

YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇ TEKNİĞİNİN SÜT ENDÜSTRİSİNDEKİ UYGULAMALARI

THE HIGH PRESSURE TECHNIQUES IN DAIRY TECHNOLOGY

Özer KINIK, Gökhan KAVAS, Harun UYSAL, Harun KESENKAŞ

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, İzmir

ÖZET: Gıdaların sıcaklık ile muamelesine bir alternatif olarak, ilk olarak 1899'da Hite tarafından, yüksek hidrostatik basınç uygulamalarının etkinliği ortaya konmuştur. Günümüzde hidrostatik basınç uygulamalarının, süt endüstrisinde mikrobiyolojik inaktivasyon uygulamalarında de-nendiği görülmektedir. Söz konusu uygulamanın süt teknolojisinde özellikle, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Candida utilis* ve *Pseudomonas fluorescens* ile bu bakteriler tarafından salgılanan ve peynir yapımı sırasında sütün uygun jelifikasyonunu engelleyen proteazların da yok edilmesinde, etkili olduğu tespit edilmiş, laktik asit bakterilerinin ise, yüksek basınç uygulamalarından, hücre duvarlarının yapısı nedeniyle çok az düzeyde etkilendiklerini belirlenmiştir. Sonuç olarak, yüksek basınç uygulamalarının süt ve ürünleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla, bazı araştırmalar yapılmış ve bu uygulama sayesinde pastörize nitelikteki süt üretiminin mümkün olduğu ifade edilmiştir. Ancak, söz konusu araştırmalarda, süt içerisinde bulunabilen sporların yüksek basınca dayanıklılığı nedeni ile, sterilize süt üretiminin mümkün olmayacağı ortaya konmuştur.

ABSTRACT: The effect of high pressure on food products as alternatives to heat treatment has been studied by Hite since 1899. In recent years the high pressure technology was used for microbiological inactivation procedures in dairy. It is stated that the treatments readily inactivated *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Candida utilis*, *Pseudomonas fluorescens* and their proteases that disrupted the gelation proteases that disrupted the gelation properties of milk and lactic acid bacteria maintained formal structure is due to the cell structure. As a result; some research on a high pressure techniques of milk has been conducted to date and the stability of this new treatment for pasteurization. However the effect of high pressure on spore inactivation and sterilization has been determined as inadequate.

GİRİŞ

Geçtiğimiz 10 yıl süresince gıda üretim sektöründe, gerek gıdaların korunmasına alternatif bir metod olarak geliştirilen, gerekse gıdaların fiziksel özelliklerinin modifiye edilmesi amacıyla ortaya konan yüksek hidrostatik basınç uygulamaları, günümüzde araştırmacıların en önemli çalışma alanlarından birisidir.

Gıdaların sıcaklık ile muamelesine bir alternatif olarak, ilk defa 1899'da Hite tarafından, yüksek hidrostatik basınç uygulamalarının etkinliği ortaya konmuştur. Araştırmacı, ilk olarak oda sıcaklığında 10 dakikalık bir zaman diliminde ve 6.8 kbar'lık bir basınç altında, sütteki mikroorganizma popülasyonunun sayısal değişimini incelemiş, araştırma neticesinde ise, sütlerdeki mikroorganizma sayısında, 5-6 ondalık değerlerinde azalmalar tespit etmiştir. Süt için elde edilen bu değerlere yakın sonuçlar aynen etler içinde geçerli olmuş, ancak meyve ve sebze teknolojisindeki uygulamaları 15 yıllık bir aradan sonra denenmiştir (HINRICH ve ark. 1995).

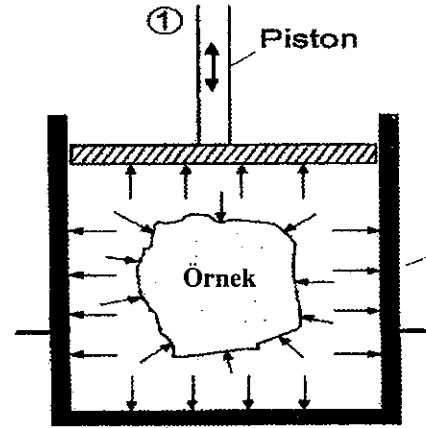
İlk defa Hite tarafından ortaya atılan yüksek basınç uygulamaları, gıdaların mikrobiyolojik yükünün iyileştirilmesi amacıyla ortaya çıkmıştır. Aynı yıllarda, çok sayıda araştırmacı konu ile ilgili olan denemelerde bulunmuşlardır. **Brigdeman**'da bu araştırmacılar biridir. Söz konusu araştırmacı, yüksek basınç uygulamalarında, 6 kbar'dan fazla uygulanan yüksek basınçın, yumurta albumuninin pıhtılaşmasına neden olduğunu tespit etmiştir. Bunu takip eden uzun zaman dilimi boyunca, konu ile ilgili olarak çok az sayıda araştırma yapıldığı görülmekte ve bunun en önemli nedeninin, teknolojinin geniş kullanım olanakları sunması olarak ifade edilmektedir (HAYAKAWA ve ark. 1994, HINRICH ve ark. 1995).

Ancak yine de, yüksek basınç işleminin ilk yıllardan itibaren, özellikle kimya, seramik ve metallurji endüstrilerinde kullanıldığı bilinmekte, gıda sanayiindeki uygulamalarının ise, ilk olarak 1988 yılında, Japon araştırmacılar tarafından başlatıldığı ifade edilmektedir (BUCHHEIM ve ark. 1995, HINRICH ve ark. 1995).

Günümüzde bu teknik, gıda sanayiinde geniş bir uygulama alanı bulmuş ve özellikle Japonya'da, meyve sularında, meyvelerde, soslarda ve tatlılarda yapılan uygulamalar ile de gelişmiştir. Bu tekniğin gıda alanındaki uygulamalarında en ilgi çeken yönün; gıdaların yapısında önemli değişiklikler meydana getirmeden, söz konusu ürünü mikrobiyolojik açıdan koruyan bir yöntem yada uygulama olması ile özetlenebilir. Gıdaların mikrobiyolojik açıdan korunmasında bu yöntemin sunduğu en önemli avantaj ise; vejetatif hücrelerin yüksek basınçta kolayca öldürülebilmesi ile açıklanabilir. Buna ilave olarak, söz konusu basınç uygulaması ile birlikte, uygun sıcaklık normlarının teknolojiye birlikte kullanılması sonucunda, gıdaların mikrobiyolojik kalitesinin iyileştirilmesinde etkili bir uygulamanın sağlandığı belirtilmektedir (OKAMOTO ve ark. 1991).

YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇ İŞLEMİ VE ÜNİTELERİ

Günümüzde yüksek basınç ünitelerinin çok değişik özelliklerde olduğunu söylemek mümkün olmakla birlikte, Şekil 1'de, genel anlamdaki bir yüksek basınç uygulamasının şematik görünümü verilmiştir. Söz konusu yüksek basınç ünitelerinde ortak olan en önemli olgu; sistemde temel olarak geometrik yapıya sahip silindirin bulunmasıdır. Silindirin temel prensibi; piston tarafından uygulanan basınç generasyon gücünü, ortama dönüştürmesi olarak özetlenebilir. İşleme sokulan örnek yada gıda maddesi, ortama daldırılmakta ve daha sonra basınca maruz bırakılmaktadır. Ancak gıdanın bu işleme tabi tutulmasından önce, ürünün esnek bir kap içerisine konması da son derece önemlidir (HINRICH ve ark. 1995).



Şekil 1. Yüksek basınç sisteminin şematik görünümü (HINRICH ve ark. 1995)

YÜKSEK BASINÇIN SÜT VE ÜRÜNLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Yüksek basınç uygulamasının süt ve ürünleri gibi kompleks yapıda olan gıdalara uygulanabilmesinde çok hassas çalışmanın gerekli olduğu ifade edilmektedir. Araştırmacılar konu ile ilgili olarak yaptıkları çalışmalarda, sütün gerek sıcaklık, gerek pH ve gerekse çevresel faktörlerden etkilendiğini ve bu amaçla belirli normların geliştirilmesinin şart olduğunu ifade etmektedirler (HAYAKAWA ve ark. 1994, HINRICH ve ark. 1995, JOHNSTON ve ark. 1992, JOHNSTON ve ark. 1993, LEE ve ark. 1996). Bu amaçla, yüksek basınç/süresi ile, sıcaklık uygulamasının süt ve ürünleri üzerinde gerek mikrobiyolojik ve gerekse yapısal özelliklerine hangi düzeyde ne tür bir etkide bulunduğu Çizelge 1'de görülmektedir.

Mikrobiyolojik İnaktivasyon Üzerine Olan Etkiler

Günümüzde mikrofludizasyon olarak da bilinen yüksek basınç uygulamalarının, önceleri sütteki yağ globullerinin boyutlarını küçültmek amacıyla kullanıldığı belirtilmektedir. Ancak konunun gün geçtikçe önem kazanması nedeni ile, söz konusu işlem prosedürü, mikrobiyolojik inaktivasyon uygulamalarında da denenmiştir (MITSUIKI ve ark. 1993, RAFFALLI ve ark. 1994, STYLES ve ark. 1991).

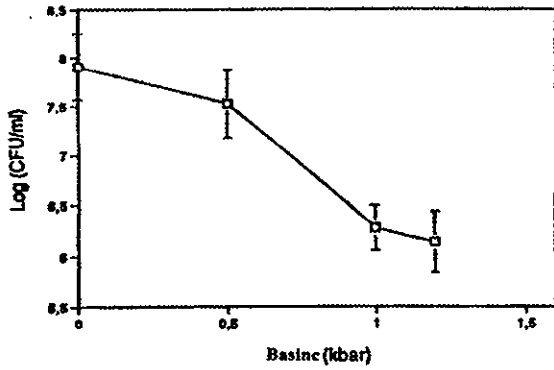
Günümüzde, sadece yüksek basınç yada sıcaklık, pH gibi işlemlerin kombinasyonu ile yapılan proseslerin, süt teknolojisindeki uygulamaları ve bu uygulamadan sonraki, süt ve ürünlerinin depolanma sırasındaki dayanıklılığı üzerindeki etkileri ile ilgili olarak, literatürlerde çok az bilgi bulunduğu görülmektedir. Konu ile ilgili olarak, yapılan çalışmalarda, *Bacillus subtilis*, *E.coli* ve *Candida utilis* gibi mikroorganizmalar üzerine yüksek basınç uygulamasının etkileri incelenmiş ve araştırmacılar basınç seviyesinin, bakterilerin inaktivasyonunda son derece etkili rolleri olduğunu ifade etmişlerdir. Aynı araştırmacılar konu ile ilgili bulgularında, süt içerisinde bulunan *Pseudomonas fluorescens* ile bu bakteriler tarafından salgılanan ve peynir yapımı sırasında sütün uygun jelifikasyonunu engelleyen proteazların yok edilmesinde, yüksek basınçın çok etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Söz konusu çalışmalarda laktik asit bakterilerinin ise, yüksek basınç uygulamalarından, hücre duvarlarının yapısı nedeniyle çok az düzeyde etkilendikleri rapor edilmiştir. (ELAAMADI ve ark. 1996, GARCIA-RISCO ve ark. 1998, HINRICH ve ark. 1995, JOHNSTON ve ark. 1992, LAW ve ark. 1979, MITSUIKI ve ark. 1993, SONOIKE ve KOOPS 1977).

Çizelge 1. Belirli Basınç/Süre ve Sıcaklıkların, Süt ve Ürünlerine Uygulanması Sonucunda, Sütün Yapısında ve Mikrobiyolojik Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler (HINRICH ve ark. 1995)

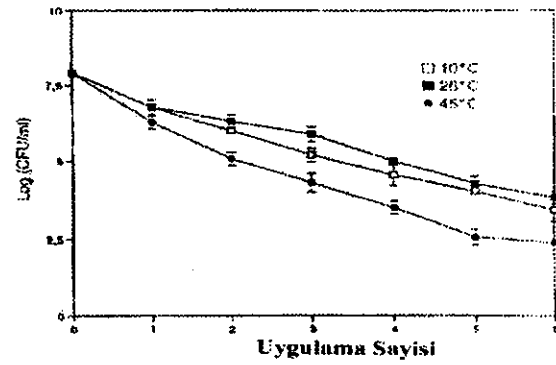
Ürün	Basınç/Zaman	Sıcaklık	Mikroorganizma	Yapısal değişim
Çiğ Süt	1-14 kbar/dk.	20°C	Sterilize olmamış süt canlı birkaç tür	–
Çiğ Süt	7 bar	20°C	Sterilize olmamış süt, <i>St. lacticus</i> ve <i>B. subtilis</i> dayanıklı	–
Süt	10.5 kbar/1.5 saat	35°C	Toplam kolonilerin % 0.05'i canlı, sporlar dayanıklı	–
Süt	8.4 kbar/1 saat	25°C	<i>Bacillus</i> , <i>Microbacterium</i> ve <i>Micrococcus</i> inaktive olmamakta	–
Kolosturum	1-4.5 kbar/20 dk	4-50°C	Steril değil	–
<i>Listeria monocytogenes</i> ilave edilmiş UHT süt	3 kbar/80 dk	23°C	Başlangıçtaki canlı sayısında 10^{-6} oranında azalma	–
<i>Listeria innocua</i> ile inoküle edilmiş UHT krema	4.5 kbar/10-30 dk	25-26°C	Başlangıçtaki canlı sayısında 10^{-5} oranında azalma	–
<i>Lactobacillus plantatum</i> inoküle edilmiş UHT krema	7 kbar/2 dk	25°C	Başlangıçtaki canlı sayısında 10^{-8} oranında azalma	–
Bakteri sporları ile inoküle edilmiş süt	4 kbar/5 dk	20°C	Sporlar inaktive olmamış	–
Taze krem peynir	4 kbar/5 dk	20°C	Azalmış koloni sayısı	Serum ayrılması
Taze krem peynir	4 kbar/10 dk	20°C	Maya ve Küf inaktivasyonu, ancak depolama sırasında mayalar kısmen aktif olabilir.	Sert ve kıvrıgan yapı, serum ayrılması
Yarı sert peynir (Edamer)	4 kbar/5 dk	20°C	Maya ve Küf inaktivasyonu, ancak depolama sırasında mayalar kısmen aktif olabilir	Düzensiz ve parlak yüzeyli, homogenize ve sürülebilir peynir yapısı
Yoğurt	3 kbar/10 dk	<20°C	Azalmış koloni sayısı, 10 °C'de 2 haftalık depolamada asitlik gelişimi olmamıştır.	20°C'nin altındaki basınç uygulamalarında yapıda herhangi bir değişiklik kaydedilmemiş.

Konu ile ilgili olarak, yağsız süte aşıl原因an *P. fluorescens ATCC 948* no'lu suşunun yüksek basınç uygulaması ile inaktivasyonuna dayanan bir çalışmada, *P. fluorescens* hücreleri, yağsız süte %2 olacak düzeyinde inoküle edilmiş, 25 saat inkübasyona bırakılmış ve mikroorganizma popülasyonunun en yüksek olduğu (7.9×10^7 CFU/ml) anda, süte 0,0.5, 1 ile 1.2 kbar'lık farklı düzeylerde basınçlar uygulanmıştır. Araştırmacılar, 0 kbar düzeyindeki basınçta *P. fluorescens* sayısının 7.9×10^7 CFU/ml düzeyinde sabit kaldığını, 0.5 kbar'lık uygulanan basınçta mikroorganizma sayısının (7.9×10^7 CFU/ml)'ye, 1 kbar'lık basınçta 6.3×10^7 CFU/ml'ye, 1.2 kbar'lık basınçta ise *P. fluorescens* sayısının 6.1×10^7 CFU/ml düzeyine düştüğünü tespit etmişlerdir. Araştırmada bu noktadan sonra artırılan yüksek basınç uygulamasının, mikroorganizmanın sayısal değişimi üzerine etkisinin bulunmadığı ifade edilmiştir (Şekil 2). (ELAAMADI ve ark. 1996).

Araştırmacılar söz konusu çalışmada, *P. fluorescens* inaktivasyonunda etkili olan basıncı sabit tutarak, farklı sıcaklıkların aynı mikroorganizma üzerinde olan inaktivasyonunu da incelemişlerdir. Denemede 10°C, 26°C ile 45°C'lik 3 farklı sıcaklık, 10 dakika süresince uygulanmış ve *P. fluorescens*'in inaktivasyonunda, 1.2 kbar'lık sabit basınçta en etkili sıcaklığın, 45°C olduğu tespit edilmiş ve bu sıcaklıkta



Şekil 2. Yağsız süte, farklı düzeylerde uygulanan yüksek basınç işlemi ile *Pseudomonas fluorescens*' in inaktivasyonu (ELAAMADI ve ark. 1996)



Şekil 3. 10°C, 26° ile 45°C'de, 10 dakika süresince uygulanan sabit basınçta (1.2 kbar), *P.fluorescens*'in inaktivasyonu (ELAAMADI ve ark. 1996)

P. fluorescens' in inaktivasyon derecesinin, logaritmik olarak 5 kat azaldığı ifade edilmiştir. Araştırmada ayrıca, proteaz (%50) ve esteraz (%93) enzimlerinin denatürasyonunda da başarı kazanıldığı ifade edilmiştir. (ELAAMADI ve ark. 1996) (Şekil 3).

Konu ile olarak yapılan başka bir araştırmada, %6 yağ oranında standardize edilmiş ve içersinde 10^6 ile 10^7 CFU/ml düzeyinde *Escherichia coli* 378 CECT ve *Pseudomonas fluorescens* 378 CECT türü patojenlerin aşılandığı koyun sütüne, yüksek hidrostatik basınç uygulanmıştır. Araştırmada, 2, 10, 25 ve 50°C sıcaklıklardaki sültere, 5, 10, 15 dakika süresince 300, 400, 450 ve 500 Megapascal (Mpa)'lık yüksek basınç uygulamalarının değişik kompozisyonları denenmiş ve çalışmada her iki suşun, 50°C'deki sıcaklıkta yapılan tüm basınç ve zaman uygulamalarında, 6 log CFU/ml'den daha fazla düzeylerde inaktive edildiği bildirilmiştir. Buna benzer bir inaktivasyon, 25°C'de 450 Mpa'dan daha düşük seviyelerde uygulanan hidrostatik basınç altında *E.coli* suşu ile, 10°C'lik bir sıcaklıkta uygulanan 400 Mpa'dan daha düşük seviyelerdeki hidrostatik basınç ile, *P. fluorescens* suşlarında gözlenmiştir (GERVILLA ve ark. 1997).

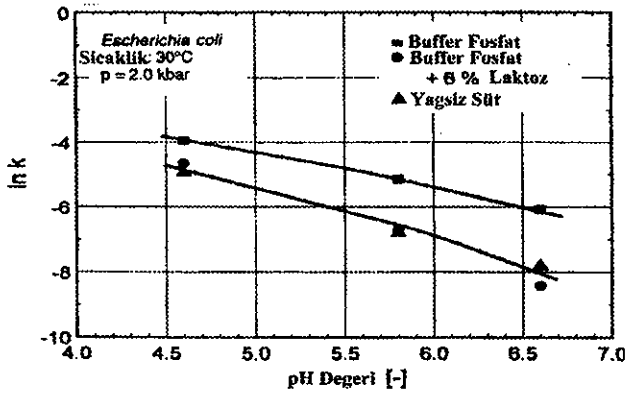
Yüksek basınç uygulamalarının süt ve ürünleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla yukarıda da örneklemeye çalıştığımız gibi bazı araştırmalar yapılmış ve bu uygulama sayesinde, pastörize nitelikteki süt üretiminin mümkün olduğu ifade edilmiştir. Ancak söz konusu araştırmalarda, süt içersinde bulunabilen sporların yüksek basınca dayanıklılığı nedeni ile, sterilize süt üretiminin mümkün olamayacağı ortaya konmuştur (CARLEZ ve ark. 1993, COLLINS ve ark. 1993, HAYAKAWA ve ark. 1994, HINRICH ve ark. 1995, MITSUIKI ve ark. 1993, RAFFALLI ve ark. 1994, STYLES ve ark. 1991).

Süt ürünlerinde yüksek basınç uygulamalarındaki ilk basamak, yağın seperasyonu, koyulaştırma gibi sütün ön işlemlerini içermekte ve yüksek basınç uygulaması bunu takip eden aşamada uygulanmaktadır. Konu ile ilgili olarak yapılan araştırmalarda, proses durumunu takip eden ve dikkate alınması gereken birkaç hassas nokta üzerinde durulmasının gerekli olduğu bildirilmekte ve bu hassas noktaların, çevreye ve mikroorganizma türlerine bağlı olan mikrobiyolojik durumu etkileyebilecekleri ifade edilmektedir. Söz konusu faktörlerin genel olarak, çevre basınç, zaman ve sıcaklık olduğu bildirilmektedir (HINRICH ve ark. 1995, SCHMIDT ve KOOS 1977).

Genel anlamda, gıda içersinde bulunabilen mikroorganizmaların inaktive edilmesinde, yüksek basınç uygulamalarının tek başına yeterli olmadığı ve bu uygulamada, çevrenin ve sıcaklığında çok önemli rolleri bulunduğu bilinmektedir (10, 12, 21). Nitekim konu ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada, sıcaklık ile yüksek basınç arasındaki ilişkinin mikroorganizmalar üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla, *Micrococcus luteus* ve *E.coli* gibi farklı iki bakteriyi ele alınarak incelenmiştir. Şekil 4'de, *E.coli* ve *M. luteus* 'un, sabit bir basınçta (2.5 kbar yada 3.5 kbar) inaktive edilebilmesinde uygulanan sıcaklığın etkileri görülmektedir. Söz konusu araştırma sonucunda, *E.coli*'nin söz konusu basınçta ve 20°C'lik bir sıcaklık uygulamasından etkilendiği ve minimum bir değere kadar düştüğü saptanmıştır. Buna karşılık araştırmacılar, *M. luteus*'un

inaktivasyonda sıcaklıktan etkilenmediğini belirtmişler ve bunun nedeninin ise gram (+) bakterilerin farklı hücre membran yapısına sahip olmalarına bağlı olarak, yüksek basınç uygulamalarında sıcaklığa karşı stabilize olması ile açıklanabileceğini ifade etmişlerdir (HINRICH ve ark. 1995, SONOIKE ve ark. 1992).

Konu ile ilgili olarak çevresel faktörler arasında yer alan ve belki de en önemlilerinden biri olan pH ile, sabit bir değerdeki yüksek basınç uygulamasının, mikroorganizma inaktivasyonundaki etkilerinin belirlenmesi amacıyla ilgili olarak değişik araştırmalar yapılmıştır. Nitekim **Şekil 5**'de, yüksek basınç uygulamasının pH ile birlikte, *E.coli*'nin yıkımı üzerine olan etkileri görülmektedir. Buradan da görüleceği gibi, tüm koşullarda pH değerinin düşmesi ile, bakterinin inaktivasyonun hızlandığı tespit edilmiş ve yüksek basıncın,

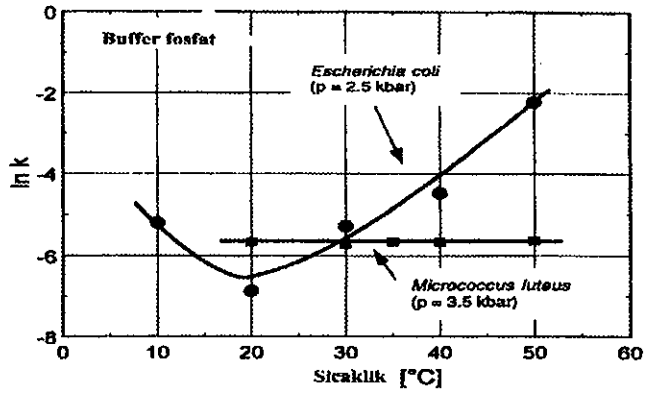


Şekil 5. Sabit basınçta ($p=2.0$ kbar) ve sabit sıcaklıkta ($t=30^{\circ}\text{C}$) *E. coli*'nin inaktivasyonunda pH'nın etkisi (HINRICH ve ark. 1995).

değişimlerin kalıcı olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, araştırmacılar yüksek basınç uygulamalarının yoğurttaki etkilerinin, peynirlerde gözlenen yapısal değişiklikler ile aynı özellikte olduğunu, ancak yoğurtlarda meydana gelen bu değişimlerin, 20°C 'nin altındaki sıcaklıklarda önlenebileceğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte yüksek basınç uygulaması ile, sütün peynir mayası ile pıhtılaşma süresinin çok belirgin bir şekilde kısaltıldığı ayrıca jelin sertliğinin ve su tutma kapasitesinin düzenlediği de, araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. İşte bu nedenle günümüzde, süt ürünleri ile ilgili yüksek basınç uygulamalarının kapsamının, gerek mikrobiyolojik gerekse, yapısal analizleri içerdiğini söylemek mümkündür (DESOBRY-BANON ve ark. 1994, GARCIA-RISCO ve ark. 1998, HINRICH ve ark. 1995, JOHNSTON ve ark. 1992, LEE ve ark. 1996, OKAMOTO ve ark. 1991, SCHMIDT ve KOOPS 1977, TANAKA ve HATANAKA 1992).

Nitekim termal işlemlere bir alternatif olarak ortaya konan ve bugünkü çalışmaların odağı olan yüksek basınç uygulamalarının, sütteki kazein fraksiyonu ile, pH 4.6'da çökebilen misel fraksiyonuna ve β -laktoglobulin (β -Lg) denatürasyonuna sebep olduğu tespit edilmiştir (GARCIA-RISCO ve ark. 1998, HAYAKAWA ve ark. 1994, LEE ve ark. 1996, TANAKA ve HATANAKA 1992, TONELLO ve ark. 1992).

BUCHHEIM ve ark. (1995) tarafından, ısıtılmış sütlerdeki kazein miseli, pH ve sütün mineral madde dengesi üzerine, basıncın etkileri incelenmiş ve araştırmacılar, yağsız süt ile UHT yağsız sütün



Şekil 4. *E. coli* ile *M. luteus*'un sabit basınçta (2.5 kbar-3.5 kbar), farklı sıcaklıklardaki inaktivasyonu (HINRICH ve ark. 1995).

özellikle asitliği ilerlemiş süt ürünlerinde kullanımının çok uygun olacağı ifade edilmiştir (HINRICH ve ark. 1995, SONOIKE ve ark. 1992).

Yüksek Basıncın Süt ve Ürünlerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Olan Etkileri

Süt ürünlerinden peynir ve yoğurt üzerinde yüksek basıncın etkilerinin belirlenmesi ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda söz konusudur. Bu çalışmalarda, yüksek basınç uygulaması nedeniyle taze veya sert peynirlerin yapısında ve syneresis'inde değişimlerin meydana geldiği tespit edilmiş ve bu yapısal

denemelerinde kullanmışlardır. Araştırmada kullanılan basınç değerleri, 100 ile 500 Mpa arasında ve sıcaklık dereceleri de, 5°C, 10°C, 20°C ve 40°C'lerde, 1.5 dakika ile 10 dakika arasında uygulanmıştır. Denemede, mineral madde dengesinin değişiminin incelenmesi amacıyla, yağsız inek sütü kullanılmış ve 74°C'deki pastörizasyon sonrasında, süt, ultrafiltrasyon tekniği ile üç defa koyulaştırılmıştır. Daha sonra retentat ve permeat, söz konusu sıcaklık değerlerinde basınç ile muamele edilmiş, araştırmada elde edilen sonuçlar 3 genel başlıkta toplanmıştır.

Yüksek Hidrostatik Basıncın Süt Proteini Üzerine Olan Etkisi

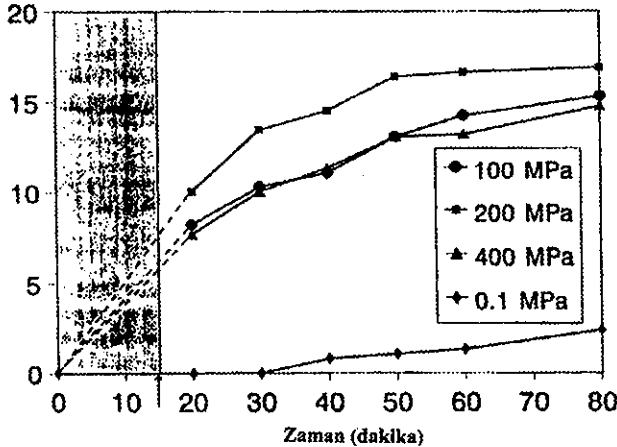
Araştırmada, kazein miselinin parçalanmasının ve pH değerindeki artışın, basınç uygulamasından aklaşık olarak 10 dakika sonra gerçekleştiği tespit edilmiş ve ısı ile işlem görmüş sütteki pH artışının, ısı işlem görmemiş sütünkinden daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. UHT sütteki kazein misellerinin, 100 MPa ile 200 Mpa'lık basınçlara karşı daha hassas olduğu, buna karşılık ısıtılmamış sütteki kazein miselinin, 200 MPa ile 300 Mpa'daki basınçlarda, çok az değişimler gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmada, ısıl işlem görmemiş sültere, 20°C'nin yukarısında uygulanan sıcaklıklarda ve 250-300 Mpa'lık basınçlarda, kazein miselinde değişimler olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte çalışmada, 300-500 Mpa'da ve daha düşük sıcaklıklarda (5-10°C), doğal yapıdaki misellerin dayanıklılığının ortadan kalktığı da ifade edilmektedir (BUCHHEIM ve ark. 1995).

Mineral Madde Dengesi Üzerine Olan Etkisi

BUCHHEIM ve ark. (1995) tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek ısı uygulamalarının pH ile kalsiyum içeren örneklerin tümünde, çözülmüş kalsiyum miktarını azalttığı, ancak daha ileriki aşamalarda uygulanan basınç işleminin hem pH hem de çözülmüş kalsiyum değerlerini basınç uygulamadan önceki seviyelere getirdiği tespit edilmiştir. Söz konusu bu olgunun daha çok, sütün tamponlama ve kazeinin kalsiyum fosfat bağlama yeteneği ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir.

Süt Yağının Kristalizasyonuna Olan Etkisi

Denemede elde edilen sonuçlarda, kontrol örneğinin kristalizasyonunun, sıcaklığın 16°C'ye ulaşasından yaklaşık 30 dakika sonra başladığı, ancak basınç uygulanmış kremalarda söz konusu olgunun, 20 dakikada gerçekleştiği tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak 100 Mpa (16°C/15 dk) ile 400 Mpa (16°C/15 dk) arasında uygulanan basınç işlemi ile, 200 Mpa'lık



Şekil 6. Sabit sıcaklıkta (t=16°C) ve sabit sürede (15 dk), farklı basınç uygulamalarının süt yağının kristalizasyonuna etkisi (BUCHHEIM ve ark. 1995)

basınç uygulaması karşılaştırıldığında, 200 Mpa'da yapılan basınç uygulamasında, kristalleşmenin daha yüksek olduğu saptanmıştır (Şekil 6). Araştırmada, 350 Mpa'dan daha yüksek basınç uygulamalarında ise, yağ kristalizasyonunun düştüğü belirlenmiştir. Araştırmacılar bu düşüşün sebebini, uygulanan yüksek basınç sırasında oldukça yüksek oranda indirgenmiş moleküler değişkenliklerin meydana gelmesine bağlamışlardır (BUCHHEIM ve ark. 1995).

Yüksek hidrostatik basınç işlemlerinin süt ve ürünleri üzerindeki uygulamalarından elde edilen bilgilerin ışığında, sütün yapısında bulunan gerek protein ve gerekse mineral madde dengesinin birbiri ile yakın ilişkileri olduğu bilimsel olarak tespit edilmiştir. Ayrıca konu

ile ilgili araştırmalarda, süt ve süt ürünlerinde uygulanan yüksek basınç işlemlerinde, çok sayıda faktörün etkili olduğu da belirtilmektedir.

Yüksek basınç uygulamaları konusunda yapılan ilk çalışmaların devamı olarak gerçekleştirilen araştırmalarda, süte yüksek basınç uygulanmasının kısmende olsa kazein misellerinin parçalanmasına bağlı olarak, sütün ışığı dağıtma yeteneğini etkilediği ifade edilmektedir. Bu yapısal değişim sayesinde ise, basınç ile muamele edilmiş sütlerin, rennet ve asit ile koagülasyonu gibi fiziko-kimyasal özelliklerinin, normal sütlere göre daha iyi olduğu kabul edilmiştir (BUCHHEIM ve ark. 1995, DESOBRY-BANON ve ark. 1994, JOHNSTON ve ark. 1993, LEE ve ark. 1996, SCHMIDT ve KOOPS 1977).

Bu amaçla, konu ile ilgili araştırmacılar yüksek basınç uygulamaları neticesinde, sütlerin su tutma kapasitelerini, protein hidrasyon indekslerinin ve asitlendirme yolu ile elde edilen jelin dayanım gücünün, ayrıca jelin sertliğinin arttığını belirlenmişlerdir. Söz konusu araştırmacılar 1992 yılında da, yüksek basınç uygulamalarının, süt proteinlerinin yüzeylerinde yer alan hidrofobik grupların oranlarını arttırdığını ve kazein yapısında olmayan nitrojen fraksiyonlarında, önemli düzeylerde azalmalara yol açtıklarını saptamışlardır (JOHNSTON ve ark. 1992, JOHNSTON ve ark. 1993).

Yüksek hidrostatik basınç uygulamalarının sütlerin fiziko kimyasal özellikleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir başka çalışmada, %9 kurumaddeli süt, ultrafiltrasyon tekniği ile %18 kuru maddeye konsantre edilmiş ve söz konusu bu süte, 0.3 saniye süre ile 310 Mpa (45.000 psi) seviyesinde yüksek hidrostatik basınç uygulanmıştır. Hidrostatik basınç uygulamasını izleyen aşamada, üt, +4°C'ye soğutulmuştur. Soğutma işlemi takiben konsantre süt örneklerinin, emülsiyon stabilitesinin yüksek basınç uygulaması neticesinde azaldığı, konsantre edilmeyen sütlerde ise, emülsiyon kapasitesinin arttığı tespit edilmiş, sütlerdeki yüzey geriliminin ise, önemli düzeylerde değişmediği belirlenmiştir. Ayrıca yüksek basınç uygulamaları neticesinde, sütlerin renk ve görünümünün de etkilendiği, basınç uygulanan sütlerin basınç uygulanmayan sütlerle göre, daha viskoz ve renklerinin de yeşilimsi yada mavimsi olduğu tespit edilmiştir (ADAPA ve ark. 1997).

Süt ve ürünlerinde yüksek basınç uygulamalarının, peynir suyu proteinlerinin uygun bir sıcaklık ve basınçta denatüre olmalarını ve ayrıca, peynir suyu proteinleri arasında yer alan b-laktoglobulin'in, seçici olarak proteolizine olanak sağladığı ifade edilmektedir (BUCHHEIM ve ark. 1995, GARCIA-RISCO ve ark. 1998, HAYAKAWA ve ark. 1994, HINRICH ve ark. 1995, TONELLO ve ark. 1992).

Bu amaçla, keçi sütüne 25°C ve 50°C'lerde 500 Mpa değerinin üzerinde yüksek basınç uygulanmış ve bu uygulama neticesinde sütlerdeki, serum proteinlerinin denatürasyon oranı ile çözünürlüğün çok düşük seviyelere ulaştığı bildirilmiştir. Araştırmada, elde edilen değerler, 4.6 pH'da ve FPLC fast protein sıvı kromatografisi ile SDS PAGE sodyumdodesilsülfat poliakrilamid jel elektroforezi ile tespit edilmiştir. Aynı araştırmada uygulanan 25°C'de yapılan yüksek basınç uygulamasında, β-laktoglobulinin kümelenme özelliği gösterdiği ancak bununla birlikte, sütteki immunoglobulinler ile α-laktalbuminin bu anlamda daha dayanıklı oldukları saptanmıştır. Çalışmada araştırmacıların denediği diğer sıcaklık 50°C olmuş ve bu sıcaklıkta uygulanan hidrostatik basıncın ise, sütteki proteinler üzerine olan etkilerinin arttığı ve immunoglobulinler ile α-laktalbuminin kısmen denatüre olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca araştırmada, süte uygulanan yüksek basınç uygulamasının (>500 Mpa'da 10 dakika) alkali fosfataz aktivitesi üzerine hiçbir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (FELIPE ve ark. 1997).

SONUÇ

Günümüzde yüksek hidrostatik basınç tekniğinin, ürünü mikrobiyolojik açıdan korunmaya yönelik olarak süt endüstrisine de yeni olanaklar sunduğu görülmektedir. Genel anlamda yüksek basınç ile vejetatif mikroorganizmaların inaktive edildiği kabul edilmekle birlikte, süt ve süt ürünleri gibi kompleks yapıdaki gıdalarda, inaktivasyon kinetiği hakkında az bilgi bulunmaktadır. Bununla birlikte, mikroorganizmaların inaktivasyonuna bağlı olarak meydana gelen yüksek basınç işlemi sonucu, ürünün yapısal değişimleri hakkında da detaylı bilgilerin yeterli olmadığını söylemek mümkündür.

Bu nedenle konu ile ilgili olarak yapılacak araştırmaların tümünde, mikrobiyolojik verimliliğe paralel olarak, süt ürünlerindeki yapısal değişimleri tespit etmek zorunluluğu söz konusudur. Ayrıca bu tip araştırmalarda, ürünün kompozisyonuna dayanan, basınç, sıcaklık ve bu faktörlere maruz kalma sürelerinin de tam anlamıyla kesin olarak ortaya konması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- ADAPA, S., SCHIMDT, KA., TOLEDO, R., 1997. Functional properties of skim milk processed with continuous high pressure throttling. *J. of Dairy Sci.*, 80 (9), 1941-1948.
- BUCHHEIM, W., SCHRADER, K., MORR, C.V., FREDE, E., SCHÜTT, M., 1995. Effects of High Pressure On the Protein, Lipid and Mineral Phase of milk. International Dairy Federation, *Heattreatments & Alternative Methods*, 202-213.
- CARLEZ, A., ROSEC, J.P., RICHARD, N., CHEFTEL, J.C., 1993. High pressure inactivation of *Citrobacter freundii*, *Pseudomonas fluorescens* and *Listeria innocua* in inoculated minced beef muscle. *Libensm. wiss. Technol.* 26: 357-363.
- COLLINS, S.J., BESTER, B.H., MCGILL, A.E., 1993. Influence of psychrotrophic bacterial growth in raw milk on the sensory acceptance of UHT skim milk. *J. Food Prot.* 56: 418-425.
- DESORBY-BANON, S., RICHARD, F., HARDY, J., 1994. Study of acid and rennet coagulation of high pressurized milk. *J. Dairy Sci.*, 77:3267-3274.
- ELAAMADI, L., TURCOTTE, G., GOUTLET, J., 1996. High-Pressure Homogenization Of Skim Milk Containing *Pseudomonas fluorescens*. International Dairy Federation, *Heat Treatment & Alternative Methods*, 214-222.
- GARCIA-RISCO, M.R., CORTÉS, A., CARRASCOVA, A.V., LOPEZ-FANDINO, R., 1998. Microbiological and Chemical Changes in High-Pressure-Treated Milk During Refrigerated Storage. *Journal of Food Protection*, Vol. 61, No. 6, 735-737.
- GERVILLA, R., FELIPE, X., FERRAGUT, V., GUAMIS, B., 1977. Effect of high hydrostatic pressure on *Escherichia coli* and *Pseudomonas fluorescens* strains in ovine milk. *J. of Dairy Sci.*, 80(10): 2297-2303.
- FELIPE, X., CAPELLAS, M., LAW, AJR., 1997. Comparison of the effects of high-pressure treatments and heat pasteurization on the whey proteins in goat's milk. *J. Agric. Food Chem.*, 45 (3): 627-631.
- HAYAKAWA, I., KANNO, T., TOMITA, M., FUJIO, Y., 1994. Application of high pressure for spore inactivation and protein denaturation. *J. Food Sci.* 59: 159-163.
- HINRICHS, J., RADEMACHER, KESSLER, H.G., 1995. Food Processing of Milk Products With Ultrahigh Pressure. International Dairy Federation, *Heat Treatments & Alternative Methods*. 185-201.
- JOHNSTON, D.E., AUSTIN, B.A., MURPHY, R.J., 1992. The effects of high pressure treatment of skim milk. *Milchwissenschaft* 47: 760-763.
- JOHNSTON, D.E., AUSTIN, B.A., MURPHY, R.J., 1993. Properties of acid-set gels prepared from high pressure treated skim. milk. *Milchwissenschaft* 48: 206-209.
- LAW, B.A., ANDREW, A.T., SHARPE, M.E., 1979. Gelation of ultra high temperature sterilized milk by proteases from a strain of *Pseudomonas fluorescens*. *J. Dairy Res.* 44: 145-148.
- LEE, S.K., ANEMA, S.G., SCHRADER, K., BUCHHEIM, W., 1996. Effect of high hydrostatic pressure on Ca-caseinate system *Milchwissenschaft* 51.
- MITSUIKI, M., KIDO, Y.T., AWAO, T., TOBA, S. 1993. Sterilization of *Bacillus* species spores by high pressure. *6th ICEF Congress Chiba, Japan*.
- OKAMOTO, M., HAYASHI, R., ENOMOTO, A., KAMINOGAWA, S., YAMAUCHI, K., 1991. High pressure proteolytic digestion of food proteins: Selective elimination of β -lactoglobulin in bovine milk whey concentrate. *Agric. Biol. Chem.* 55: 1253-1257.
- RAFFALLI, J., ROSEC, J.P., CARLEZ, A., DUMAY, E., RICHARD, N., CHEFTEL, J.C., 1994. Stress et inactivation par haute pression de *Listeria innocua* introduites dans une crème laitière. *Sci. Aliments* 14 (3): 349-358.
- SCHMIDT, D.G., KOOPS, J., 1977. Properties of artificial casein micelles. 2. stability towards ethanol, dialysis, pressure. *Net. Milk Dairy J.* 31: 342-357.
- SONOIKE, K., SETOYAMA, T., KUMA, Y., KOBAYASHI, S. 1992. Effect of pressure and temperature on the death rates of *Lactobacillus casei* and *Escherichia coli*. In: C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans & P. Masson (Editors), *High Pressure and Biotechnology*. Colloque INSERM/John Libbey Eurotext Ltd. Bd. 224: 297-301.
- STYLES, M.F., HOOVER, D.G., FARKAS, D.F. 1991. Response Of *Listeria monocytogenes* and *Vibrio parahaemolyticus* to high pressure. *Journal Food Sci.* 54(5): 1401-1407.
- TANAKA, T., HATANAKA, K., 1992. Application of hydrostatic pressure to yoghurt to prevent its after-acidification. *J.J.pn. Soc. Food Sci. Technol.* 39(2): 173-177.
- TONELLO, C., LARGETEAU, A., JOLIBERT F., DESCHAMPS, A., DEMAZEAU, G., 1992. Pressure effect on microorganisms and Immunoglobulins of bovine colostrum. In: C. Balny, R. Hayashi, K. Heremans & P. Masson (Editors), *High Pressure and biotechnology*. Colloque INSERM/John Libbey Eurotext Ltd. Bd. 224. 249-254.