oda sıcaklığında daha az mikrobiyal inaktivasyona neden olurken, orta ve yüksek sıcaklıklarda daha çok etkili olduğu görülmüştür (Yuste *et al.* 2000a). Bununla beraber mikrobiyal inaktivasyonda basıncın etkinliğini artırmak için

basınç seviyesi ve süresi ile birlikte sıcaklığında önemli bir faktör olduğu göz ardı edilmemelidir (Çizelge 10.2.) (Patterson 2004).

Çizelge 10.2. Çeşitli gıdalardaki mikroorganizmaların farklı YB uygulama şartlarındaki redüksiyonu (Patterson 2004)

Mikroorganizmalar	Ürün	Muamele şartlar	Redüksiyon (log ₁₀)
Vejatatif Bakteriler			
<i>Clostridium jejuni</i>	Kanatlı eti	300 MPa, 10 dak., 5°C	6
<i>Salmonella Typhimurium</i>	Domuz eti	300 MPa, 10 dak., 25°C	6
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	Kanatlı eti	700 MPa, 30 dak, 20°C	5
Bakteri Sporlar			
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	Verilmemiş	800 MPa, 60 dak, 60°C	4
		400 MPa, 6x5 dak, 70°C	4
<i>Clostridium sporogenes</i>	Et suyu (pH7)	800 MPa, 5 dak, 80/90°C	>5
		1500 MPa, 5 dak, 20°C	yok
Virüsler			
Poliovirus	Doku kültürü	450 MPa, 5 dak, 21°C	Azalma yok
Human rotavirus	Doku kültürü	300 MPa, 2 dak, 25°C	8
Feline calicivirus	Doku kültürü	275 MPa, 5 dak, 21°C	7
Hepatitis A	Doku kültürü	450 MPa, 5 dak, 21°C	7
HIV-1	Laboratuvar kültürü	550 MPa, 10 dak, 25°C	4'e kadar azalma

Vejatatif hücreler çevre sıcaklığında 400-600 atm arasındaki düşük basınç seviyelerinde inaktive olmaktadır (Hoover *et al.* 1989). 50-70°C veya 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda basınçla, vejetatif mikroorganizmaların inaktivasyonun belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür (Cheftel and Culioli 1997).

Kanatlı etlerine hem kesikli hemde sürekli YB uygulamasıyla etin mikrobiyal kalitesinin ve güvenilirliğinin arttığı ve raf ömrünü uzadığı belirlenmiştir (Yuste *et al.* 1998a, 2001b). Hem kesikli YB uygulamasında (20°C'de toplam süre 15 dakika 5 dakikada tekrarlanan 450 MPa) hem de sürekli YB uygulamasında (20°C'de 15 dakika 450 MPa) kanatlı etlerinin mezofilik ve psikrotrofik bakteri sayılarında aynı oranda azalma olduğu görülmüştür (Yuste *et al.* 2001b). Diğer bir araştırmada ise kanatlı etlerine -20°C'de 350-450 MPa basınç uygulamasından sonra bakteri sayısında azalma

görülürken 2°C’de 15 günlük depolama sonucunda bakteri sayısının kontrol örneklerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Yuste *et al.* 2002b). Kanatlı etindeki *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* sayılarında 5 logaritmik redüksiyon için gerekli olan 15 dakikalık farklı sıcaklık ve basınç değerleri Çizelge 10.3.’de verilmiştir (Hogan *et al.* 2005).

Çizelge 10.3. Kanatlı etindeki *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* sayılarında 5 log birimlik redüksiyon için gerekli olan 15 dakikalık farklı sıcaklık ve basınç değerleri (Hogan *et al.* 2005)

Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)	
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
10	85	117
20	779	524
30	681	701
40	544	735
50	371	694
60	125	647

YB’ın ısıya duyarlı hayvansal gıda ürünlerinin pastörizasyonuna daha iyi uyarlanabileceği ifade edilmiştir. Bilhassa YB’ın yağlı kaz ve ördekte raf ömrünü ve mikrobiyal kaliteyi artırdığı belirtilmiştir. Bu hayvansal gıdalar için 5-15 dakika süre ile 50-60°C sıcaklıklarda 400 MPa basıncın uygulanması durumunda lipid kaybı olmamakta ve mikrobiyal stabilite korunmaktadır (De Lamballerie-Anton *et al.* 2002).

Pişmiş sosislere YB uygulandıktan sonra bakteri sayısının azaldığı ve mikrobiyal kalitenin arttığı tespit edilmiştir. YB uygulamasıyla yapılan pastörizasyondaki sürenin sıcaklıkla yapılandan daha kısa olduğu ve daha düşük sıcaklıklarda yapıldığı görülmüştür. Bu nedenle YB uygulanarak pastörize edilen ürünlerin beslenme değerlerinde ve duyu kalitesinde artışın olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca ısıya dayanıklı ambalajın gerekli olmadığından ürün maliyetinin azaldığı bildirilmiştir (Yuste *et al.* 1999b; 2000b,c).

Basınç değiştirilerek buz I - buz III faz değişiminin etkisiyle donmuş gıdalardaki mikroorganizmaların hücrenin bozulmasından dolayı inaktive edileceği bildirilmiştir (Luscher *et al.* 2004). YB uygulanmasıyla piezofilik bakterilerin optimal gelişme sıcaklığında değişiklikler olmakta ve gelişme hızları artmaktadır (Molina-Hoppner *et al.* 2003).

Birkaç kez tekrarlanan YB uygulamalarından sonra izole edilen *Escherichia coli* 'nin basınca dirençli mutantlarının 58-60°C'ye kadar sıcaklığa dirençli oldukları ancak 60°C'nin üstündeki sıcaklıklarda bu özelliklerini kaybettikleri görülmüştür. YB ile orta sıcaklığın birlikte kullanılması bakterilerin inaktive edilmesinde daha etkili bir yöntem olduğu ifade edilmiştir (Hauben *et al.* 1997). Diels *et al.* (2003), yaptıkları çalışmada *Staphylococcus aureus* ve *Yersinia enterocolitica* inaktivasyonunda YB uygulamasının rolünü belirlemek amacıyla 5-50°C ve 100-300 MPa arasında 25-35 farklı sıcaklık-basınç kombinasyonları kullanarak *Staphylococcus aureus*'un YB uygulanmasına *Yersinia enterocolitica*'dan daha dirençli olduğunu belirlemiştir. *Yersinia enterocolitica* çok daha geniş sıcaklık aralıklarında inaktive olurken *Staphylococcus aureus*'un 5-40°C sıcaklıklarda YB uygulamasıyla inaktive olmadığı görülmüştür.

G dan n Bileşimi, pH's ve Su Aktivitesinin Etkisi: Çoğunlukla YB uygulamaları esnasında gıdanın kompozisyonunun YB'a karşı koruyucu etkisinin olduğu ifade edilmiştir. Garriga *et al.* (2004)'nın bildirdiğine göre Archer (1996)'da yaptığı bir çalışmada hem YB uygulaması sırasında hem de YB uygulamasından sonra gıdaların mikrobiyal emniyeti ve stabilitesinin gıdanın kompozisyonuna bağlı olduğunu saptamışlardır. Et gibi doğal olarak zengin bileşime sahip gıdalara YB uygulandığında bakterilerin yaşama kabiliyetinin arttığı da bildirilmiştir (Hugas *et al.* 2002; Garriga *et al.* 2004). Glikoz, fruktoz, sukroz, gliserol, ksilitol, serbest amino asitler ve vitaminler gibi farklı gıda bileşenleri basınca karşı koruyucu bir rol oynamak suretiyle mikroorganizmaların hayatta kalma oranını artırdığı da ifade edilmiştir (Yuste *et al.* 2001a; Karatzas and Bennik 2002).

Diğer taraftan koruyucu faktörler ile YB'nin birlikte kullanılması mikroorganizmaların inaktivasyonunda sinerjik bir etkisinin olduğu da belirtilmiştir (Karatzas and Bennik 2002). Gıda bileşimine ilave edilen bakteriyosinler gıdanın kendi yapısında basınca karşı koruyucu bir etki oluşmasına neden olmaktadır. YB'nin öldürücü etkisi düşük pH, 45°C'nin üzerindeki sıcaklıklar ve ortamda bakteriosinlerin bulunması gibi koruyucu faktörler ile daha çok artmaktadır (Yuste *et al.* 2001a).

Yuste *et al.* (1998a), 350 MPa'lık YB uygulaması ile nisin (100 ppm) ve GDL (glucono delta lactone)'nin (%1'lik) birlikte kullandıklarında kanatlı etlerinin 2°C'de 30 gün depolanabileceğini ve raf ömrünün uzadığını tespit etmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada ise 20°C'de 450 MPa'lık YB uygulaması ile nisin (100 ppm) ve GDL'nin (%1'lik) birlikte kullanılmaları ile kanatlı etlerinde mikrobiyal yükün önemli derecede azaldığı görülmüştür (Yuste *et al.* 2002a). Nisin ile birlikte YB uygulanan örneklerde basınca karşı daha az duyarlı olan *Staphylococcus* türlerinin YB uygulamadan sonraki seviyelerinin 4°C'de 61 gün depolama sonrası seviyesinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna karşın en büyük redüksiyonun *Escherichia coli*'de olduğu ve aynı depolama şartlarında *Escherichia coli* sayısında bir artış olmadığı belirtilmiştir (Garriga *et al.* 2002).Yapılan bir çalışmada bakteriosin ve pediosin AcH'nin ilavesiyle YB'nin etkinliğinin arttığı görülmüştür. Pediosin bulunan ortamda *Listeria monocytogenes* sayısında 8 log birimlik azalmaya sadece 345 MPa'lık basıncın 5 dakika uygulanmasıyla ulaşılmıştır (Doyle 1999). Ayrıca, antimikrobiyal polimerler (AMINA® T 100) ile YB'nin (200-300 MPa) birlikte kullanılması da mikroorganizmaların redüksiyonu sayesinde gıdaların beslenme ve duyu kalitesinin korunmasına yardımcı olmaktadır (Buranasompob 2005).

YB'nin asitlerle birlikte kullanılmasıyla gıda kaynaklı mikroorganizmaların basınca direncine kontrollü bir etkisinin olduğu ifade edilmiş (Alpas *et al.* 1999) esansiyel yağ bileşeni karvakrol ile YB'nin birlikte kullanılmasıyla güçlü bir sinerjik etki oluşturduğu belirtilmiştir (Karatzas and Bennik 2002). Farklı türlerden gelen değişik suşların basınca direnci ile organik asitlerin direnci arasında bir korelasyon olduğu kabul edilmiştir (Alpas *et al.* 1999). Ayrıca gıda bileşenlerinden proteinlerin basınca karşı koruyucu bir

etki yaparken, dekstrozun basıncın etkisini artırdığı ve sıvı ile katı gıdalar arasında basınç transferinin farklı olduğu belirlenmiştir.

Su aktivitesi ve pH'da YB uygulaması ile mikroorganizmaların inaktivasyonunda kritik faktörlerindendir. Genellikle düşük pH (Doyle 1999) yada yüksek su aktivite değerlerinde basıncın etkisiyle daha fazla inaktivasyon oluşturulmaktadır (Yuste *et al.* 2001a). Su aktivitesi düşük gıdalardaki mikroorganizmaların basınca karşı direnci tampon çözeltili gıdalardan genellikle daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Cheftel and Culioli 1997), fakat basınçla zarar gören mikroorganizmalar genellikle düşük su aktivitesine karşı daha duyarlı olmaktadır (Garriga *et al.* 2004). Basıncın etkisiyle gıdanın pH'sı değiştirilebilmektedir. pH'sı 4.0-4.5 arasında olan asitli gıdalar 15 dakika 580 MPa'lık bir basınçta ticari olarak steril yapılabilir (ürünün ilk sıcaklığı 71.6°F (22°C) olmalı). Soğutulmuş ürünlerde süre daha kısa olmaktadır (FDA 2001). Düşük pH'dan ziyade nötr pH sporlar için daha fazla koruyuculuğun sağlandığı pH'dır (FDA 2000). Ma and Ledward (2004) tarafından yapılan bir araştırmada 5,34 -5,53 arasında farklı pH değerlerine sahip sığır etlerine farklı sıcaklıklarda uygulanan basıncın etlerin pH'sında 0,06-0,19 arasında bir artış oluşturduğu belirlenmiş ve araştırma sonuçları Çizelge 10.4'de verilmiştir. Öte yandan bazı araştırmacılar YB uygulaması ile pH'nın artabileceğini belirlemişlerdir. De Lamballerie-Anton *et al.* (2002) tarafından basıncın 0,1 MPa'dan 100 MPa'a yükseltildiğinde pH'nın 0,73 birim azaldığı belirtilmiştir. Proteinler üzerine YB'nın yaptığı potansiyel etkiden dolayı pH'daki azalışın oldukça önemli olduğu ifade edilmiştir. Korzeniowski *et al.* (1999), domuz etine 300-500 MPa basınç uygulanmasının H⁺ iyon konsantrasyonunda 0,2 ünitelik artışa neden olduğu belirlenmiştir.

10.3. YB Uygulanarak Gıdaların Mikrobiyolojik Kalitesinin Artırılması

Genelde 500 MPa'ın altındaki basınçlarda gıdaların tam sterilizasyonun mümkün olmayacağı belirtilmiştir. Sterilizasyon işlemi birçok endüstriyel YB uygulamalarında maksimum 400-500 MPa'lık bir basınçla yapıldığından, bu şekilde üretilen ürünlerin düşük sıcaklıklarda muhafaza edilmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca, YB uygulamasının

verimliliğini artırmak ve/veya diğer uygulamaların olumsuzluklarını gidermek için YB'nin diğer fiziksel (radyasyon, ses ve elektriksel alan pulsları) veya kimyasal koruma metotlarıyla birleştirilerek kullanılması önerilmiştir (Yuste *et al.* 2001a). 50-150 MPa arasında basınç uygulanmasıyla bakterilerin metabolik aktivitelerini kontrol altına alarak gıda kalitesinde olumlu etkiye sahip metabolizmaların oluşmasına imkan sağlamaktadır (Molina-Hoppner *et al.* 2003).

Çizelge 10.4. Farklı basınç ve sıcaklık uygulamasının sığır eti pH'sına etkisi (Ma and Ledward 2004)

Basınç (MPa)	Sıcaklık (°C)	İşlem öncesi pH	İşlem sonrası pH	pH'daki artış (ΔpH)
200	20	5,44	5,58	0,14
400		5,43	5,57	0,14
600		5,53	5,67	0,14
800		5,37	5,55	0,17
0,1	40	5,44	5,51	0,06
200		5,45	5,51	0,06
400		5,43	5,58	0,15
600		5,42	5,60	0,18
800		5,44	5,55	0,11
0,1	60	5,47	5,58	0,11
200		5,34	5,44	0,10
400		5,45	5,56	0,11
600		5,47	5,60	0,13
800		5,36	5,52	0,16
0,1	70	5,45	5,59	0,14
200		5,38	5,49	0,11
400		5,46	5,62	0,16
600		5,40	5,59	0,19
800		5,52	5,69	0,17

YB, vakum ambalajlama ve soğuk depolamanın birlikte kullanılmasıyla tavuk kıymasının mikrobiyal kalitesinin yükseldiği ifade edilmiştir. Vakum ambalajlanmış tavuk kıymasına 40°C'de 500 MPa'lık basınç uygulamasıyla aerobik, anaerobik ve psikrotrofik bakterilerin inaktive olduğu ve 3°C'de 182 günlük depolama boyunca önemli bir artışın olmadığı görülmüştür (Linton *et al.* 2004). Aynı araştırmacıların yaptıkları başka bir çalışmada ise kabuklu su ürünlerine YB uygulanması ile piezofilik

bakterilerin, koliformların ve pseudomonasların inaktive olabildiği ve kabukluların 2°C’de 28 günlük depolamasında mikrobiyal açıdan önemli avantajlar sağladığı görülmüştür (Linton *et al.* 2003).

Düşük sıcaklıkta pişirilen etlerin kalite ve stabilitesini artırmak için YB’ın kullanılmasının faydalı olacağı ifade edilmiştir. 60-65°C’den düşük sıcaklıklarda ete YB uygulandığında bağ dokunun büzülmesi ve pişirme kayıpları gibi olumsuzlukların önlendiği ve etin gevrekliğini artırdığı belirtilmiştir. İşleme esnasında daha çabuk kontamine olabilen ambalajlanmış et ürünlerinin korunmasında da basınçtan yararlanılabileceği tespit edilmiştir. Özellikle ambalajlanmış dilim jambonlar ile salam ve emülsiyon-tipi sosislere basınç uygulamasının bu ürünlerin hem mikrobiyal kalitesini artırdığı hem de renk ve tekstür üzerinde olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir (Cheftel and Culloli, 1997; De Lamballerie-Anton *et al.* 2002). Garriga *et al.* (2004), yaptıkları bir çalışmada pişmiş jambon, kuru kür edilmiş jambon ve marine edilmiş sığır bifteklerine 31°C’de 6 dakika süreyle 600 MPa’lık basınç uygulamışlardır. Daha sonra 4°C’de 120 gün depolanma boyunca 30 günlük periyotlarla YB uygulanmış ürünlerle uygulanmamış ürünler arasında mikrobiyolojik açıdan karşılaştırmışlar, istenmeyen tatları ve gazlar oluşturan bakterilerin ve mayaların gelişimini önlemek için YB uygulamasının etkili bir metot olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca araştırmada marine edilmiş ve dilimlenmiş sığır bifteklerinde *Salmonella* ve *Listeria monocytogenes*’le ilgili riskleri azaltmak için YB uygulamasının geçerli bir koruma yöntemi olduğu vurgulanmıştır. Yüksek su aktivitesine sahip pişmiş jambonun dilimlenmesi ve ambalajlanması esnasında oluşan kontaminasyonlardan dolayı basınç uygulanmamış örneklerde 30 günlük depolama sonunda laktik asit bakteri sayısının (10^8 CFU g⁻¹) hızlı bir şekilde arttığı görülmüştür. Halbuki YB uygulanmış örneklerde laktik asit bakteri gelişiminin engellendiği ve 90 gün sonunda bile 10^7 CFU g⁻¹’a ulaşmadığı tespit edilmiştir.

11. SONUÇ

Gıdalarda termal olmayan teknik olarak yaygın bir uygulama alanı bulan YB uygulaması, gıda sanayiinde önemli muhafaza metotlarından biridir. YB uygulaması gıdaların renk, tat ve tekstürü üzerine etkili olduğu ve özellikle yüksek basınçlarda mikroorganizmaların tamamen inaktive edilebildiği için ve ısı işlem tekniklerine alternatif bir teknik olarak gıda endüstrisinde önemi her geçen gün artmaktadır.

YB uygulaması proteinlerin yapısında modifikasyonlara neden olurken proteinlerin fonksiyonel ve jel oluşturma özelliklerini de geliştirmektedir. Bununla birlikte sosis ve salam gibi emülsiyon tipi et ürünlerinin jel oluşturma ve su tutma kapasitesini de artırmaktadır.

YB uygulaması etin gevrekliğinin artırılmasını ve daha uzun raf ömrüne sahip ürünlerin üretilmesini sağlayabilmektedir. YB uygulaması ile et ve et ürünlerinin kalitesi, fonksiyonel ve duyuşal özellikleri geliştirilerek yeni ürünlerin üretilmesine de katkıda bulunmaktadır.

Bünyesinde önemli miktarda su bulunan et ve et gibi gıdaların hızlı donma ve çözünme işlemlerinde YB uygulamasının faydalı olacağı çeşitli literatürlerde ifade edilmiştir. Böylece hızlı donma ile oluşan küçük buz kristalleri sayesinde etin tekstürel özelliklerinin korunmasına katkıda bulunabileceği belirlenmiştir.

YB uygulamaları ile bakterilerin inaktive edilmesi konusunda farklı sonuçların ortaya çıkması ve mikroorganizmaların inaktivasyon mekanizmalarının açıklığa kavuşturulamaması bu alanda daha çok araştırmanın yapılmasına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde YB'nin enzim aktivitesine etkisiyle ilgili çalışmalarında oldukça karmaşık olması ve net sonuçların ortaya konulamaması bu alanda da eksikliğin olduğunu göstermektedir.

YB uygulanarak pastörize edilen ürünlerin beslenme değerlerinde ve duyu kalitesinde artışa neden olduğu bununla birlikte ısıya dayanıklı ambalajına materyaline gerek olmadığından ürün maliyetinde azalmanın olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, YB uygulamasının sıcaklığa duyarlı hayvansal gıda ürünlerinin pastörizasyonu için daha uygun bir yöntem olduğu önerilmektedir.

Basınç uygulama süresinin ısı işleminden daha kısa bir zaman alması YB teknolojisini klasik yöntemlere karşı avantajlı hale getirmiştir. Ancak, YB uygulamasında yalnızca kesikli sistemin uygulanabilir olması ve geleneksel ısı işlem tekniklerinin 20 katı kadar daha fazla maliyet gerektirmesi bu yöntemin dezavantajları olarak görülmektedir. YB teknolojisinin etkinliğini artırmak için sıcaklık, dielektrik ısıtma (ohmic heating), elektrik alan darbeleri (pulsed electric fields), manyetik alan darbeleri (pulsed magnetic fields) ve doğal koruyucular gibi koruma metotlarıyla birlikte kullanılması faydalı sonuçlar doğuracaktır. Ayrıca kombine uygulamaların kullanılması basınç ekipmanlarının maliyetini, işlem süresini ve basınç seviyesinin azalmasına yardımcı olacaktır.

Isıya duyarlı bileşenlere rahatlıkla uygulanabilir olması, serbest aminoasitleri etkilememesi, ürünün doğal aromasını etkilememesi veya geliştirmesi, genel olarak patojen mikroorganizmaları inaktive etmesi, ürünün vitamin içeriğini etkilememesi, ürünlerde ilave koruyucu madde kullanılmasına gerek olmaması, basınç uygulama süresinin kütleye ve ürünün şekline bağlı olmaması, ambalajlanmış ürünlere uygulanabilir olması ve kullanılan enerji miktarının az olması yüksek basınç uygulamalarının avantajlarıdır. Başlıca dezavantajları ise, kurulum maliyetinin yüksek ve işlem kontrolünün zor olması, sistemin düşük kapasite ile çalışması, yüksek basınçlarda gıdaların tekstüründe değişikliklere neden olması, küf, maya ve bakteri sporlarının inaktivasyonu için yüksek basınç ve uzun süreye ihtiyaç olması ve iyonik ayrışmaların artması nedeniyle hızlı pH düşüşünün oluşmasıdır.

KAYNAKLAR

- Anonymous, 2006a. <http://www.jxau.edu.cn/shipin/news/THESIS1.DOC> (20.04.2006).
- Anonymous, 2006b <http://uzak.mersin.edu.tr/UZAK/TP/EndElo/Fiz-118> (25. 10. 2006).
- Alpas, H., Kalchayanand, N., Bozoglu, A., Dunnesikes, C.P. and Ray, B., 1999. Variation in resistance to hydrostatic pressure among strains of food-borne pathogens. *Applied and Environmental Microbiology*, 65 (9), 4248-4251.
- Angsupanich, K. and Ledward, D.A., 1998. High pressure treatment effects on cod (*Gadus morhua*) muscle. *Food Chemistry*, 63 (1), 39-50.
- Ardia, A., 2004. Process considerations on the application of high pressure treatment at elevated temperature levels for food preservation. Doktor der ingenieurwissenschaften, Fakultät III-Prozesswissenschaften der Technischen
- Ashie, I.N.A., Simpson, B.K. and Ramaswamy, H.S., 1997. Changes in texture and microstructure of pressure-treated fish muscle tissue during chilled storage. *Journal of Muscle Foods*, 8, 13-32.
- Ayo, J., Carballo, J., Solas, M.T. and Jiménez-Colmenero, F., 2005. High pressure processing of meat batters with added walnuts. *International Journal of Food Science & Technology*, 40 (1), 47-54.
- Bragagnolo, N., Danielsen, B. and Skibsted, L.H., 2006. Rosemary as antioxidant in pressure processed chicken during subsequent cooking as evaluated by electron spin resonance spectroscopy. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, In Press, Corrected Proof, Available online.
- Buranasompob, A., 2005. Kinetics of the inactivation of microorganisms by water insoluble polymers with antimicrobial activity. Doktor der ingenieurwissenschaften, Fakultät III-Prozesswissenschaften der Technischen Universität, Berlin.
- Benito, A., Ventoura, G., Casadei, M., Robinson, T. and Mackey, B., 1999. Variation in resistance of natural isolates of *Escherichia coli* O157 to high hydrostatic pressure, mild heat, and other stresses. *Applied and Environmental Microbiology*, 65 (4), 1564-1569.
- Bouton, P.E., Ford, A.L., Harris, P.V., MacFarlane, J.J. and O'Shea, J.M., 1977. Pressure-heat treatment of postrigor muscle: Effects on tenderness. *Journal of Food Science*, 42, 132-135.
- Carballo, J., Cofrades, S., Solas, M.T. and Jiménez-Colmenero, F., 2000. High pressure/thermal treatment of meat batters prepared from freeze-thawed pork. *Meat Science*, 54, 357-364.
- Carballo, J., Cofrades, S., Fernández-Martin, F. and Jiménez-Colmenero, F., 2001. Pressure-assisted gelation of chemically modified poultry meat batters. *Food Chemistry*, 75, 203-209.
- Cheah, P.B. and Ledward, D.A., 1996. High pressure effects on lipid oxydation in minced pork. *Meat Science*, 43, 123-134.
- Cheah, P.B., Ledward, D.A., 1997a. Inhibition of metmyoglobin formation in fresh beef by pressure treatment. *Meat Science*, 45 (3), 411-418.

- Cheah, P.B. and Ledward, D.A., 1997b. Catalytic mechanism of lipid oxidation following high pressure treatment in pork fat and meat. *Journal of Food Science*, 62 (6) 1135-1138.
- Cheftel, J.C. and Culioli, J., 1997. Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Science*, 46, 211-236.
- Chéret, R., Chapleau, N., Delbarre-Ladrat, C., Verrez-Bagnis, V. and De Lamballerie-Anton, M., 2005. Effects of high-pressure on texture and microstructure of sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) fillets. *Journal of Food Science*, 70 (8), 477-483.
- Cléry-Barraud, C., Gaubert, A., Mason, P. and Vidal, D., 2004. Combined effects of high hydrostatic pressure and temperature for inactivation of *Bacillus anthracis* spores. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, :635-637.
- Cofrades, S., Bañon, S., Carballo, J. and Jiménez-Colmenero, F., 2003. Role of cathepsin D activity in gelation of chicken meat heated under pressure. *Food Chemistry*, 80, 241-247.
- Crehan, C.M., Troy, D.J. and Buckley, D.J., 2000. Effects of salt level and high hydrostatic pressure processing on frankfurters formulated with 1.5 and 2.5% salt. *Meat Science*, 55, 123-130.
- De Lamballerie-Anton, M., Taylor, R. G. and Culioli, J., 2002. High pressure processing of meat. Part 3, 16, *Meat Processing-Improving Quality*, Ed: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, W., Andrew Publishing/Noyes, 16. Section.
- Diels, A.M.J., Wuytack, E.Y. and Michiels, C.W., 2003. Modelling inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Yersinia enterocolitica* by high-pressure homogenisation at different temperatures. *International Journal of Food Microbiology*, 87, 55-62.
- Doona, C.J., Feeherry, F.E. and Ross, E.W., 2005. A quasi-chemical model for the growth and death of microorganisms in foods by non-thermal and high-pressure processing. *International Journal of Food Microbiology*, 100 (1-3), 21-32.
- Doyle, M.E., 1999. Literature survey of the various techniques used in *Listeria* intervention fri briefings. Food Research Institute, University of Wisconsin Madison.
- Elkhalifa, E.A., Anglemier, A.F., Kennick, W.H. and Elgasim, E.A., 1984. Influence of pre-rigor pressurization on post-mortem beef muscle creatine phosphokinase activity and degradation of creatine phosphate and adenosine triphosphate. *Journal of Food Science*, 49, 595-597.
- Fernández-Martin, F., Otero, L., Solas, M.T. and Sanz, P.D., 2000. Protein denaturation and structural damage during high-pressure-shift freezing of porcine and bovine muscle. *Journal of Food Science*, 65 (6), 1002-1009.
- Fikiin, K.A., 2003. Novelties of food freezing research in Europe and beyond. Technical University of Sofya, Bulgaria.
- Freeman, M., 1998. Equipment & system for high pressure food science bioscience and chemistry, Ed: Isaacs, N.S., Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom, 501-507.
- FDA., 2000. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies high pressure processing. <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift-hpp.html> (25.04.2006).

- FDA., 2001. Evaluation and definition of potentially hazardous foods. Effect of preservation technologies on microbial inactivation in foods. Chapter 5., <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift4-5.html> (25.04.2006).
- Fonberg-Broczek, M., Windyga, B., Szczawiński, J., Szczawińska, M., Pietrzak, D. and Prestamo, G., 2005. High pressure processing for food safety. *Acta Biochimica Polonica*, 52 (3), 721-724.
- Galazka, V.B., Sumner, I.G. and Ledward, D.A., 1996. Changes in protein-protein and protein polysaccharide interactions induced by high pressure. *Food Chemistry*, 57, 393-398.
- Garriga, M., Aymerich, M.T., Costa, S., Monfort, J.M., and Hugas, M., 2002. Bactericidal synergism through bacteriocins and high pressure in a meat model system during storage. *Food Microbiology*, 19, 509-518.
- Garriga, M., Grèbol, N., Aymerich, M.T., Monfort, J.M. and Hugas, M., 2004. Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 451-457.
- Hajós, G.Y., Polgár, M. and Farkas, J., 2004. High-pressure effects on ige immunoreactivity of proteins in a sausage batter. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 443-449.
- Hauben, K.J.A., Bartlett, D.H., Soontjens, C.C., Cornelis, F., Wuytack, E.Y. and Michiels, C.W., 1997. *Escherichia coli* mutants resistant to inactivation by high hydrostatic pressure. *Applied and Environmental Microbiology*, 63 (3), 945-950.
- Hayakawa, I., Kanno, T., Tomita, M. and Fujio, Y., 1994. Application of high pressure for spore inactivation and protein denaturation. *Journal of Food Science*, 59 (1), 159-163.
- Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van Den Broeck, I. and Weemaes, C., 1998. Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends Food Science & Technology*, 9, 197-203.
- Homma, N., Ikeuchi, Y. and Suzuki, A., 1994. Effects of high pressure treatment on the proteolytic enzymes in meat. *Meat Science*, 38, 219-228.
- Homma, N., Ikeuchi, Y. and Suzuki, A., 1995. Levels of calpain and calpastatin in meat subjected to high pressure. *Meat Science*, 41, 251-260.
- 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.
- Hogan, E., Kelly, A.L. and Sun, D.W., 2005. High Pressure Processing of Foods: An Overview. Ed: Sun, D.W., *Food Science and Technology*, International Series. High Pressure Processing. Part 1, 1-27.
- Hsu, K.C., Ko W.C., 2001. Effect of hydrostatic pressure on aggregation and viscoelastic properties of tilapia (*Oreochromis niloticus*) myosin. *Journal of Food Science*, 66 (8), 1158-1162.
- 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.
- Ikeuchi, Y., Tanji, H., Kim, K. and Suzuki A., 1992a. Dynamic rheological measurements on heat-induced pressurized actomyosin gels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 1751-1755.

- Ikeuchi, Y., Tanji, H., Kim, K. and Suzuki A., 1992b. Mechanism of heat-induced gelation of pressurized actomyosin: Pressure-induced changes in actin and myosin in actomyosin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 1756-1761.
- Jiménez-Colmenero, F., 2002. Muscle protein gelation by combined use of high pressure/temperature. *Trends in Food Science and Technology*, 13, 22-30.
- Jung, S., De Lamballerie-Anton, M., Courcoux, P. and Ghoul, M., 1998. High pressure improvement of the meat aging enzymes activity. *High pressure Food Science, Bioscience and Chemistry*, Ed Isaacs, N.S. Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom, 295-303.
- Jung, S., De Lamballerie-Anton, M. and Ghoul, M., 2000a. Modifications of ultrastructure and myofibrillar proteins of post-rigor beef treated by high pressure. *Food Science and Technology*, 33, 313-319.
- Jung, S., De Lamballerie-Anton, M., Taylor, R.G. and Ghoul, M., 2000b. High pressure effects on lysosome integrity and lysosomal enzyme activity in bovine muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2467-2471.
- Jung, S., Ghoul, M. and De Lamballerie-Anton, M., 2000c. Changes in lysosomal enzyme activities and shear values of high pressure treated meat during ageing. *Meat Science*, 56, 3 239-246.
- Jung, S., Ghoul, M. and De Lamballerie-Anton, M., 2003. Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat. *Lebensmittel-Wissenschaft und – Technologie*, 36, 625-631.
- Kalichevsky-Dong, M.T., Ablett, S., Lillford, P. and Knorr, D., 2000. Effect of pressure-shift freezing and conventional freezing on model food gels. *International Journal of Food Science and Technology*, 35, 163-172.
- Kalchayanand, N., Ray, B., Sikes, A. and Dunne, C.P., 1998. Shelf-life and safety enhancement of processed meat by hydrostatic pressure in combination with moderate temperature and biopreservatives, phase IV. Technical report, U.S. Army Soldier Systems Command Natick Research, Laramie, Wyoming, <http://www.stormingmedia.us/28/2846/a284653.html> (14.06.2006).
- Karatzas, K.A.G. and Bennik, M.H.J., 2002. Characterization of a *Listeria monocytogenes* scott a isolate with high tolerance towards high hydrostatic pressure. *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (7), 3183-3189.
- Karakaya, M., Caner, C. ve Sariçoban, C., 2004. Et teknolojisinde yüksek hidrostatik basınç kullanımı. Türkiye 8. Gıda Kongresi. 25/5/2004, Bursa.
- Kim, K., Ikeuchi, Y., and Suzuki, A., 1992. Pressure-induced conversion of α -connection to β -connection. *Meat Science*, 32, 237-243.
- Ko, W.C., Jao, C.L., Hwang, J.S. and Hsu, K.C., 2006. Effect of high-pressure treatment on processing quality of tilapia meat fillets. *Journal of Food Engineering*, 77 (4), 1007-1011.
- Korzeniowski, W., Jankowska, B., and Kwiatkowska, A., 1999. The effect of high pressure on some technological properties of pork. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology*, 2 (2).
- Koutchma, T., Guo, B., Patazca, E. and Parisi, B., 2006. High pressure-high temperature inactivation of *Clostridium sporogenes* spores: From kinetics to process verification. *Journal of Food Science Engineering*, 28, 610-629.

- Kubo, T., Gerelt, B., Han, G.D., Sugiyama, T., Nishiumi, T. and Suzuki, A., 2002. changes in immunoelectron microscopic localization of cathepsin D in muscle induced by conditioning or high-pressure treatment. *Meat Science*, 61, 415-418.
- Kurth, L.B., 1986. Effect of pressure-heat treatments on cathepsin B1 activity. *Journal of Food Science*, 51 (3), 163-164,167.
- Lakshmanan, R., Patterson, M. F .and Piggott, J.R., 2005. Effects of high pressure processing on proteolytic enzymes and proteins in cold-smoked salmon during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 90, 541-548.
- Lanciotti, R., Gadrini, F., Sinigaglia, M. and Guerzoni, M.E., 1997. Physiological responses to sublethal hydrostatic pressure in *Yarrowia lipolytica*. *Letters in Applied Microbiology*, 24,27-32.
- Lechowich, R.V., 1993. Food safety implications of high hydrostatic pressure as a food processing method. *Food Technology*, 47(6), 170-172.
- Linton, M., Mcclements, J.M.J. and Patterson, M.F., 2001. Inactivation of pathogenic *Escherichia coli* in skimmed milk using high hydrostatic pressure. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2, 99-104.
- Linton, M., Mcclements, J.M.J. and Patterson, M.F., 2003. Changes in the microbiological quality of shellfish, brought about by treatment with high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 713–727.
- Linton, M., Mcclements, J.M.J. and Patterson, M.F., 2004. Changes in the microbiological quqlity of vacuum-packaged, minced chicken treated with high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Science and Technology*, 5, 151-159.
- Luscher, C., Balasa, A., Fröhlig, A., Ananta E. and Knorr, D., 2004. Effect of high-pressure-induced ice I-to-ice III phase transitions on inactivation of *Listeria innocua* in frozen suspension. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 4021–4029.
- Ma, H.J. and Ledward, D.A., 2004. High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle. *Meat Science*, 68,347-355.
- Mañas, P. and Mackey, B.M., 2004. Morphological and physiological changes induced by high hydrostatic pressure in exponential- and stationary-phase cells of *Escherichia coli*: Relationship with cell death. *Applied and Environmental Microbiology*, 70 (3), 1545-1554.
- Mañas, P. and Pagán, R., 2005. Microbial inactivation by new technologies of food preservation, a review. *Journal of Applied Microbiology*, 98, 1387-1399.
- MacFarlane, J.J. and Mckenzie, I.J., 1986. Pressure-accelerated changes in the proteins of muscle and their influence on Warner-Bratzler Shear values. *Journal of Food Science*, 51, 516–517.
- Martino, M.N., Otero, L., Sanz, P.D. and Zaritzkya, N.E., 1998. Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods. *Meat Science*, 50 (3), 303-313.
- Mertens, B. and Deplace, G., 1993. Engineering aspects of high-pressure technology in the food industry. *Food Technology*, 47 (6),164-167.
- Molina-Garcia, A.D., Otero, L., Martino, M.N., Zaritzky, N.E., Arabas, J., Szczepek, J. and Sanz, P.D., 2004. Ice VI freezing of meat: Supercooling and ultrastructural studies. *Meat Science*, 66, 709-718.

- Molina-Hoppner, A., Sato, T., Kato, C., Ganzle, M. G. and Vogel, R. F., 2003. Effects of pressure on cell morphology and division of lactic acid bacteria. *Extremophiles*, 7, 511-516.
- Mor-Mur, M. and Yuste, J., 2003. High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: Physical properties and sensory analysis. *Meat Science*, 65, 1187-1191.
- Murchie, L.W., Cruz-Romero, M., Kerry, J.P., Linton, M., Patterson, M.F., Smiddy, M. and Kelly, A.L., 2005. High pressure processing of shellfish: A review of microbiological and other quality aspects. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 257-270.
- 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.
- NACMCF., 2004. Requisite scientific parameters for establishing the equivalence of alternative methods of pasteurization. Washington, DC.
- Nishiwaki, T., Ikeuchi, Y. and Suzuki, A., 1996. Effects of high pressure treatment on Mg-enhanced ATPase activity of rabbit myofibrils. *Meat Science*, 43 (2), 145-155.
- Niven, G.W., Miles, C.A. and Mackey, B.M., 1999. The effects of hydrostatic pressure on ribosome conformation in *Escherichia coli*: An *in vivo* study using differential scanning calorimetry. *Microbiology*, 145, 419-425.
- Orlien, V. and Hansen, E., 2000. Lipid oxidation in high pressure processed chicken breast muscle during chill storage: Critical working pressure in relation to oxidation mechanism. *European Food Research and Technology*, 211 (2) 99-104.
- Park, S.W., Sohn, K.H., Shin, J.H., and Lee, H.J., 2001. High hydrostatic pressure inactivation of *Lactobacillus viridescens* and its effects on ultrastructure of cells. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 775-781.
- Patterson, M.F., 2004, Under pressure: A novel technology to kill micro-organisms in foods. Guest Ed: Gould, G.W., Introduction to 25th anniversary issue, 25 (1), 1-5. <http://www.euromed.uk.com/Culture/Culture%2025-1%20.pdf>
- Patterson, M.F., 2005. Microbiology of pressure-treated foods: A review. *Journal of Applied Microbiology*, 98, 1400-1409.
- Perrier-Cornet, J.M., Hayert, M. and Gervais, P., 1999. Yeast cell mortality related to a high-pressure shift: Occurrence of cell membran permabilization. *Journal of Applied Microbiology*, 87,1-7.
- Prehoda, K.E., Mooberry, E.S. and Markley, J.L., 1998. High pressure effects on protein structure. Protein dynamics, function and design Ed: Jardetzky, O. and Lefevre, J.-F., NATO ASI Series, Plenum Pressed, 59-86.
- Rasanayagam, V., Balasubramaniam, V.M., Ting, E., Sizer, C.E., Anderson, C. and Bush, C., 2003. Compression heating of selected fatty food substances during high pressure processing. *Journal of Food Science*, 68(1), 254-259.
- Ritz, M., Tholozan, J.L., Federighi, M. and Pilet, M.F., 2001. Morphological and physiological characterization of *Listeria monocytogenes* subjected to high hydrostatic pressure. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(5), 2240-2247.

- Rovere, P., Gola, S., Maggi, A., Sacamuzza, N. and Miglioli, L., 1998. Studies on bacterial spores by combined high pressure-heat treatments: Possibility to sterilize low acid foods. *High Pressure Food Science, Bioscience and Chemistry*, Ed: Isaacs N.S., Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom, 354-363.
- Sanz, P.D., De Elvira, C., Martino, M., Zaritzky, N., Otero, L. and Carrasco, J.A., 1999. Freezing rate simulation as an aid to reducing crystallization damage in foods. *Meat Science*, 52 (3) 275–278.
- Sequeira-Munoz, A., Chevalier, D., LeBail, A., Ramaswamy, H.S. and Simpson, B. K., 2006. Physicochemical changes induced in carp (*Cyprinus carpio*) fillets by high pressure processing at low temperature. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7 (1-2), 13-18.
- Serra, X., Grèbol, N., Guàrdia, M.D., Guerrero, L., Gou P., Masoliver, P., Gassiot, M., Sárraga, C., Monfort, J.M. and Arnau, J., 2007a. High pressure applied to frozen ham at different process stages. 2. Effect on the sensory attributes and on the colour characteristics of dry-cured ham. *Meat Science*, 75 (1), 21-28.
- Serra, X., Sárraga, C., Grèbol, N., Guàrdia, M.D., Guerrero, L., Gou P., Masoliver, P., Gassiot, M., Monfort, J.M. and Arnau, J., 2007b. High pressure applied to frozen ham at different process stages. 1. Effect on the the final physicochemical parameters and on the antioxidant and proteolytic enzyme activities of dry-cured ham. *Meat Science*, 75 (1), 12-20.
- Schilling, J.K., 1999. High pressure hydrodynamic shock wave effects on tenderness of early deboned broiler breasts. Ms Thesis, Food Science and Technology Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 81.
- Singh, R.P., 2001. Technical elements of new and emerging non-thermal food technologies. http://www.fao.org/ag/ags/agsi/nonthermal/nonthermal_1.htm
- Suzuki, A., Watanabe, M., Iwamura, K., Ikeuchi, Y. and Saito, M., 1990. Effect of high pressure treatment on the ultra-structure and myofibrillar protein of beef skeletal muscle. *Agricultural and Biological Chemistry*, 54 (12), 3085-3091.
- Suzuki, A., Suzuki, N., Ikeuchi, Y. and Saito, M., 1991. Effect of high pressure treatment on the ultrastructure and solubilization myofibrils. *Agricultural and Biological Chemistry*, 55 (10), 2467-2473.
- Suzuki, A., Kim, K., Honma, N., Ikeuchi, Y. and Saito, M., 1992. Acceleration of meat conditioning by high pressure treatment. *High-Pressure Biotechnology*, 224, 219-227.
- Suzuki, A., Watanabe, M., Ikeuchi, Y., Saito, M. and Takahashi, K., 1993. Effects of high-pressure treatment on the ultrastructure and thermal behavior of beef intramuscular collagen. *Meat Science*, 35, 17-25.
- Suzuki, A., Honma, N., Fukuda, A., Hirao, K., Uryo, T. and Ikeuchi, Y., 1994. Effects of high pressure treatment on the flavour related components in meat. *Meat Science*, 37, 369-3769
- Suzuki, A., Kim, K., Tanji, H. and Ikeuchi, Y., 1998. Effects of high hydrostatic pressure on postmortem muscle. *Recent Research Developments in Agricultural and Biological Chemistry*, 2, 307-331.
- Suzuki, A., 2005. High pressure effects on protein structure, and its application to food processing. *Foods and Food. Ingredients Journal of Japan*, 210 (1), 20-28.

- Tewari, G., Jayas, D.S. and Holley, R.A., 1999. High pressure processing of foods: An overview. *Science Des Aliments*, 19, 619-661.
- Trespalacios, P. and Pla, R., 2007. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels. *Food Chemistry*, 100(1), 264-272.
- Troy, D.J., Crehan, C., Anne-Maria, M. and Desmond, E., 2001. High pressure technology in the manufacture of minimally-processed meat products. Teagasc 19 Sandymount Avenue Ballsbridge, The National Food Centre, Dunsinea, Castleknock, Dublin.
- Tuboly, E., Lebovics, V.K., Gaal, O., Meszaros, L. and Farkas J., 2003. Microbiological and lipid oxidation studies on mechanically deboned turkey meat treated by high hydrostatic pressure. *Journal of Food Engineering*, 6, (2), 241-244.
- Ueno, Y., Ikeuchi, Y. and Suzuki, A., 1999. Effect of high pressure treatment on intramuscular connective tissue. *Meat Science*, 52, 143-150.
- Uresti, R.M., Velazquez, G., Vazquez, M., Ramirez, J.A. and Torres, J.A., 2005. Restructured products from arrowtooth flounder (*Atheresthes stomias*) using high pressure treatments. *European Food Research and Technology*, 220, 113-119.
- Urrutia Benet, G., Schlüter, O. and Knorr, D., 2004. High pressure-low temperature processing. Suggested definition standards. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 413-427.
- Wouters, P.C, Glaasker, E. and Smelt, J.P.P.M., 1998. Effects of high pressure on inactivation kinetics and events related to proton efflux in *Lactobacillus plantarum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 64: 509-514.
- Wuytack, E.Y., Boven, S. and Michiels, C.W., 1998. Comparative study of pressure-induced germination of *Bacillus subtilis* spores at low and high pressures. *Applied and Environmental Microbiology*, 64 (9), 3220-3224.
- Wuytack, E.Y., Soons, J., Poschet, F. and Michiels, C.W., 2000. Comparative study of pressure- and nutrient-induced germination of *Bacillus subtilis* spores. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (1), 257-261.
- Wuytack, E.Y. and Michiels, C.W., 2001. A study on the effects of high pressure and heat on *Bacillus subtilis* spores at low pH. *International Journal of Food Microbiology*, 64, 333-341.
- Yetim, H., Kesmen, Z. ve Kayacier, A., 2003. Et endüstrisinde yüksek basınç uygulamaları. 3. Gıda Mühendisliği Kongresi. Ankara, 171-186.
- Yuste, J., Mor-Mur, M., Capellas, M., Guamis, B. and Pla, R., 1998a. Microbiological quality of mechanically recovered poultry meat treated with high hydrostatic pressure and nisin. *Food Microbiology*, 15, 407-414.
- Yuste, J., Raszl, S. and Mor-Mur M., 1998b. Microscopic changes in poultry breast muscle treated with high hydrostatic pressure. 44th Icomst, 550-551.
- Yuste, J., Mor-Mur, M., Capellas, M., and Pla, R., 1999a. *Listeria innocua* and aerobic mesophiles during chill storage of inoculated mechanically recovered poultry meat treated with high hydrostatic pressure. *Meat Science*, 53: 251-257.
- Yuste, J., Mor-Mur, M., Capellas, M. and Pla, R., 1999b. Pressure- vs. heat-induced bacterial stress in cooked poultry sausages: A preliminary study. *Letters in Applied Microbiology*, 29, 233-237.

- Yuste, J., Mor-Mur, M., Capellas, M. and Pla, R., 1999c. Mechanically recovered poultry meat sausages manufactured with high hydrostatic pressure. *Poultry Science*, 78, 914-921.
- Yuste, J., Pla, R., Capellas, M. and Mor-Mur, M., 2000a. Bacterial sensitivity to high hydrostatic pressure in mechanically recovered poultry meat-minor baroprotective role of fat content. *Fleischwirtschaft International*, 3, 51-54.
- Yuste, J., Pla, R., Capellas, M., Ponce, E. and Mor-Mur, M., 2000b. High-pressure processing applied to cooked sausages: bacterial populations during chilled storage. *Journal of Food Protection*, 63 (8), 1093-1099.
- Yuste, J., Pla, R. and Mor-Mur, M., 2000c. *Salmonella enteritidis* and aerobic mesophiles in inoculated poultry sausages manufactured with high-pressure processing. *Letters In Applied Microbiology*, 31, 374-377.
- Yuste, J., Cappellas, M., Pla, R., Fung, D.Y.C. and Mor-Mur, M., 2001a. High pressure processing for food safety and preservation: A Review. *Journal of Rapid Methods and Automation in Microbiology*, 9, 1-10.
- Yuste, J., Pla, R., Capellas, M., Sendra, E., Beltran, E. and Mor-Mur, M., 2001b. Oscillatory high pressure processing applied to mechanically recovered poultry meat for bacterial inactivation. *Journal of Food Science*, 66, 482-484.
- Yuste, J., Pla, R., Beltran, E. and Mor-Mur, M., 2002a. High pressure processing at subzero temperature: Effect on spoilage microbiota of poultry. *International Journal of High Pressure Research*, 22, 673-676.
- Yuste, J., Pla, R., Capellas, M. and Mor-Mur, M., 2002b. Application of high pressure processing and nisin to mechanically recovered poultry meat for microbial decontamination. *Food Control*, 13, 451-455.
- Yuste, J., Cappellas, M., Pla, R., Llorens, S., Fung, D.Y.C. and Mor-Mur, M., 2003. Use of conventional media and thin agar layer method for recovery of foodborne pathogens from pressure-treated poultry products. *Journal of Food Science*, 68 (7), 2321-2324.
- Yuste, J., Cappellas, M., Pla, R., Fung, D.Y.C. and Mor-Mur, M., 2004. Inactivation and sublethal injury of foodborne pathogens by high pressure processing: evaluation with conventional media and thin agar layer method. *Food Research International*, 37, 861-866.
- Zhao, Y., Flores, R. A. and Olson, D.G. A., 1998. High hidrostatic pressure effects on rapid thawing of frozen beef. *Journal of Food Science*, 63 (2), 172-175.
- Zhu, S., Bulut, S., Le Bail, A. and Ramaswamy, H.S., 2004. High-pressure differential scanning calorimetry (DSC): Equipment and technique validation using Water-ice phase transition data. *Journal of Food Process Engineering*, 27 (5), 359-376.
- Zimmerman, F. and Bergman, C., 1993. Isostatic high-pressure equipment for food preservation. *Food Technology*, 47(6), 162-163.
- Zorba, Ö. ve Kurt, Ş., 2005. Yüksek basınç uygulamalarının et ve et ürünleri kalitesi üzerine etkisi. *YYÜ Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 16 (1), 71-76.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Erzurum’da doğdu. İlk öğrenimini Abdurahman Şerif Beygu İlkokulu’nda, orta öğrenimini Gazi Ahmet Muhtar Paşa Ortaokulu’nda ve lise öğrenimini Erzurum Lisesi’nde tamamladı. 1993 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’ne kaydını yaptırdı. Aynı bölümden 1997 yılında mezun oldu. Aynı yıl mezun olduğu bölümde lisans üstü eğitime başladı. İngilizce hazırlık ve ders aşamalarını geçtikten sonra tez aşamasında eğitime bir süre ara verdi. 2005 yılında tekrar başladığı lisans üstü eğitime devam etmektedir.