

YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇ TEKNOLOJİSİ ve GIDA ENDÜSTRİSİNDE UYGULAMALARI

APPLICATION OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURE TECHNOLOGY IN THE FOOD INDUSTRY

İnci S. ŞANAL¹, Ayla ÇALIMLI²

¹Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara,

²Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara,

ÖZET: Gıdaları mikrobiyolojik ve enzimatik değişimlerden korumak ve raf ömrünü uzatmak amacıyla geliştirilen tekniklerin başında ISIL İŞ-LEMLER gelir. Isıl işlem uygulanan gıdalarda beslenme değeri, renk, aroma ve duyuşsal niteliklerin, kısaca kalitenin azaldığı bilinmektedir. Buna karşın, son on yılda başta Japonya olmak üzere tüm dünyada ilgi gören Yüksek Hidrostatik Basınç Sistemleri (YH.B.S), mikrobiyolojik ve enzimatik inaktivasyonu sağlarken gıdanın vitamin, tat, renk ve görüşünde bir değışiklik oluşturmamaktadır. Oda sıcaklığında gıdayı çevreleyen suyu sıkıştırarak uygulana bu teknik 1.000-9.000 atm basınç aralığında etten meyve suyuna kadar her türlü gıdaya uygulanabilmektedir.

ABSTRACT: Thermal processes are used in order to preserve food from microbiologic and enzymatic changes and to extend the shelf-life. Heating causes loss of nutrients and flavors. However, high hydrostatic pressure processing which has been given attention in the world, specially in Japon, for last decade inactivates microbiologic and enzymatic activities, whereas keeps vitamin content, flavor, color and appearance of food. The basis of this technique is to compress to water surrounding to food at ambient temperature and at 1000-9000 atm. pressure. High hydrostatic pressure processeses can successfully apply to various foods including meats and juices.

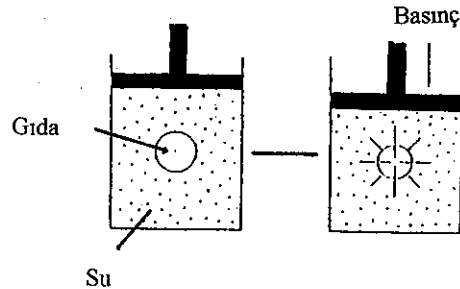
GİRİŞ

Gıdaların mikrobiyolojik ve enzimatik değışimlerden korumak ve raf ömrünü uzatmak amacıyla değışik teknikler geliştirilmiştir. Gıdaların korunması sırasında asıl amaç bozulmanın önlenmesi olmakla birlikte işlem sürecinde gıdanın beslenme değeri, renk aroma ve fiziksel yapısına ait duyuşsal niteliklerinin, kısaca kalitesinin, en az düzeyde etkilenmesi de gerekmektedir. **Isıl işleme korunan gıdalarda yukarıda sayılan kalite kriterlerinde azalma görülmektedir.** Diğer taraftan tüketici isteklerine göz atıldığında, tüketici tarafından daha kaliteli, daha doğal, besin değeri yüksek, gıda zehirlenmelerine karşı güvenilir ve daha az tuz, şeker ve yağ içeren ürünlerin istendiğı dikkati çekektedir. Gıdaların korunması amacıyla, bu yönde yapılan araştırmalarla yeni teknikler geliştirilmiştir.

Son 10 yılda başta Japonya olmak üzere tüm dünyada yeni bir teknik olan **Yüksek Hidrostatik Basınç Sistemleri (Y.H.B.S.)** üzerinde çalışılmaktadır. Oda sıcaklığında uygulanan bu tekniğin 1.000-9.000 atm aralığındaki basınçta etten meyve suyuna kadar tüm gıdalarda başarıyla uygulandığı belirtilmektedir. (MERTENS, 1995) Yüksek Hidrostatik Basıncın gıdalarda kullanım amaçları:

- * Gıdanın raf ömrünün uzatmak
- * Gıdadaki bileşen ve besin kaybı olmaksızın ve tadı bozulmadan strelizasyon
- * Gıdada homojen yapı oluşturmaktır.

Yüksek Hidrostatik Basınç Sistemlerinde temel prensip gıdayı çevreleyen suyu sıkıştırmaktır. Şekil 1'de görüldüğü gibi yüksek basınç kabına konan paketlenmiş gıdaya, etrafındaki suya uygulanan basıncın her noktada eşit olarak etkilediğı açıktır. Basınç ileten madde olarak suyun kullanılmasının nedenleri şunlardır: Hacim azalması, gazlarınkine göre çok azdır



Şekil 1. Plastik torbadaki gıdaya yüksek basıncın uygulanması

(22°C'de, 1000 atm.'de %4, 6000 atm.'de %15), gıdalar için saf ve güvenilirdir, ucuzdur .Ayrıca su sıkıştırılırken *kovalent* bağlar bozulmadan kalır, *kovalent olmayan* (H; iyonik; hidrofobik) bağlar bozunur. Özellikle protein nişasta ve nükleik asit gibi kovalent olmayan bağlar içeren bileşiklerin yapılarında denatürasyon, koagülasyon ya da jelatinizasyon gibi değişiklikler olur.

1.1. Yüksek Hidrostatik Basıncın Avantajları

- 1) Mikroorganizmaları ve enzimleri inaktive eder.
- 2) Protein ve nişasta bozunurken, vitaminler bozunmaz.
Örneğin YHB uygulanmış reçelde Vit. C'nin %95'i kalırken, ısı işlem gören reçelde Vit. C'nin %72'si kalmıştır (ZİMMERMAN ve BERGMAN, 1993). Yine Y.H.B. uygulanmış, pastörize edilmemiş limon suyu taze meyve tadında kalırken, Vit C kaybı olmamış; raf ömrü 17 ay olarak belirlenmiştir (FARR, 1990).
- 3) Basınç gıdaya homojen olarak dağılır. Bu da gıdanın homojen olarak korunmasını sağlar.
- 4) Basıncın uygulanma süresi, kütleye bağlı değildir. Büyük miktarlardaki gıda ile küçük miktardaki gıda aynı sürede işlenebilir.
- 5) YHB, normal sıcaklıklarda da etkili olduğundan harcanan enerji miktarını azalır.
- 6) Uzun süre dondurularak saklanacak gıdalara 200 atm'lik basınç uygulaması, geleneksel "suda haşlama" yönteminden daha etkilidir. Böylece esmerleşme reaksiyonları ve enzimatik etkiler azaltırken, vitamin kayıpları ve ek enerji gideri gibi olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır.
- 7) YHB işlemi, pigment, tat, koku bileşenlerinin ekstraksiyon verimini attırır. Örneğin, 2500 atm'de, 10 dakika yapılan işlem sonucunda "amaranthin" pigmentinin %99'u ekstrakte edilebilmiştir.
HAYASHİ (1989) basınç etkisinin, sıcaklığın biyolojik maddeler ve gıdalar üzerine yaptığı etki ile benzer olduğunu belirtmektedir. Bulgular, yüksek basıncın yüksek sıcaklığa benzer etkiler yaptığını göstermektedir.

1.2. Yüksek Hidrostatik Basıncın Dezavantajları:

- 1) Su bazında azalan, protein bazında artan hacim sistemde kararsızlığa yol açmaktadır.
- 2) Yüksek basınç işlemi süresince suyun faz geçişlerindeki değişimleri tam olarak gözlenememektedir.
- 3) YHB uygulaması sırasında iyonik ayrışmaların artması nedeniyle pH düşmekte buna karşın sıcaklık artmaktadır.
- 4) Basınç nedeniyle bitki hücresinde meydana gelen biyopolimer bozunmasının hangi düzeyde olduğu ve nasıl geliştiği anlaşılmamaktadır.
- 5) YHB uygulaması sırasında yoğunluk artışı (5-30 mg/ml) gözlenmektedir.

1.3. Yüksek Hidrostatik Basıncın Kullanım Alanları:

- 1) Mikroorganizma inaktivasyonu: Yüksek hidrostatik basınç, mikroorganizmaların duvarları ve hücre zarlarında, morfolojisinde, biyokimyasal reaksiyonları ve genetik mekanizmaları üzerine değişikliğe neden olmaktadır. Yüksek basıncın bu etkisi mikroorganizmanın yapısına bağlıdır ve genellikle tersinirdir, organizmalar basınç kaldırıldıktan sonra eski biçimlerine ve canlılıklarına dönebilmektedirler. Ayrıca basıncın mikroorganizmalar üzerine etkisi, uygulanan basıncın süresine, organizmanın hangi gelişme basamağında olduğuna, ortamın bileşimine, sıcaklık ve pH gibi değişkenlere bağlıdır (HOOVER VE ark. 1989).
- 2) Biyopolimer modifikasyonu (HEREMANS, 1982).
- 3) Enzim inaktivasyonu veya aktivasyonu (MORİLD, 1981) Fermente gıdalarda ısı yerine basınç kullanılması daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
- 4) Jel formasyonu (CHEFTEL, 1991) Basınç uygulaması jellerin yapışma özelliğini ve kırılmazlık derecesini artırırken orjinal tat ve doku sabit kalır. Jelleşme basıncı, nişasta tipine göre farklılık gösterir.
- 5) Kısmen pişirilmiş gıdalara basınç uygulanması gıdanın raf ömrünü arttırmaktadır.
- 6) Ekstraksiyonda verimi artırır (KUBRİBAYASHİ VE HAYASHİ, 1991).
- 7) Ürün özelliklerinin değiştirilmesi (FARR 1990, DEUCHİ ve HAYASHİ, 1991) Basıncın, proteinlerin enzimatik parçalanmasını arttırmadan yararlanılarak yeni ürünler oluşturulabilir. Ayrıca bu teknik, gıda katkılarının ve gıdanın fonksiyonel özelliklerini geliştirmek için kullanılabilir (Çizelge 1.a ve 1.b).

Çizelge 1.a. İşlenmemiş Gıdalara Yüksek Basınç Uygulamaları (♦ = Şu anda uygulaması yok * = Uygulanabilirliği yüksek)

Kullanım amaçları	Katı gıda					Sıvı gıda	
	Balık	Et	Yumurta	Pirinç, Nişasta	Soya proteini	süt	Meyve
Depolama süresini uzatmak						*	✓
Mikrobik bulaşmayı önlemek	♦	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yeni gıda çeşitleri geliştirmek	✓	✓	✓	✓	✓		
Kısmen pişmiş gıda üretimi	✓	✓	✓	✓			

Çizelge 1.b. İşlenmiş Gıdalara Yüksek Basınç Uygulamaları

Kullanım amaçları	tatlılar	peynirler	Baharatlar	Turşular	Soslar
Depolama süresini uzatmak	*	✓	✓	✓	✓
Mikrobik bulaşmayı önlemek	♦	✓	✓	✓	✓

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yüksek hidrostatik basıncın mikroorganizmalar üzerine etkisine ait ilk çalışmaların CERTES (1983) tarafından yapıldığı belirtilmektedir. Y.H.B.'ın gıdalarda uygulanması ise ilk olarak HİTE (1889) tarafından çalışılmıştır. 6800 atm.'de yapılan çalışmalarda, 10 dakika süte uygulanan basınç doğal mikroflorada 5-6 logaritmik devir azalmaya neden olmuş, 5200 atm.'de, ete uygulanan basınç sonucunda 3 hafta bozulma görülmemiş, 4000 atm.'de, 30 dakika işlem gören şeftali ve armut 5 yıl depolanabilmiştir.

CHOLOPİN ve TAMMAN (1903) 3000 atm.'de mikroorganizma yaşamsal fonksiyonlarının azaldığını, organizmaların ise baygın hale geldiğini belirtmiştir. BRİDGMAN (1914) 6000 atm.'de, yumurta albüminlerinin koagüle olduğunu, GİDDİNGS ve ark. (1929), 6000 atm.'de virüslerin inaktive olduğunu bulmuşlardır. TİMSON ve SHORT (1965) ham süte mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerine çalışmalar yapmış, WILSON (1974), yüksek basınçta pastörizasyon sıcaklığı kullanarak düşük asitli gıdaların sterilizasyonunu sağlamıştır. CHARM ve ark (1977) yaptıkları çalışmalarda, uzun süre dondurularak depolanan gıdalarda 200 atm basınç uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir. ELGASİM ve KENNİCK (1980) etin protein kalitesi üzerine çalışmalar yapmışlardır.

1980'e kadar yapılan araştırmalardan anlaşılacağı gibi, yüksek basınç ile gıdalar arasındaki bağlantıyı açıklamak üzere çok az çalışma yapılmış, 1980'den sonra teknolojinin ilerlemesi ile çalışmalara hız verilmiştir. Özellikle Japonya'da yapılan araştırmalar sonucunda 1990'da ilk ticari ürünler alınmıştır. (HAYASHİ, 1990, 1991, 1992); (BALNY ve ark., 1992).

3. İZOSTATİK YÜKSEK BASINÇ TEKNOLOJİSİ

İzostatik yüksek basınç teknolojisinin en önemli avantajı basınç dağılımının düzgün ve eş zamanlı olmasıdır. Bu amacı sağlamak üzere değişik sistemler geliştirilmiştir. Endüstriyel yüksek basınç sistemleri 4 ana bölümden oluşmaktadır:

1. Yüksek basınç kabı
2. Basınç üretim sistemi
3. Sıcaklık kontrol bölümü
4. Materyal koyma sistemi

Sistemin kalbi olan yüksek basınç kabı, yüksek gerilme direncine sahip paslanmaz çelikten silindirik şekilde yapılmaktadır. Kabin duvar kalınlığı maksimum çalışma basıncına göre, çap ve yükseklik ise veriler ışığında tasarlanır. Sistemin özelliklerine göre farklı "kapak" tasarımları kullanılır. Gıda uygulamalarında hızlı açılan ve hızlı kapanan kapaklar tercih edilir. Yüksek basınç proseslerinin ekonomik değerlendirilmesinde yüksek basınç kabının tasarımı çok önemlidir. (MERTENS, 1995)

Yüksek basınç sistemlerinde basınç ileten madde olarak kullanılan su, doldurma boşaltma işlemlerinden önce kaba doldurulur. İşlem sırasında oluşabilecek korozyona karşı su, bir miktar yağla karıştırılır, ardından basınç kabındaki hava uzaklaştırılır.

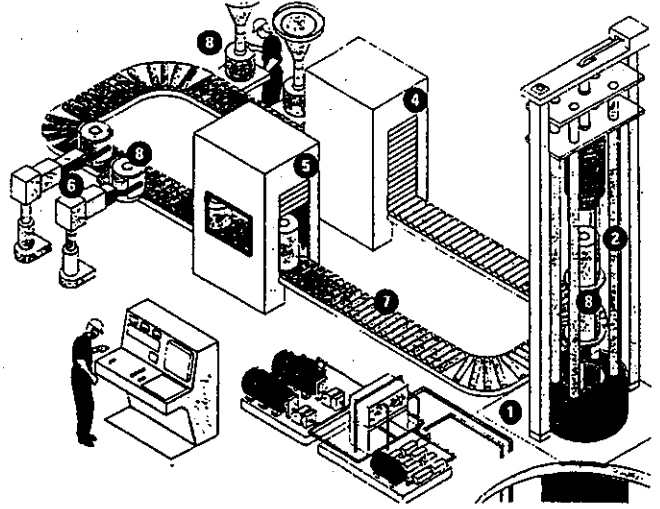
İzostatik yüksek basınç teknolojisi farklı şekillerde uygulanabilmektedir. Bu uygulama şekilleri aşağıda belirtilmiştir. (MERTENS, 1995)

3.1. Soğuk İzostatik Basınç Uygulaması (CIP):

Özellikle şekil verme tekniği olarak metal, seramik, plastik endüstrilerinde geniş kullanım alanı vardır. Toz şekline getirilmiş metaller kalıplara dökülür ve malzemenin türüne bağlı olarak 500-6000 atm basınçta çalışılır. Gıda endüstrisinde en uygun yöntemdir. Bu yöntemle iki farklı şekilde çalışabilir (Şekil 2).

Islak torba metodu: Gıda steril plastik torbaya doldurulur ve bu torba basınç kabına konur. Basınç kabına su doldurulur. İşlem süresi: 1-2 dakikadır.

Kuru torba metodu: Basınç kabının içine bir kalıp konur. Gıda bu kalıba yerleştirilir ve basınç uygulanır. İşlem süresi: 20-60 saniyedir.



Şekil 2. Soğuk İzostatik Basınç Uygulaması (CIP), Islak Torba Metodu

3.2. Ilık İzostatik Basınçlama (WIP):

200°C'lik sıcaklıkla beraber işletilir. Kimyasal reaksiyonların olduğu durumlarda genellikle toz ürünlerde kullanılır.

3.3. Sıcak İzostatik Basınçlama (HIP):

Yüksek sıcaklık ve basıncın birlikte kullanıldığı bu teknik, metal ve seramik endüstrisinde uygulanır. 1000-4000 atm. basınçta ve 2200°C ta çalışılır. Basınç ortamı argon, azot, helyum ya da hava kullanılarak sağlanır. İşlem süreci: 6-12 saattir.

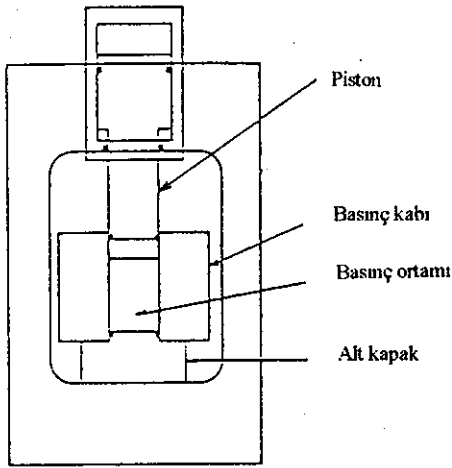
3.4. Yüksek Basınç Elde Etme Yöntemleri

1. Direkt sıkıştırma: Pistonun küçük çaplı ucu ile ortam basıncı yükseltilir. (Şekil 3) Bu yöntem son derece hızlı bir sıkıştırma sağlar, ancak piston ile kabın iç yüzeyi arasındaki dinamik yüksek basıncın oluşturduğu sınırlamalar, bu yöntemin pilot ölçekli sistemlerde kullanılmasını zorunlu kılar.

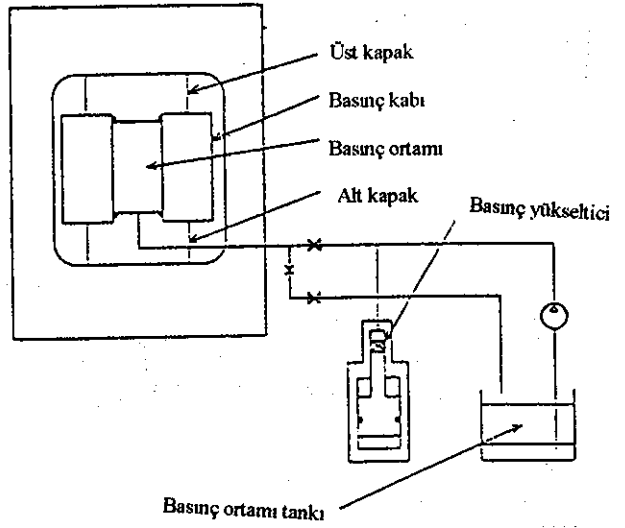
2. Dolaylı Sıkıştırma: İçinde yüksek basınç oluşturulan tüpten kuvvetlendirici kullanarak basınç kabında istenen basınç elde edilir (Şekil 4). Bir çok endüstriyel izostatik yüksek basınç sisteminde bu yöntem kullanılır.

3. Basınç ortamının ısıtılması: Isının artması ile basınç ortamı yaratılır. Bu yöntem özellikle yüksek basıncın yüksek sıcaklık sistemleriyle birlikte kullanıldığı uygulamalarda geçerli olmaktadır. Basınç kabının iç hacmi ve sıcaklık çok iyi kontrol edilmelidir.

Yüksek basınç teknolojisinin gıda endüstrisinde ticari uygulamalarında, ısıl işlemlerle benzer şekilde iki temel yöntem kullanılır: Bunlar aseptik doldurma ve kapatmayı izleyen **yiğın işlem** ve **kap-ıçı** (in-container) işlemidir. Kap-ıçı işleminde materyal besleme kısmı yüksek basınç sisteminin en karmaşık parçası iken; yiğın aseptik işlemin başlıca teknik farklılığı yüksek basınç kabının aseptik tasarımıdır. Aseptik işlem gıdaların işlenmesi sırasında her aşamada steril koşulların sağlanmasını kapsayan bir uygulamadır. Bu iki tekniğin avantajları ve dezavantajları Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 3. Direkt sıkıştırma



Şekil 4. Dolaylı sıkıştırma

Çizelge 2. Gıdalara uygulanan yığın ve kap-ıç i işlemlerinin avantaj ve dezavantajları

Avantajlar

Kap-ıç i	Yığın
<ul style="list-style-type: none"> * Sıvı ve katı tüm gıdalara uygulanabilir * İşlem öncesi bulaşmalarda minimal risk * Sistemin yüksek basınca uygulamak için tüm araştırma, geliştirme çalışmaları tamamlanmıştır. 	<ul style="list-style-type: none"> * Materyal besleme işlemi kolaydır. * Değişik kap kullanılabilir (cam, metal...) * Maksimum hacim etkinliği (> %90) * Yüksek basınç kabında minimum ölü zaman (hızlı doldurma/boşaltma ve kap açma/kapama işlemine gerek yok)

Dezavantajlar

Kap-ıç i	Yığın
<ul style="list-style-type: none"> * Materyal besleme işlemi karmaşıktır * Düşük hacim etkinliği (%50-70) * Değişik kaplar kullanılmaz. * Yüksek basınç kabında çok yüksek ölü zaman (doldurma/boşaltma, vanalar ve kap açma/kapama işlemleri) 	<ul style="list-style-type: none"> * Yalnız sıvı gıdalar * Aseptik doldurma basamağı nedeniyle ön işlemler sırasında bulaşma riskinin artması * Bün yüksek basınç ekipmanlarının aseptik tasarımı, gıda gereksinimleriyle çakışmaktadır.

4. YÜKSEK BASINÇIN BİYOLOJİK MATERYALLER ÜZERİNE ETKİSİ

Yüksek hidrostatik basıncın, mikroorganizmaların duvarları ve hücre zarlarında, morfolojisinde, biyokimyasal reaksiyonları ve genetik mekanizmaları üzerine pek çok değişikliğe neden olduğu Bölüm 1.3'de belirtilmiştir.

4.1. Mikroorganizmalar Üzerine Etkisi

Yüksek Hidrostatik Basıncın mikroorganizma inaktive etme nedenleri şunlardır:

- a) Hücre zarı geçirgenliği artar
- b) Hücre içi bileşenleri parçalanır.
- c) Hücrede enerji üretici reaksiyonlar inhibe olur.
- d) Hücre büyümesi için gerekli enzimler bozunur.
- e) Büyüme için gerekli optimum pH aralığı azalır.

f) Yüksek basınçtaki O₂, oksidasyon-redüksiyon tepkimeleri bozar.

Hücre yapısı yüksek basınca çok duyarlıdır. 6 atm.'in hücre içi boşlukları çökerttiği WALSBY (1972) tarafından araştırılmıştır. OSUMİ ve ark. (1992), 2000 atm.'de mayaların hücre duvarlarının yıkıma uğradığını gözlemişlerdir. HOOVER ve ark. (1989) tarafından verilen bilgilere göre KRİSS ve ark. (1969), elektron mikroskobu kullanarak *Pseudomonas* zincirleri üzerine 3009-450 atm aralığında çalışmışlar ve daha uzun hücreler oluştuğunu, hücre duvarlarının sitoplazmik zardan ayrıldığını ve kalınlaştığını, sitoplazmadaki retiküler yapının temizlendiğini ve ribozom sayısının azaldığını incelemişlerdir. Yine bu bilgilere göre basınç ve mikroorganizmalarla ilgili çalışmaların çoğu logaritmik üreme fazındaki bakteri hücreleri üzerine yoğunlaşmıştır. ZO-BELL (1970) erken logaritmik fazda alınan bakterilerin durgunluk ya da ölüm fazında alınanlardan daha basınca duyarlı olduklarını belirtmiştir. (HOOVER ve ark., 1989)

OXEN ve KNORR (1993)

mikroorganizma gelişmesi ile a_w arasında bağlantı olduğunu ve su aktivitesi a_w , düştükçe (< 0.90), basınca karşı toleransın arttığını gözlemişlerdir, bu etki Şekil 5'de açıklanmaktadır. WETANABE ve ark. (1991), *Erwinia* ananas hücrelerini inaktive etmek için yüksek basınç kullanmışlardır. Bu çalışmada, elde edilen hücrelerin ısı işlem görmüş hücrelerin aksine, suyun -5°C ve üstü sıcaklıklarda donmasını hızlandırdığı görülmüştür. Basınçla inaktive edilmiş *Erwinia* ananas hücreleri, dondurarak kurutma, dondurarak deriştirme ve dondurulmuş gıdalaraki yapısal değişikliklerde etkili bir buz çekirdeğidir.

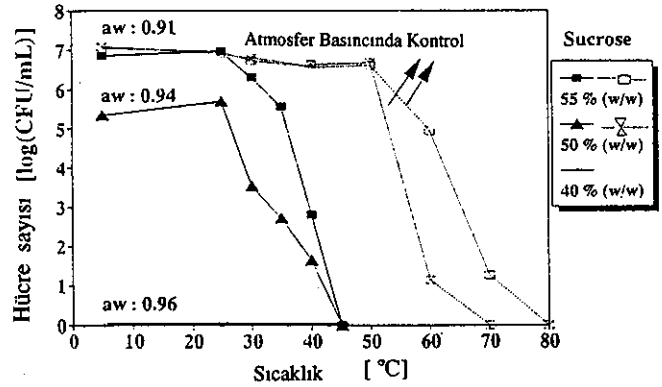
Basınç kullanarak belli mikroorganizma gruplarını inaktive edilmesinde önemli bir yol alınmıştır. SHİGESHA ve ark. (1991) domuz etini *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*, *Candida utilis*, *E. Coli* *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis* ve *Yersinia enterocolitica* ile inokule etmişler ve bunları 1000-6000 atm arası basınç değerlerinde 25°C'de 10 dakika tutmuşlardır. 3000 atm ve üstü basınçlarda etin pıhtılaşığı ve renk kaybına uğradığı gözlenmiştir. *Bacillus cereus* dışındaki tüm mikroorganizmalar inaktive olmuşlardır.

Bu çalışmalarla elde edilen sonuçlar Gram pozitif bakterilerin, Gram negatif bakterilere göre inaktive olmak için daha fazla basınç gerektirdiğini göstermiştir. Mayalar ise basınca duyarlılıkta bu iki grubun arasında yer almaktadır. HORİE ve ark. (1991), vejetatif hücrelerin yüksek basınçla inaktivasyonu konusunda yaptıkları araştırmalarda reçel raf ömrünü uzatmak için çalışmışlardır. Araştırma sonucunda yüksek basınç uygulamasının çilek reçelindeki (pH 3.3-3.4) *Sacc. Cerevisiae*'nin zararlarını önlediği belirtilmiştir.

Bakteri sporları vejetatif hücrelere göre basınca daha dayanıklıdır (GFOULD ve SALE, 1970). Çalışmada tek başına yüksek izostatik basıncın, spor miktarının azaltmak için yeterli olmadığı açıklanmıştır.

4.2. Kimyasal ve Biyokimyasal Tepkimeler

1. Hacim azalmasına neden olan tepkimelerin hızları artmıştır. Biyokimyasal tepkimelerin birçoğunda hacim artışı meydana geldiğinden tüm biyolojik proseslerin basınç uygulamasından az ya da çok etkilendiği söylenebilir. Mutlak hız tepkimeleri teorisine (theory of absolute rate reaction) göre bir tepkime sabit basınçta ve sıcaklıkta ise aşağıdaki termodinamik bağıntı uygulanabilir.



Şekil 5. 4000 atm ve 15 dakikalık basınç işleminde *Rhodotorola rubra* hücrelerinin canlılığı üzerine sıcaklık ve su aktivitesi değerlerinin etkisi

$$F^* = H^* - TS^* + PV^*$$

F^* = Serbest aktivasyon enerjisi, H = Entalpi, S = Entropi, P = Basınç, T = Sıcaklık, V = Hacim

Serbest aktivasyon enerjisini bir hacim terimi içermesi nedeniyle, basınç uygulaması sırasında tepkime aktif alanında şişme ya da büzülme oluşacağından tepkime hızı etkilenecektir.

2 Ortalama moleküler boşluklar azalmıştır. Basınç uygulanmış, ekzotermik tepkimelerde hücre canlılığı azalmıştır. Basınç, bir tepkime sistemini a) moleküler boşluklarda azalma, b) tepkimedeki iç etkileşmelerde artma olmak üzere iki şekilde etkilemektedir.

3. İyonize olabilen grupların sayısı değişmiş tepkimeler daha fazla etkilendir. Sulu sistemlerde, iyonize olmuş grup sayısında bir artışla sonuçlanan tepkimelerin varlığında genellikle bir hacim azalması gözlenir. Örneğin suyun pH değeri 1 atm, 25°C'de 7.0 iken, 1000 atm'de 6.27'dir. Bu da hacim azalmasına neden olur.

4. İyon çifti bağlarını ayırarak ve peptit zincirlerini yayararak protein moleküllerini bozar. Biyopolimerlerin doğal yapısındaki bağlar da basınçtan etkilendir. Protein moleküllerindeki bozunma sıcaklık değişimi ile olandan farklıdır. $100 < P < 3000$ atm ise tersinir protein bozumu, $P > 3000$ atm ise tersinmez protein bozunumu oluşur.

5. DNA moleküllerini daha az etkiler, çünkü nükleik asitler basınca daha dirençlidir. Örneğin DNA çözültüsü içindeki (%0.002-0.004, pH 4.8-9.9) *Bacillus subtilis'e* 10.000 atm'de oda sıcaklığında basınç uygulandığında herhangi bir değişime uğramadığı gözlenmiştir. DNA ile protein arasındaki basınca karşı tolerans farklılığının sebebi, moleküller arası hidrojen bağlarının DNA'da yüksek derecede olmasıdır.

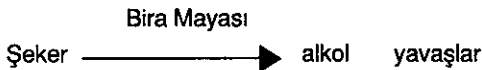
4.2.1. Enzim Tepkimeleri ve Proteinler Üzerine Etkisi

Gıda enzimlerinin basınca karşı nasıl tepki verdikleri son yıllarda araştırılmaya başlanmıştır. Mikroorganizmalarda basınç uygulaması sonucu genelde inaktivasyon elde edilirken, enzimler inaktivasyon, aktivasyon ya da varolan aktifliklerinin artması gibi değişik tepkiler vermektedirler. Yüksek basınçın enzimleri inaktive etmesini nedeni, intramoleküler yapı değişimi ve enzimin aktif yerindeki değişimdir. İnaktivasyon, pH, substrat derişimi, enzimin alt birim yapısı ve yüksek basınç uygulama sıcaklığı ile değişir. Araştırmacılar, gıda bileşiminde bulunan çözünebilir katı, şeker, protein ve yağ bileşenlerinin enzim inaktivasyonuna karşı koruyucu özellik gösterdiğini belirtmişlerdir. Enzimler üzerine basınç uygulamalarına örnek olarak tripsin ve karboksipeptidaz Y aktiviterinde azalma meydana gelirken (KUNUGİ ve ark. 1982), termolisin ve selülaz enzimlerinin katalizlediği tepkimelerde artış görülmüştür (FUKUDA VE KUNUGİ, 1984). OGAWA VE ark. (1990), satsuma mandalinasındaki pektinesteraz aktivitesinin 3000 atm ve üzerinde önemli ölçüde düştüğünü göstermiştir.

OHMORİ ve ark. (1991), basınç uygulayarak biftekteki proteaz aktivitesini incelenmişlerdir. Bu çalışmada aminopeptidaz ve Karboksipeptidaz aktiviteleri 5000 ve 4000 atm'de tamamen kaybolurken, asitproteaz'da bir düşme olmamış, nötrproteaz ise 4000 atm üzerinde çok az bir inaktivasyona uğramıştır. Benzer sonuçlar, basınç uygulanmış ciğer üzerinde karboksipeptidaz, asitpeptidaz ve katepsin B; D; H için de bulunmuştur. Aynı araştırmacılar, et suyu özündeki serbest amino asit miktarının ve tripsin sindiriminin arttığını ve et kalitesinde artma gözlenildiğini belirtmiştir. Basınç uygulanmış yumurta beyazı jelinin, suda pişmiş yumurta beyazına göre daha çabuk sindirildiği ve daha doğal bir koku ve vitamin içeriği olduğu görülmüştür. (HAYASHİ ve ark, 1989).

4.2.2. Fermentasyon Tepkimeleri

Yüksek basınç fermentasyon reaksiyonlarını hızını azaltmaktadır. Örneğin bira mayası hücrelerinde 1000 atm'deki 1 saatlik işlemle inaktivasyon gözlenmemiş ve buna bağlı olarak aşağıda gösterilen şekerden alkol elde si tepkimesinde de 600 atm'de 7 saatte bir fermentasyon gözlenemmemiştir.



Yüksek basınçta oluşturulan fermentasyon ürünleri, 1 atm'de oluşan ürünlerden farklıdır. Örneğin süt 700 atm'de işlendiğinde 12 gün ekşime gözlenmemiştir.

Başka bir örnek olarak, glukoz fermentasyonunun yüksek basınçta yapılması sonucunda, formik asit gibi düşük molekül ağırlıklı asitlerin miktarının arttığı belirtilmektedir.

5. YÜKSEK BASINÇIN DUYUSAL ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Gıdanın yüksek basınçta işlenmesi, gıdanın tipine bağlı olarak farklı duyu özellikleriyle sonuçlanır. Örneğin;

Domatesin iç yapısı sertleşir .Balık ve tavuk opaklaşır

Biftek daha yumuşak olur, et proteinklerini sindirilebilirliği artar, biyolojik değeri aynıdır.

Pirinç proteinlerinin ve nişasta yapısının yüksek basınçta değişiminden yararlanılarak pirincin daha çabuk pişirilmesi sağlanır.

Greyfurt meyve suyunda, ısı ile üretilen meyve suyundaki tipik acılık ortadan kalkar.

Taze ve dondurularak kurutulmuş baharat sterilizasyonu sırasında tat ve aroma aynı kalır. 55 atm'de 45°C'de CO₂ gazı ile işlem görmüş taze sarımsak, kekik, maydanoz, ve nanedeki tüm mikroorganizmalar inaktif olmuştur.

Yüksek basınç işlemi donmuş gıdaların daha hızlı çözündürülmesini de sağlar. 2 kg. donmuş sığır eti çözündürme işleminde tat, görünüş ve nem aynı kalmak üzere 1 atm'de 7 saat süren işlem, 2000 atm'de 1.4 saat sürmüştür.

6. YÜKSEK BASINÇ UYGULAMIŞ GIDALARDA GÜVENİRLİĞİN ÖNEMİ

Gıdalarda yüksek basınç kullanımının güvenirliliği konusunda yeni veriler gerekmektedir; henüz *C. botulinum* sporlarının Yüksek hidrostatik basınca direnci araştırılmamıştır .*Bacillus* sporlarının da YHB'a dirençlerinin büyük farklılıklar gösterdiği belirtilmektedir. Ayrıca, pH değişikliklerinin gıda üzerinde etkileri, muhtemel besin değeri değişiklikleri, paket tasarımı, 9000 atm'in üzerine çıkabilen ekipman tasarımı, pazarlama sorunları, işletme giderleri, sanitasyon ve temizlik gibi sorunlar da yüksek basınç sistemlerinde çözülmesi gereken önemli sorunlardır. Bugünkü teknoloji, gıdaları yüksek basınçla işleyebilmek için gerekli kapasite, işletme, proses kontrolü ve güvenlik gereksinimlerini karşılayabilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- BALNY, C., HAYASRİ, R. HEREMANS, K. AND MASSON, P. 1992. High Pressure and Biotechnology" John Libbey Eurotext, Montrouge.
- BRİDGMAN, P.W., 1914, J. Biol. Chem. 19(1), 511-512.
- CERTES, A., 1883, Compt. Rend., 98, 690.
- CHARM, S.E., LONGMAİD, H:E AND CARVER, J., 1977, Cryobiology 14, 625-636.
- CHEFTEL, J.C., 1991, ind. Alim. Agric., 108(3), p. 141-153.
- CHOLOPIN, G.W. AND TAMMAN G., 1903, Z. Hygiene Infektionskrank, 45, 171-204.
- DEUCHİ, T.AND HAYASHİ, R., 1991, in "High Pressure Science for Food" ed: R. Hayashi, p. 101-110. San-ei Pub. Co. Kyoto, Japan.
- ELGASİM, E.A. AND KENNİCK W.H., 1980, J. Food Sci., 45, 1,y 122.
- FARR, D., 1990, Trends in Food Science and Tech., 1, 14-16.
- FUKUDA, M. AND KUNUGİ, S., 1984, Eur. L. Biochem., 142, 565-570.
- GİDDİNGS, N.J., ALLARD, H.A. AND HİTE, B.H., 1929, Phytopathology, 19, 749-750.
- GOULD, G.W. AND SALE, A.J.H., 1970, J. Gen. Microbiol., 60, 335-346.
- HAYASHİ, R., 1989, In "Engineering and Food", W.E.L. Spiess, H. Schubert, eds., Elsevier Appl. Sci., London. 1989, Use of High Pressure in Food, San-Ei Shuppan Co., Kyoto. 1990, Pressure-Processed Foods: Research and Development. San-Ei Shuppan Co. Kyoto, Japan 1991, High Pressure Science for Food, San-Ei Shuppan Co., Kyoto. 1992, High Pressure Bioscience and Food Science., San-Ei Shuppan Co., Kyoto, Japan.
- HEREMANS, K., 1982, Ann. Rev. Bioeng., 11(1), 1-21.
- HİTE B.H., 1889, West Virginia Univ. Agric. Exp. Sta. Bull., 15-35.
- HOOVER, D.G., METRİCK, C., PAPİNEAU A.M., FARKAS D.F. AND KNORR D., 1989, Food Tech., 43(3), 99.
- HORİE, Y.N., KİMURA K.I. AND İDA M.S., 1991, U.S. Patent no. 5, 075, 124.

- KUNUGI, S., FUKUDA, M. AND ISE, N., 1982, *Biochem. Biophys. Acta*, 704, 107-113.
- KUBRIBAYASHI, T. AND HAYASHI, R., 1991, In "High Pressure Science for Food" ed: R. Hayashi., San-ei Pub. Co., Kyoto, Japan.
- MERTENS, B., 1995, In "New Methods of food preservation" Ed: G.W. Gould, Ch.7, 135-158, Blackie Academic & Pro., Glasgow, G.B.
- MERTENS, B. AND DEPLACE, G., 1993, *Food Tech.*, 47(6), 164-169.
- MORILD, E., 1981, In "Advances in Protein Chemistry", ed. C.B. Anfinsen, J.T. Edsall, F.M. Richards, 34, 93-166, Academic Press Inc., London.
- OHMORI, T., SHIGEHISA, T., TAJI, S. AND HAYASHI, R., 1991, *Agric. Biol. Chem.*, 55(5), 1253-1257.
- OSUMI, M., YAMADA, N., SATO, M., KABORI, H., SHIMADA, S. AND HAYASHI, R., 1991, *Intl. J. Food Microbiol.*, 12: 207.
- TIMSON, W.J. AND SHORT, A.J., 1965, *Biotech. Bioeng.*, 7, 139-159.
- WATANABE, M., MAKINO, T., KUMENO, K. AND ARAI, S., 1991, *Y Agric. Biol. Chem.*, Tokyo, 55(1) 267-300.
- WILSON, D.C., 1974, Presented at Annual Meeting, Inst. Of Food Tech., New Orleans, LA, May 12-15.
- WALSBY, A.E., 1972, In "The Effects of Pressure on Living Organisms.", M.A. Sleight, A.G. MacDonald (eds), Academic Press, NY, p. 223.
- ZIMMERMAN, F. AND BERGMAN C., 1993, *Food Tech.*, 47(6), 162.